

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**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**

INFORME FINAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Autor:

RUBEN GILBERTO RODRIGUEZ FLORES

Callao, 2019

PERU

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. ÍNDICE | 1 |
| Lista de tablas | 5 |
| Lista de figuras | 8 |
| II. RESUMEN Y ABSTRACT | 9 |
| Resumen | 9 |
| Abstract | 10 |
| III. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 3.1 Planteamiento del problema de investigación | 12 |
| 3.2 Importancia y justificación de la investigación | 17 |
| IV. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 4.1 Disponibilidad del agua en el Perú | 20 |
| 4.2 Calidad del agua | 21 |
| 4.3 Indicador de calidad del agua | 22 |
| 4.4 Índice de calidad de agua en Perú (ICA-PE) | 25 |
| 4.5 Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF-WQI) | 29 |
| 4.6 Estándares de calidad del agua en Perú | 31 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS | 33 |
| 5.1 Materiales y equipo | 33 |
| 5.2 Población y muestra de la investigación | 34 |
| 5.2.1 Población de la investigación | 34 |
| 5.2.2 Muestra de la investigación | 34 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos o demostración de la hipótesis | 35 |
| 5.4 Técnicas de análisis de datos | 36 |
| VI. RESULTADOS | 37 |
| 6.1 Características de los principales ríos y quebradas de la cuenca Chancay - Lambayeque | 37 |
| 6.1.1 Resultados del monitoreo de parámetros en el año 2013 | 37 |
| 6.1.2 Resultados del monitoreo de parámetros en el año 2014 | 39 |
| 6.1.3 Resultados del monitoreo de parámetros en el año 2016 | 40 |
| 6.2 Determinación de índices de calidad del agua en los ríos y quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque | 41 |
| 6.2.1 Índices de calidad ICA-PE | 41 |
| 6.2.2 Índices de calidad NSF-WQI | 42 |
| 6.3 Resultados establecidos bajo las dos metodologías de indicadores de calidad del agua: ICA-PE y NSF-WQI | 45 |
| VII. DISCUSIÓN | 51 |
| 7.1 Conclusiones | 51 |
| 7.2 Recomendaciones | 53 |
| VIII. REFERENCIALES | 55 |
| IX. APÉNDICES | 57 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Apéndice N° 9.1 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Ríos), año 2013 | 58 |
| Apéndice N° 9.2. Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Quebradas), año 2013 | 59 |
| Apéndice N° 9-3 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Ríos), año 2014 | 60 |
| Apéndice N° 9.4 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Quebradas), año 2014 | 61 |
| Apéndice N° 9.5 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Ríos), año 2016 | 62 |
| Apéndice N° 9.6 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Quebradas), año 2016 | 63 |
| Apéndice N° 9.7 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2013 | 64 |
| Apéndice N° 9.8 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2013 | 65 |
| Apéndice N° 9.9 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2014 | 66 |
| Apéndice N° 9.10 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2014 | 67 |
| Apéndice N° 9.11 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2016 | 68 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Apéndice N° 9.12 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca | |
| Chancay- Lambayeque, año 2016 | 69 |
| X. ANEXOS | 70 |
| Anexo N° 10.1 Matriz de consistencia | 71 |
| Anexo N° 10.2 Ubicación de la Cuenca Chancay – Lambayeque, Perú. | 73 |
| Anexo N° 10.3 Principal rio en la Cuenca Chancay – Lambayeque, Perú. | 74 |
| Anexo N° 10.4 Metodología ICA-PE | 75 |
| Anexo N° 10.5 Registro de fotos | 99 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla N° 3.1 Tipo y origen de la contaminación en los recursos hídricos de Perú | 13 |
| Tabla N° 3.2 Fuentes antropogénicas de contaminación de los recursos hídricos en el Perú | 14 |
| Tabla N° 4.1 Guía para uso de agua basada en el índice WQI | 23 |
| Tabla N° 4.2 Criterios que destacan la aplicación de cinco tipos de WQIs (index quality water) | 24 |
| Tabla N° 4.3 Interpretación de la calificación ICA-PE | 28 |
| Tabla N° 4.4 Puntajes de los nueve parámetros del NSF-WQI | 29 |
| Tabla N° 4.5 Categorías en el índice WQI (NSF) | 31 |
| Tabla N° 5.1. Informes técnicos tomados en cuenta en la determinación del índice de calidad del agua | 34 |
| Tabla N° 6.1. Concentración promedio de los principales parámetros en ríos y quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2013 | 38 |
| Tabla N° 6.2. Concentración promedio de los principales parámetros en ríos y quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2014 | 39 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla N° 6.3. Concentración promedio de los principales parámetros en ríos y quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2016 | 40 |
| Tabla N° 6.4. Índices de calidad del agua superficial en la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016 | 41 |
| Tabla N° 6.5. Índice de calidad del agua NSF-WQI en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2013 | 42 |
| Tabla N° 6.6. Índice de calidad del agua NSF-WQI en quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2013 | 42 |
| Tabla N° 6.7. Índice de calidad del agua NSF-WQI en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2014 | 43 |
| Tabla N° 6.8. Índice de calidad del agua NSF-WQI en quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2014 | 44 |
| Tabla N° 6.9. Índice de calidad del agua NSF-WQI en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2016 | 44 |
| Tabla N° 6.10. Índice de calidad del agua NSF-WQI en quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2016 | 45 |
| Tabla N° 6.11. Rango y categorías en metodologías ICA-PE y NSF-WQI | 45 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla N° 6.12. Resultados de índices ICA-PE obtenidos en ríos y quebradas en 2013, 2014 y 2016 | 46 |
| Tabla N° 6.13. Resultados de índices NSF-WQI obtenidos en ríos y quebradas en 2013, 2014 y 2016 | 47 |
| Tabla N° 6.14. Comparación entre los índices ICA-PE y NSF- WQI obtenidos en 2013, 2014 y 2016 | 49 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 6.1 Comportamiento de los índices ICA-PE en ríos y quebradas | 49 |
| Figura N° 6.2 Comportamiento de los índices NSF-WQI en ríos y quebradas | 50 |
| Figura N° 6.3 Comportamiento de los índices ICA-PE y NSF-WQI en ríos | 52 |
| Figura N° 6.4 Comportamiento de los índices ICA-PE y NSF-WQI en quebradas | 52 |

II. RESUMEN Y ABSTRACT

RESUMEN

La cuenca Chancay – Lambayeque bajo la Administración Local del Agua Chancay Lambayeque, y que depende de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) ha sido evaluada mediante la aplicación de los índices de calidad del agua ICA-PE y NSF-WQI, a partir de los resultados de monitoreo participativo realizados en diversos ríos y quebradas de la cuenca en tres años.

Los principales ríos de la cuenca Chancay - Lambayeque cumplen en su mayoría con los valores ECA de la Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales, D. S. N° 004-2017-MINAM), considerando los resultados de monitoreo de los años 2013, 2014 y 2016, con excepción de pH, Cu, Fe, Mn y Zn que sobrepasaron los ECAs para el 2016 en las quebradas.

El índice ICA-PE para los ríos es más alto que el obtenido para las quebradas; alcanzando una clasificación buena y favorable tanto para ríos como en quebradas respectivamente, mientras que con el índice NSF-WQI se obtiene una clasificación Regular tanto para ríos como para quebradas.

En general el índice ICA-PE permite inferir que la calidad ambiental de las quebradas es menor con respecto al de los ríos, mientras que el índice NSF-WQI expresa que son muy cercanos entre ríos y quebradas.

Palabras clave: índice de calidad, cuenca Chancay-Lambayeque, índice ICA-PE, índice NSF-WQI.

ABSTRACT

The Chancay - Lambayeque basin under the Local Water Administration Chancay Lambayeque, and that dependent the National Water Authority (ANA) has been evaluated by applying the ICA-PE and NSF-WQI water quality indices, based on the results of participatory monitoring carried out in various rivers and streams of the basin in three years.

The main rivers of the Chancay - Lambayeque basin mostly comply with ECA values of Category 3 (Vegetable Irrigation and Animal Beverage, DS N ° 004-2017-MINAM), considering the monitoring results of the years 2013, 2014 and 2016, with the exception of pH, Cu, Fe, Mn and Zn that exceeded the ECAs for 2016 in the and streams.

The ICA-PE index for rivers is higher than that obtained for streams; achieving a good and favorable classification for both rivers and streams respectively, while with the NSF-WQI index, a Regular classification is obtained for both rivers and streams.

In general, the ICA-PE index allows to infer that the environmental quality of the ravines is lower compared to that of the rivers, while the NSF-WQI index expresses that they are very close between rivers and ravines.

Keywords: quality index, Chancay-Lambayeque basin, ICA-PE index, NSF-WQI index

III. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales indispensables para la vida, su calidad es un factor que incide directamente en la conservación de los ecosistemas, así como también cumple un rol muy importante en el bienestar humano.

La demanda mundial de agua ha ido aumentando a un ritmo del 1% anual aproximadamente en función del aumento de población, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo, entre otros factores, y seguirá creciendo de manera significativa en las dos próximas décadas. La demanda industrial y doméstica de agua aumentará mucho más rápidamente que la demanda agrícola, aunque el sector agrícola seguirá siendo el principal consumidor de agua en el mundo. La gran mayoría de la creciente demanda de agua se producirá en países con economías emergentes o en desarrollo. Desde los años 90, la contaminación del agua no ha hecho más que empeorar en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia. Se espera que la calidad del agua se deteriore aún más en las próximas décadas, lo que aumentará las amenazas para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo sostenible. A nivel mundial, el desafío más frecuente al que se enfrenta la calidad del agua es la carga de nutrientes, que según la región se asocia a menudo con la carga de patógenos. Cientos de productos químicos afectan también a la calidad del agua (UNESCO 2018).

La autoridad Nacional del Agua (ANA) en el marco de sus funciones establecidas en la Ley N° 29338, ha presentado el documento titulado “Metodología para la determinación del índice de Calidad de Agua ICA – PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales“, como

una herramienta que tiene como principal finalidad la valoración simplificada del estado de la calidad del agua, y que contribuirá con una mejor presentación y a la gestión de calidad de los recursos hídricos. Se hace imprescindible conocer los niveles de calidad de diversas fuentes de agua en términos de índices que sirven para una mejor gestión de los recursos hídricos, siendo este el principal aporte del presente trabajo de investigación.

La presente investigación se orienta a conocer el estado del ambiente del recurso hídrico de una de las cuencas importantes del país, en este caso de la cuenca de Chancay –Lambayeque, ubicada en la costa norte del Perú, mediante el uso de los denominados índices de calidad del agua. Para el caso peruano, ya se ha establecido el denominado ICA-PE o índice de Calidad de Agua de Perú; dicho índice toma en cuenta aquellos parámetros que sobrepasan los Estándares de calidad ambiental del Agua (ECAs - agua), a diferencia de otras metodologías que recogen muchos parámetros que no necesariamente sobrepasan los ECAs, como es el caso del índice internacionalmente reconocido como NSF-WQI (National Fundation Sanitation – Water Quality Index) de Estados Unidos de Norteamérica.

3.1. Planteamiento del problema de investigación

De acuerdo a la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos – 2016, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) identificó 41 unidades hidrográficas, cuyos parámetros de calidad exceden los ECA-Agua, siendo la causa principal el vertimiento de aguas residuales industriales, domésticas y municipales. La Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH) de la ANA, a través de un diagnóstico elaborado el año 2012, muestra las principales fuentes de contaminación y origen, siendo uno de ellos el vertimiento de aguas residuales

municipales propias de la influencia de las actividades humanas en las ciudades (ANA, 2016)

Los principales tipos y orígenes de la contaminación se puede ver en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tipo y origen de contaminación de los recursos hídricos-Perú.

| CUERPO DE AGUA | UBICACIÓN | TIPO DE CONTAMINACIÓN Y ORIGEN |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Río Amazonas | Loreto | Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales, grifos flotantes, derrame de petróleo. |
| Río Madre de Dios y afluentes | Madre de Dios | Afectado por la minería ilegal e informal. |
| Río Tambo | Moquegua-Arequipa | Boro y Arsénico (origen natural). |
| Río San Juan | Pasco | Afectado por vertimientos mineros y municipales. |
| Río Perené | Pasco | Afectado por vertimientos mineros y municipales. |
| Río Piura | Piura | Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales. |
| Río Chira | Piura | Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales y agrícolas. |
| Río Coata | Puno | Vertimiento de aguas residuales municipales. |
| Río Ramis | Puno | Minería ilegal e informal (vertimientos de relaves mineros). |
| Río Ayaviri-Pucará | Puno | Vertimiento de aguas residuales municipales. |
| Bahía Interior de Puno-Lago Titicaca | Puno | Afectada por vertimiento de aguas residuales municipales. |
| Bahía de Yunguyo-Lago Titicaca | Puno | Afectada por vertimiento de aguas residuales municipales. |
| Río Suches | Puno | Afectado por la minería ilegal e informal generada por mineros peruanos y bolivianos. |
| Río Sandi | Puno | Afectado por vertimientos municipales. |
| Río Tumbes | Tumbes | Afectado por vertimientos de aguas residuales municipales, actividades mineras en el Ecuador. |
| Río Huallaga | Ucayali | Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales. |

Fuente: DAR, 2017.

El Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos del Perú, correspondiente a un periodo de evaluación iniciado en abril de 2010 a diciembre 2012, señala que, de un total de 159 unidades hidrográficas, 35 unidades hidrográficas presentaron, en promedio, concentraciones de los parámetros pH, conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno, arsénico, mercurio, cadmio, plomo y hierro por encima de los ECA-

Agua aprobados el año 2008. Este resultado está asociado a los vertimientos de aguas residuales no autorizadas, pasivos ambientales, residuos sólidos y condiciones naturales (factores geológicos, ambientales e hidrológicos). Entre las causas de contaminación se destacan dos tipos, las naturales y las antropogénicas. Las primeras se caracterizan por la naturaleza química de los suelos en zonas de predominancia volcánica o formación cuaternaria donde existe la presencia de algunos metales y metaloides como el hierro, cobre o arsénico. La fuente de tipo antropogénico puede estar representado por el manejo inadecuado de agroquímicos, minería informal, pasivos ambientales, vertimientos de aguas residuales no tratadas y manejo inadecuado de residuos sólidos. Todas estas fuentes influyen en el deterioro de la calidad del recurso hídrico en las 35 unidades hidrográficas del Perú (DAR, 2017). Las diferentes actividades antropogénicas se indican en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Fuentes antropogénicas de contaminación de los recursos hídricos en el Perú.

| ACTIVIDADES CONTAMINANTES | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Municipalidades | Más de 800 municipalidades vierten más 1.2 MMC de aguas residuales crudas a los cuerpos de agua. |
| Industria | Más de 100 000 unidades industriales |
| Minería | Más de 250 unidades mineras que operan plantas de beneficio, que generan vertimientos de aguas, relaves y desmontes. |
| Hidrocarburos | Extracción de petróleo y gas. Generan aguas residuales y derrames de petróleo. |
| Pasivos ambientales | Más de 8000 pasivos ambientales mineros. Así como pasivos ambientales dejados por las petroleras. |
| Agricultura | Más de un millón de hectáreas bajo riego que generan aguas de retorno con residuos de agroquímicos, nutrientes y alta salinidad. |
| Pesquería | Más de 200 plantas industriales en la costa del Perú que generan aguas residuales con alto contenido de materia orgánica que se vierten al mar. |

Fuente: DAR, 2017.

Hasta el año 2015, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el Perú, autorizó al sector minero verter aguas residuales tratadas hasta un volumen de 325.88 hm³ y reusar 7.2 hm³. Integrando las dos cifras tenemos un total de 333.08 hm³ de aguas residuales tratadas, de las cuales solo el 2 % del volumen se reúsa, y el resto (que incluyen trazas de metales y otros parámetros químicos según el tipo de mineral procesado) son vertidos sobre los diferentes cuerpos de agua del país. Si a este escenario, como de hecho sucede, ingresan en competencia, una multiplicidad de actores para el uso del agua en una cuenca hidrográfica, se generaría un potencial conflicto socio-ambiental hídrico en el país. (DAR, 2017).

Planteamiento del problema a investigar

¿La aplicación de índices de calidad del agua es una herramienta fundamental en la evaluación de la calidad del agua en los principales ríos de la cuenca Chancay –Lambayeque en Perú?

Objetivos y alcance de la investigación

Objetivo general

Desarrollar la evaluación de la calidad del agua en los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque de la región Lambayeque mediante el uso de indicadores de calidad del agua de Perú (ICA-PE) y su comparativo con el índice de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) en los años 2013, 2014 y 2016

Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque.
- Determinar los índices de calidad del agua de Perú (ICA-PE) en los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016.
- Determinar los índices de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) en los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016.
- Efectuar un comparativo entre los índices de calidad del agua del Perú (ICA-PE) y los obtenidos cuando se aplica el índice de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI)

Horizontes de la investigación

El presente trabajo constituye una Investigación Aplicada en el campo del área Ambiental (CTI N° 0301 0007), en especial a lo que corresponde al tema de Calidad de las Aguas (código UNESCO N° 2508.11), cuyo desarrollo se planteó principalmente a nivel de gabinete:

Labor de campo: Con la visita a la zona, en particular a la Bocatoma Raca Rumi, el río Chancay y el Reservorio de Tinajones en la cuenca Chancay – Lambayeque.

Labor de gabinete: Se ha podido procesar toda la información obtenida de los años 2013, 2014 y 2016 y en los diversos informes participativos realizados por la Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque – Zarumilla, vinculada a la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

3.2 Importancia y justificación de la investigación

La presente investigación es importante por lo siguiente:

- Permitió identificar y caracterizar los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque.
- Ha permitido determinar los índices de calidad del agua de Perú (ICA-PE) en los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016.
- Permitió determinar los índices de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) en los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016.
- Permitió efectuar un comparativo entre los índices de calidad del agua del Perú (ICA-PE) y los obtenidos cuando se aplica el índice de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI)

La investigación tiene por justificación explicar de qué manera influyen en la calidad de un cuerpo de agua las variaciones en las concentraciones de los parámetros que se monitorean, ya sea si estos superan o no los ECAs del agua.

Hasta antes que se aprobara el ICA-PE por parte del Ministerio del Ambiente (MINAM), en junio de 2018, las evaluaciones ambientales de la calidad de un cuerpo de agua se establecía únicamente tomando en cuenta los registros de eventos que superan los valores ECAs-agua, este hecho no permitía tener mejor alcance de la calidad del agua en relación a los múltiples parámetros, que ahora es donde se sustenta el nuevo Índice de Calidad Ambiental del Agua en Perú (ICA-PE), el cual fue elaborado sobre la base de Índice de Calidad del Agua aprobado por el Canadian Council of Minister's of the Environment (CCME-WQI).

Por otro lado, también la investigación permitió determinar también a manera comparativa del índice de calidad del agua de cuerpos de agua en una cuenca importante del Perú bajo la metodología del NSF-WQI, elaborado por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos de Norteamérica, que a diferencia del modelo peruano, este asigna pesos a cada uno de nueve (9) parámetros considerados

contaminantes en cuerpos de agua superficiales, este otro enfoque permite efectuar un mayor análisis de la conveniencia de aplicar los índices de calidad del agua en cuerpos de agua de una cuenca en el país.

IV. MARCO TEÓRICO

A nivel de Perú se ha hecho un único estudio sobre la aplicación de índices de calidad del agua para el río Rímac en el año 2011, este estudio no se ha efectuado en base al nuevo índice de calidad del agua para Perú (ICA-PE) que fue aprobado en febrero del 2018, el indicado estudio estuvo a cargo de dos tesis de la Universidad Nacional Agraria la Molina como trabajo de titulación, cuyo nombre es: “Evaluación Espacio-Temporal de la Calidad del Agua del Río Rímac (Riego), de Enero a Agosto del 2011, en Tres Puntos de Monitoreo”, donde se concluye que cuando se utiliza el NSF-WQI se establece que “... las condiciones más favorables de calidad del agua (buena) aparecen en las estaciones E-08 y E-09, por lo que en la estación E-10 las condiciones de calidad son medias a buenas, esto se debe a que el parámetro de coliformes termotolerantes, fosfatos y nitratos registrados en esta estación son los más altos y el DBO a su vez es bajo” (Castillo Z.I. y Medina V., 2014).

A raíz de haberse recién establecido los índices de calidad del agua en Perú (ICA-PE), no se presenta mayores estudios publicados que contenga la metodología recientemente aprobada para la determinación del índice de calidad del agua, en especial aplicados para estudios sobre periodos amplios de tiempo ni sobre la base de ríos en una cuenca, por lo que esta investigación contribuirá a comprender su aplicación y su correspondiente análisis.

4.1 Disponibilidad del agua en Perú

En el Perú, se estima que discurre aproximadamente 2 millones de metros cúbicos de agua dulce, representando el 5% de la disponibilidad a nivel mundial. La presencia de la Cordillera de Los Andes permite el territorio peruano, desde el punto de vista hídrico

sea dividido en tres (3) grandes regiones hidrográficas: La vertiente del Pacífico que cuenta con 62 Unidades Hidrográficas (U.H.), la vertiente del Amazonas que cuenta con 84 U.H., y la del Lago Titicaca que tiene 13 U.H. La vertiente del Pacífico tiene una disponibilidad hídrica de 2.18% y alberga el 65.98% de la población, mientras que en la vertiente del Amazonas se tiene una disponibilidad hídrica de 97.27% con una población del 30.76%; así mismo, en la vertiente del Titicaca se tiene una disponibilidad hídrica de 0.56% y una población de 3.26%. (ANA 2016).

4.2 Calidad del agua

La determinación de la calidad del agua mediante el uso de los recientes índices de calidad del agua aprobados en Perú (ICA-PE) en los recursos hídricos, son de sumo interés, especialmente como elementos a tomar en cuenta en la gestión hídrica, en este caso es de interés conocer la calidad ambiental de los principales ríos de la cuenca Chancay-Lambayeque, y que permitan establecerse como referencia para futuras determinaciones de la calidad del agua en esta cuenca.

La determinación de la calidad del agua mediante el uso de índices de calidad del agua aplicando otras metodologías conocidas a nivel mundial es de resaltar, una de ellas es la desarrollada por la National Sanitation Foundation (NSF); dicha metodología ha sido utilizado en estudios de algunos países de América Latina, brindando importantes evaluaciones y análisis de cuerpos de agua a diferencia del caso peruano que únicamente se han estado efectuado solo con comparación a los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECAs-agua).

4.3 Indicador de Calidad del Agua

La aplicación de indicadores para determinar la calidad de un cuerpo de agua es de suma importancia, en especial si se desea conocer las condiciones para un posible uso del recurso.

El WQI (Water Quality Index) es un método por el cual la información sobre la calidad del agua se condensa para informar al público de manera confiable (Abbasi y Abbasi 2012).

Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) un indicador es un parámetro, o valor derivado de otros parámetros, dirigido a proveer información y describir el estado de un fenómeno, con un significado añadido mayor que el directamente asociado con su propio valor. Constituye una variable que refleja de forma sintética una preocupación social con respecto al medio, con el fin de insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones (OECD, 1993).

Los indicadores ambientales representan un instrumento de gran utilidad para organizar, sistematizar, cuantificar, simplificar y comunicar información relativa a distintos aspectos del medio, que resulta básica para la toma de decisiones en el marco de la gestión ambiental (OECD, 1993; Cendrero, 1997).

La aplicación de los índices de calidad del agua para conocer mejor el uso que se le puede dar al recurso hídrico, es de interés en distintos sectores, especialmente en el sector agrícola, esto puede notarse en la tabla 4.1, donde se indican recomendaciones para un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico tanto por los suelos y las plantas.

Tabla 4.1. Guía para uso de agua basada en el índice WQI

| WQI | Water-Use Restrictions | Recommendation | |
|---------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | For Soil | For Plants |
| $85 \leq 100$ | No restriction (NR) | May be used for the majority of soils with low probability of causing salinity and sodicity problems, being recommended leaching within irrigation practices, except for in soils with extremely low permeability. | No toxicity risk for most plants |
| $70 \leq 85$ | Low restriction (LR) | Recommended for use in irrigated soils with light texture or moderate permeability, being recommended salt leaching. Soil sodicity in heavy texture soils may occur, being recommended to avoid its use in soils with high clay levels 2:1. | Avoid salt sensitive plants |
| $55 \leq 70$ | Moderate restriction (MR) | May be used in soils with moderate to high permeability values, being suggested moderate leaching of salts. | Plants with moderate tolerance to salts may be grown |
| $40 \leq 55$ | High restriction (HR) | May be used in soils with high permeability without compact layers. High-frequency irrigation schedule should be adopted for water with EC above 2.000 dS m^{-1} and SAR above 7.0. | Should be used for irrigation of plants with moderate to high tolerance to salts with special salinity control practices, except water with low Na, Cl and HCO_3 values |
| $0 \leq 40$ | Severe restriction (SR) | Should be avoided its use for irrigation under normal conditions. In special cases, may be used occasionally. Water with low salt levels and high SAR require gypsum application. In high saline content water soils must have high permeability, and excess water should be applied to avoid salt accumulation. | Only plants with high salt tolerance, except for waters with extremely low values of Na, Cl and HCO_3 . |

Fuente: Meireles et al, 2010.

Constituye una herramienta matemática que integra información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua (MINAM, 2017).

Los indicadores pueden, a su vez, combinarse para obtener índices agregados, que reflejan cualidades complejas del medio y proporcionan criterios para evaluar la sustentabilidad de políticas, planes y actuaciones que afecten a los recursos naturales. Poder generar indicadores que muestren las funciones ecosistémicas

conocidas como fuente (de recursos), soporte (de actividades/provisión de servicios), sumidero (de efluentes de distinto tipo) y naturalidad (ausencia de modificaciones introducidas por el hombre) es un paso importante e imprescindible para el diseño de un índice de calidad ambiental, que sea de utilidad para el seguimiento de dichas funciones y para orientar el manejo del recurso de manera sustentable (Cendrero et al, 2003).

La idoneidad en el uso de índices de calidad del agua para conocer la calidad del recurso en redes de monitoreo continuo, también es utilizado con buenos resultados, estos se muestran en la tabla 4.2, donde se presentan cinco metodologías con diferentes criterios en sus alcances. Estas cinco metodologías que se indican, señalan de manera unánime que no permiten alguna tolerancia a toma de datos incorrectos en todos los casos.

Tabla 4.2. Criterios que destacan la aplicación de cinco tipos de WQIs (index quality water)

| Criteria | Indices | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------|------|---------|----------|
| | ISQA | Pesce and Wunderlin | Liou | NSF-WQI | CCME-WQI |
| Parameters measured using continuous sampling | Good | Good | Good | Good | Good |
| Adaptability to different uses of water body | Good | Good | Good | Good | Good |
| Existing guidelines to define objectives | Good | Good | Good | Good | Good |
| Experience of real application | Good | Good | Good | Good | Good |
| Consideration of the amplitude (amount by which the objectives are not met) | Good | Good | Good | Good | Good |
| Programming difficulty | Good | Good | Good | Good | Good |
| Tolerance to missing data | Good | Good | Good | Good | Good |
| Need of synchronized data | Good | Good | Good | Good | Bad |
| Tolerance to wrong data | Good | Good | Good | Good | Bad |

Fuente: Terrado et al, 2010.

En la tabla 4.2, se hace referencia a 5 metodologías planteadas, siendo las siguientes:

- a. ISQA: The Catalan Water Agency`s WQI
- b. Pesce and Wunderlin: WQI propuesto por estos autores para el caso de estudio base del río Surquia en Cordoba- Argentina, 2001.
- c. Liou: River –pollution index, propuesto por este autor para Taiwan. 2004.
- d. NSF- WQI: Índice de calidad del agua por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos de Norteamérica.
- e. CCME-WQI: WQI del Canadian Council of Ministers of the Environment.

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME-WQI, el cual propone una evaluación más amplia de la calidad del agua en un periodo de tiempo determinado teniendo en cuenta el número de parámetros que superan un estándar de referencia.

4.4 Índice de Calidad de Agua en Perú (ICA-PE)

El índice de calidad de agua en Perú está basado en la fórmula canadiense establecido por el Consejo de Ministros del Ambiente de Canadá (CCME) y modificada por los Ministerios del Ambiente de Alberta y Columbia Británica (provincia de Canadá). (ANA, 2018)

Para la determinación del índice ICA-PE se sustenta en tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado

de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca (ANA, 2018).

La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación (MINAM, 2017):

F1 - Alcance: representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumple los valores establecidos en la normativa. Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA – Agua) vigente según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, respecto al total de parámetros a evaluar

$$F1 = \frac{\text{Numero de parámetros que no cumplen los ECA –Agua} \times 100}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

F2 – Frecuencia: representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA-Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos)

$$F2 = \frac{\text{Numero de parámetros que NO cumplen el ECA-Agua de los Datos Evaluados} \times 100}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

Donde:

Datos: Resultados de los monitoreos

F3 – Amplitud: Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{(\text{Suma normalizada de excedentes} + 1)} \times 100$$

Donde:

Suma normalizada de excedentes (nse) es:

$$\text{nse} = \frac{\sum \text{Excedente}_i}{\text{Total de datos}}$$

Se entiende como Excedente para cada parámetro, como el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA-Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA-Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente } i = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA-Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA-Agua}} - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA-Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (>4), pH (>6,5, <8,5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente } i = \frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA-Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA-Agua}} - 1$$

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2 y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua:

$$\text{ICA-PE} = 100 - (\sqrt{((F1^2 + F2^2 + F3^2)/3)})$$

El valor del índice se representa como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua en cinco categorías con su respectiva interpretación, como se indica en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Interpretación de la Calificación ICA-PE

| ICA-PE | Calificación | Interpretación |
|---------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 90- 100 | Excelente | La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados. |
| 75 – 89 | Bueno | La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud |
| 45 – 75 | Regular | La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento. |
| 30 – 44 | Malo | La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento. |
| 0 – 29 | Pésimo | La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento. |

Fuente: ANA, 2018.

4.5 Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF-WQI)

Este índice se encuentra comprendido también en una escala de 100 puntos, y que representan los resultados de la valoración de nueve (09) variables, como DBO, DO, NO₃, PO₄, T, Tur., TS, pH y CF, fue desarrollado en 1970 por Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A (Abbasi y Abbasi 2012).

Se cuenta en internet con calculadora que permite calcular el índice de calidad del agua, tal es el caso de la calculado que está disponible en: <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>. Este índice representa la calidad general del agua y no percibe capacidades particulares de uso del agua. Algunos de los parámetros de índice tienen diferente importancia, por lo que una media ponderada es útil para calcular el índice. En la tabla 4.4, se muestran la ponderación o importancia de los nueve parámetros que el método lo establece.

Tabla 4.4 Puntajes de los nueve parámetros del NSF-WQI

| Parámetro | Ponderación |
|-----------------|-------------|
| OD | 0,17 |
| CF | 0,16 |
| pH | 0,11 |
| DBO | 0,11 |
| T | 0,10 |
| NO ₃ | 0,10 |
| PO ₄ | 0,10 |
| Turbidez | 0,08 |
| S. Totales | 0,07 |

Fuente: Adaptado de Abbasi and Abbasi 2012.

El cambio de temperatura se refiere a las diferentes temperaturas en los sitios de control aguas arriba y aguas abajo (Abbasi y Abbasi 2012).

El porcentaje de saturación de oxígeno (OD Sa%) se calcula según la ecuación de American Public Health Association (APHA), (APHA 2012), donde OD (mg / l al 100% de saturación) = 8.73 mg / l:

$$\text{OD Sa:\%} = \frac{\text{OD medido (mg/l)}}{\text{OD (mg/l a 100 \% de saturación)}} \times 100$$

El puntaje ponderado (W_i) se debe multiplicar por el valor del subíndice (L_i) del parámetro obtenido por el NSF - WQI, luego se sumará la ecuación del índice (Abbasi y Abbasi 2012).

$$\text{NSF WQI} = \sum_{i=1}^n W_i \times L_i$$

Donde:

- NSF-WQI es el puntaje del índice de calidad del agua;
- W_i es el puntaje ponderado, y
- L_i es el valor del subíndice

El número obtenido al aplicar el índice se clasifica en cinco categorías de escala, estas categorías se indican en la Tabla 4.5 (USGS, 2015).

Tabla 4.5 Categorías en el índice WQI (NFS)

| Rango | Calidad |
|----------|-----------|
| 0 – 25 | Muy Malo |
| 26 – 50 | Malo |
| 51 – 70 | Regular |
| 71 – 90 | Bueno |
| 91 – 100 | Excelente |

Fuente: adaptado de Abbasi y Abbasi 2012.

4.6 Estándares de calidad del agua

Con la creación del Ministerio del Ambiente en el año 2008, se dio luego la aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua; con el objeto de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componentes básicos los ecosistemas acuáticos, que representan riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Estos estándares son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural. Dichos estándares estaban agrupados en 4 categorías:

- Categoría 1: Población y recreacional
- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino – costeras y continentales

- Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales
- Categoría 4: Conservación del medio acuático

Los ECA – Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo condiciones naturales o niveles de fondo, y el diseño de normas legales, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Por otro lado, los índices de calidad del agua (ICA), constituyen herramientas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua.

La calidad del agua puede verse afectada por sustancias que al alcanzar ciertas concentraciones podrían ser dañinas a los organismos (humanos, plantas y animales) o exceder un estándar de calidad ambiental (ANA 2016).

V. MATERIALES Y MÉTODO

5.1 Materiales y equipo

Para el desarrollo de la investigación se ha revisado diversos artículos científicos referentes al tema de índices de calidad del agua así como a los informes técnicos de monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca Chancay – Lambayeque de los años 2013, 2014 y 2016 realizados por la Administración Local del Agua Chancay Lambayeque perteneciente a la Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla – V, como órgano dependiente de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), los tres informes que se han tomado en cuenta para la presente investigación son los que se muestran en la tabla 5.1.

Los monitoreos que se han realizado por parte de la Autoridad Administrativa corresponden a muestras tanto en ríos como en quebradas de la Cuenca Chancay – Lambayeque, las mismas que se han realizado desde la parte alta de la cuenca hasta la parte más baja de la misma, y que corresponde al delta que termina en el Pacífico.

Tabla 5.1. Informes Técnicos tomados en cuenta en la determinación del índice de calidad

| Informe Técnico N° | Descripción | Fecha |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 002-2013-ANA-PMGRH/CUENCA PILOTO CHANCAY LAMBAYEQUE/MCL | Informe Técnico del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial – 2013 en la Cuenca Chancay Lambayeque | 22 – 30 abril 2013 |
| 006-2014- ANA-PMGRH/CHANCA Y LAMBAYEQUE/MCL | Informe Técnico del Cuarto Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Chancay Lambayeque - 2014 | 03 – 05 noviembre 2014 |
| 021-2016-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/MCL | Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Chancay Lambayeque - 2016 | 22 – 26 agosto 2016 |

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Población y muestra de la investigación

5.2.1. Población de la investigación

La población considerada son todos los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, que se caracteriza por ser una cuenca con destacada actividad agrícola y escasa actividad minera.

5.2.2. Muestra de la investigación

La muestra corresponde a cuatro (04) ríos: río Chancay, río Cedro, río Lambayeque y río Reque en el periodo 2013, 2014 y 2016, respecto a cuatro (4) parámetros físicos y 30

parámetros químicos; dichos ríos son los que representan a la cuenca Chancay – Lambayeque.

5.3 **Técnicas** e instrumentos de recolección de datos o demostración de la hipótesis

La investigación ha sido descriptiva y correlacional, dado que se realiza una descripción de la zona en estudio en cuanto a los datos de monitoreo de diversos parámetros de los cauces de los principales ríos de la cuenca Chancay –Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016, periodos en los cuales se efectuaron los respectivos monitoreos de diversos parámetros en ríos y quebradas bajo el Plan Anual de Monitoreos Participativos en épocas de avenida y estiaje que rigen el ciclo hidrológico de la cuenca.

La información sobre los datos de monitoreo de los diversos parámetros monitoreados en la cuenca fueron proporcionado por la Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla – V mediante los diversos Informes Técnicos de la Oficina de Administración Local del Agua Chancay Lambayeque que son de acceso público en la web del Gobierno Regional de Lambayeque.

Basado en el tipo y alcance de la investigación planteada, su muestreo será no probabilístico, esto como consecuencia de disponer de los resultados de diversos monitoreos efectuados a parámetros que caracterizan el cuerpo de agua de ríos y quebradas en la cuenca de estudio.

5.4 Técnicas de análisis de los datos

En cuanto al análisis de los datos, este proceso se ha efectuado siguiendo las siguientes etapas:

- a) Determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos que representan tanto a ríos como a quebradas en cada año de evaluación y que permitirán obtener los respectivos índices de calidad del agua superficial
- b) Identificación de los parámetros que sobrepasan los ECAs del agua y que permitirán la determinación de los respectivos índices de calidad en lo que respecta al ICA-PE.
- c) Determinación de los índices de calidad del agua bajo las dos metodologías (ICA-PE y NSF-WQI) en los cuatro (04) ríos más importantes de la cuenca Chancay - Lambayeque: río Chancay, río Cedro, río Lambayeque y río Reque en el periodo 2013, 2014 y 2016.
- d) Análisis del comportamiento de los índices de calidad del agua determinados y los resultados de monitoreos en diversos periodos de espacio y tiempo en los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, efectuando su respectiva categorización con las escalas de los índices de calidad del agua

VI. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la investigación y que ayudan a conocer tanto las características físicas, químicas y biológicas de los principales ríos y quebradas que conforman la cuenca Chancay – Lambayeque, siendo estas las que permiten determinar el índice de calidad en términos de ICA-PE como de NSF-WQI

6.1 Caracterización de los principales ríos y quebradas de la cuenca Chancay –Lambayeque

Para el presente estudio se vienen procesando diversos parámetros monitoreados durante el año 2013, 2014 y 2016 de parte del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos dependiente de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Los resultados del monitoreo están indicados en los Informes Técnicos de Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Chancay – Lambayeque. A continuación, se presentan los resultados de los promedios que se presentan en cada año considerado en el estudio:

6.1.1 Resultados del Monitoreo de parámetros en el año 2013

Según el Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial (ITMPCAS) contemplado por el Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (PMGRH) dependiente de la Autoridad Nacional del

Agua (ANA) y que fue realizado del 22 al 30 de abril de 2013 sobre 16 puntos de monitoreo en 10 ríos de la Cuenca Chancay –Lambayeque, así como 7 puntos de monitoreo en 6 quebradas dentro de la misma cuenca, estos resultados se muestran en la tabla N° 6.1

Tabla N° 6.1. Concentración promedio de los principales parámetros en ríos y Quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (categoria 3) | Rios | Quebradas |
|-----------|-----------|-------------------|--------|-----------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 7.36 | 5.27 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 7.83 | 7.15 |
| Cond. | μS/cm | 2500 | 702.7 | 200.9 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 946.0 | 1.8 |
| DBO | mg/L | 15 | 2.1 | 2.0 |
| DQO | mg/L | 40 | 9.8 | 7.8 |
| Al | mg/L | 5 | 0.7168 | 1.4341 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.0026 | 0.0051 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.0376 | 0.0258 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0006 | 0.0006 |
| B | mg/L | 1 | 0.1142 | 0.0020 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.0002 | 0.0031 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.0005 | 0.0040 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.0074 | 0.7054 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.0012 | 0.0006 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.5079 | 2.4212 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.0063 | 0.0020 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.0359 | 0.5900 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.0015 | 0.0028 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.0008 | 0.0036 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0005 | 0.0004 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.0170 | 0.5062 |

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Resultados del Monitoreo de parámetros en el año 2014

Según el Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial (ITMPCAS) contemplado por el Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (PMGRH) dependiente de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y que fue realizado del 3 al 5 de noviembre del 2014 sobre 15 puntos de monitoreo en 11 ríos de la Cuenca Chancay –Lambayeque, así como 4 puntos de monitoreo en 2 quebradas dentro de la misma cuenca, estos resultados se muestran en la tabla N° 6.2

Tabla N° 6.2 Concentración promedio de los principales parámetros en ríos y Quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (categoria 3) | Rios | Quebradas |
|-----------|-----------|-------------------|--------|-----------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.48 | 4.80 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 8.06 | 7.12 |
| Cond. | μS/cm | 2500 | 257.9 | 561.1 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 121.6 | 1.8 |
| DBO | mg/L | 15 | 3.8 | 2.0 |
| DQO | mg/L | 40 | 12.2 | 27.1 |
| Al | mg/L | 5 | 0.1090 | 5.1003 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.0019 | 0.0065 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.0257 | 0.0328 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0009 | 0.0010 |
| B | mg/L | 1 | 0.0906 | 0.0056 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.0001 | 0.0088 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.0002 | 0.0175 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.0070 | 1.4888 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.0002 | 0.0012 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.1283 | 16.5752 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.0117 | 0.0037 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.0239 | 4.6035 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.0003 | 0.0054 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.0003 | 0.0173 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0002 | 0.0002 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.0169 | 1.2905 |

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Resultados del Monitoreo de parámetros en el año 2016

Según el Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial (ITMPCAS) realizado por la Administración Local del Agua Chancay Lambayeque, dependiente de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y que fue realizado del 22 al 26 de agosto del 2016 sobre 11 puntos de monitoreo en 7 ríos de la Cuenca Chancay –Lambayeque, así como 5 puntos de monitoreo en 2 quebradas dentro de la misma cuenca, estos resultados se muestran en la tabla N° 6.3

Tabla N° 6.3 Concentración promedio de los principales parámetros en ríos y Quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (categoria 3) | Rios | Quebradas |
|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.26 | 4.57 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 6.83 | 4.32 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 287.0 | 240.9 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 178.6 | 1.8 |
| DBO | mg/L | 15 | 3 | 3 |
| DQO | mg/L | 40 | 6 | 6 |
| Al | mg/L | 5 | 0.161455 | 4.663 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.007 | 0.0124 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.031 | 0.0272 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0005 | 0.0005 |
| B | mg/L | 1 | 0.135873 | 0.0252 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.000319 | 0.00402 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.001182 | 0.02538 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.017364 | 0.6938 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.001 | 0.004 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.086455 | 16.4448 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.014145 | 0.0036 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.048082 | 7.1078 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.002 | 0.0156 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.001 | 0.0128 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0006 | 0.00228 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.034909 | 6.6188 |

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Determinación de Índices de calidad del agua del agua en los ríos y quebradas de la cuenca Chancay - Lambayeque

Con los parámetros registrados en informes de monitoreo en la cuenca Chancay – Lambayeque se ha podido determinar los respectivos índices de calidad tanto en ríos como en quebradas.

6.2.1 Índices de Calidad ICA-PE:

Con los datos de monitoreo del año 2013, 2014 y 2016 se han obtenido índices de calidad ambiental en el agua superficial considerados de Buena Calidad como promedio en los tres años de estudio, tanto en ríos y quebradas en conjunto, no obstante, siempre ha sido mayor la calidad en los ríos que en las quebradas, tal como se muestra en la tabla N° 6.4.

La mayor del índice de calidad del agua fue mayor en el año 2013, tal como se indica en la tabla N° 6.4, esto por la excelente y buena calidad del agua en ríos y quebradas respectivamente.

Tabla N° 6.4 Índices de calidad del agua superficial en la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016

| Concepto | 2013 | 2014 | 2016 | Promedio | Calificación |
|----------|-------|-------|-------|----------|--------------|
| Rio | 92,28 | 97,07 | 94,90 | 94,75 | Excelente |
| Quebrada | 87,94 | 59,50 | 72,23 | 73,22 | Regular |
| Promedio | 90,11 | 78,29 | 83,57 | 83,99 | Bueno |

Excelente (90–100); Bueno (75-89); Regular (45-75); Malo (30-45); Pésimo (0-29)

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Índices de Calidad NSF- QWI:

a) NSF-WQI en el año 2013:

Aplicando la metodología de NSF - WQI y con los datos de monitoreo del año 2013 se han obtenido índices de calidad ambiental en el agua superficial considerados de Buena Calidad tanto para ríos como quebradas, tal como se muestra en la tabla N° 6.5 y tabla N° 6.6 respectivamente.

Tabla N° 6.5. Índice de calidad del agua NSF-WQI en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (cat. 3) | Prom | Si | Wi | Wi corr | Si*Wicorr |
|----------------|----------|--------------|-------|--------------|------|---------|--------------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 7.36 | 92 | 0.11 | 0.17 | 15.57 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 7.83 | 90 | 0.17 | 0.26 | 23.54 |
| CF | NMP/100m | 1000 | 946.0 | 23 | 0.16 | 0.25 | 5.66 |
| DBO | mg/L | 15 | 2.1 | 82 | 0.11 | 0.17 | 13.88 |
| PO4 | mg/L | | 0.326 | 86 | 0.1 | 0.15 | 13.23 |
| Total | | | | | 0.65 | 1.00 | 71.88 |
| NSF-WQI | | | | BUENA | | | 71.88 |

Si: Subíndice del parámetro i, Wi:corr: factor de ponderación para el subíndice i

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6.6. Índice de calidad del agua NSF-WQI en quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (cat. 3) | Prom | Si | Wi | Wi corr | Si*Wicorr |
|----------------|----------|--------------|-------|--------------|------|---------|--------------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 5.27 | 32 | 0.11 | 0.17 | 5.42 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 7.15 | 77.7 | 0.17 | 0.26 | 20.32 |
| CF | NMP/100m | 1000 | 1.8 | 91 | 0.16 | 0.25 | 22.40 |
| DBO | mg/L | 15 | 2.0 | 80 | 0.11 | 0.17 | 13.54 |
| PO4 | mg/L | | 0.042 | 99 | 0.1 | 0.15 | 15.23 |
| Total | | | | | 0.65 | 1.00 | 76.91 |
| NSF-WQI | | | | BUENA | | | 76.91 |

Si: Subíndice del parámetro i, Wi:corr: factor de ponderación para el subíndice i

Fuente: Elaboración propia

b) NSF-WQI en el año 2014:

De igual manera, aplicando la metodología de NSF -WQI con los datos de monitoreo del año 2014 se han obtenido índices de calidad ambiental en el agua superficial considerados de Regular calidad para el caso del agua en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, como se muestra en la tabla N° 6.7

Tabla N° 6.7 Índice de calidad del agua NSF-WQI en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (cat. 3) | Prom | Si | Wi | Wi corr | Si*Wicorr |
|----------------|----------|--------------|-------|-------|----------------|---------|--------------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.48 | 68 | 0.11 | 0.17 | 11.51 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 8.06 | 92 | 0.17 | 0.26 | 24.06 |
| CF | NMP/100m | 1000 | 121.6 | 44 | 0.16 | 0.25 | 10.83 |
| DBO | mg/L | 15 | 3.8 | 60 | 0.11 | 0.17 | 10.15 |
| PO4 | mg/L | | 0.006 | 99.95 | 0.1 | 0.15 | 15.38 |
| Total | | | | | 0.65 | 1.00 | 60.42 |
| NSF-WQI | | | | | REGULAR | | 60.42 |

Si: Subíndice del parámetro i, Wi:corr: factor de ponderación para el subíndice i

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la calidad del agua presente en las Quebradas de la Cuenca para el año 2014 no estaba del todo bien, registrando una calidad ambiental del agua superficial de Buena, tal como se muestra en la tabla N° 6.8.

Tabla N° 6.8 Índice de calidad del agua NSF-WQI en quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (cat. 3) | Prom | Si | Wi | Wi corr | Si*Wicorr |
|----------------|----------|--------------|-------|--------------|------|---------|--------------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 4.80 | 25 | 0.11 | 0.17 | 4.23 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 7.12 | 81 | 0.17 | 0.26 | 21.18 |
| CF | NMP/100m | 1000 | 1.8 | 91 | 0.16 | 0.25 | 22.40 |
| DBO | mg/L | 15 | 2.0 | 80 | 0.11 | 0.17 | 13.54 |
| PO4 | mg/L | | 0.002 | 99.9 | 0.1 | 0.15 | 15.37 |
| Total | | | | | 0.65 | 1.00 | 72.49 |
| NSF-WQI | | | | BUENA | | | 72.49 |

Si: Subíndice del parámetro i, Wi:corr: factor de ponderación para el subíndice i

Fuente: Elaboración propia

c) NSF-WQI en el año 2016:

Con los datos de monitoreo del año 2016 se han obtenido índices de calidad ambiental en el agua superficial considerados de Regular calidad para el caso del agua en ríos como el de quebradas presentes en la cuenca Chancay – Lambayeque, tal como se muestran en la tabla N° 6.9 y tabla N° 6.10 respectivamente.

Tabla N° 6.9 Índice de calidad del agua NSF-WQI en ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (cat. 3) | Prom | Si | Wi | Wi corr | Si*Wicorr |
|----------------|----------|--------------|-------|----------------|------|---------|--------------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.26 | 74 | 0.11 | 0.17 | 12.52 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 6.83 | 80 | 0.17 | 0.26 | 20.92 |
| CF | NMP/100m | 1000 | 178.6 | 39 | 0.16 | 0.25 | 9.60 |
| DBO | mg/L | 15 | 3 | 72 | 0.11 | 0.17 | 12.18 |
| PO4 | mg/L | 40 | 0.008 | 99.93 | 0.1 | 0.15 | 15.37 |
| Total | | | | | 0.65 | 1.00 | 58.08 |
| NSF-WQI | | | | REGULAR | | | 58.08 |

Si: Subíndice del parámetro i, Wi:corr: factor de ponderación para el subíndice i

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6.10 Índice de calidad del agua NSF-WQI en quebradas de la cuenca Chancay – Lambayeque, año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (cat. 3) | Prom | Si | Wi | Wi corr | Si*Wicorr |
|----------------|----------|--------------|-------|----------------|------|---------|--------------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 4.57 | 17 | 0.11 | 0.17 | 2.88 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 4.32 | 40 | 0.17 | 0.26 | 10.46 |
| CF | NMP/100m | 1000 | 1.8 | 91 | 0.16 | 0.25 | 22.40 |
| DBO | mg/L | 15 | 3 | 72 | 0.11 | 0.17 | 12.18 |
| PO4 | mg/L | | 0.008 | 99.93 | 0.1 | 0.15 | 15.37 |
| Total | | | | | 0.65 | 1.00 | 60.42 |
| NSF-WQI | | | | REGULAR | | | 60.42 |

Si: Subíndice del parámetro i, Wi:corr: factor de ponderación para el subíndice i

Fuente: Elaboración propia

6.3 Resultados establecidos bajo las dos metodologías de indicadores de calidad del agua: ICA-PE y NSF-WQI

Los resultados obtenidos de la aplicación de ambas metodologías para determinar la calidad ambiental del agua superficial, tanto para ríos como para quebradas en los años 2013, 2014 y 2016 en la Cuenca Chancay – Lambayeque en algunos casos son similares y otros difieren; ambas metodologías presentan 5 escalas, pero su rango es diferente, esto se muestra en la tabla N° 6.11

Tabla N° 6.11 Rango y Clasificación de las categorías en metodologías ICA-PE y NSF-WQI

| ICA-PE | | NSF-WQI | |
|----------|---------------|----------|---------------|
| Rango | Clasificación | Rango | Clasificación |
| 90 – 100 | EXCELENTE | 91 – 100 | EXCELENTE |
| 75 – 89 | BUENO | 71 – 90 | BUENA |
| 45 – 75 | REGULAR | 51 – 70 | REGULAR |
| 30 – 44 | MALO | 26 – 50 | POBRE |
| 0 – 29 | PESIMO | 0 – 25 | MUY POBRE |

Fuente: Adaptado de Abbasi, 2012 y ANA, 2018.

De los resultados obtenidos en cuanto al índice ICA-PE para los tres años de estudio se puede ver que el índice para los ríos es más alto que el obtenido para las quebradas; alcanzando una clasificación Excelente y Regular tanto para ríos como en quebradas respectivamente, tal como se indica en la tabla N° 6.12

Tabla N° 6.12 Resultados de Índices ICA-PE obtenidos en ríos y quebradas en 2013, 2014 y 2016

| Año | Ríos | | Quebradas | |
|----------|--------|---------------|-----------|---------------|
| | ICA-PE | Clasificación | ICA-PE | Clasificación |
| 2013 | 92,28 | Excelente | 87,94 | Buena |
| 2014 | 97,07 | Excelente | 59,50 | Regular |
| 2016 | 94,90 | Excelente | 72,23 | Regular |
| Promedio | 94.75 | Excelente | 73,22 | Regular |

Excelente (90–100); Bueno (75-89); Regular (45-75); Malo (30-45); Pésimo (0-29)

Fuente: Elaboración propia

La calidad en los ríos prácticamente se ha mantenido constantes, mientras la calidad en quebradas ha sido menor en el año 2014 respecto a los años 2013 y 2016, obteniéndose una mayor calidad en quebradas en el año 2013, esto se puede distinguir en la figura N° 6.1

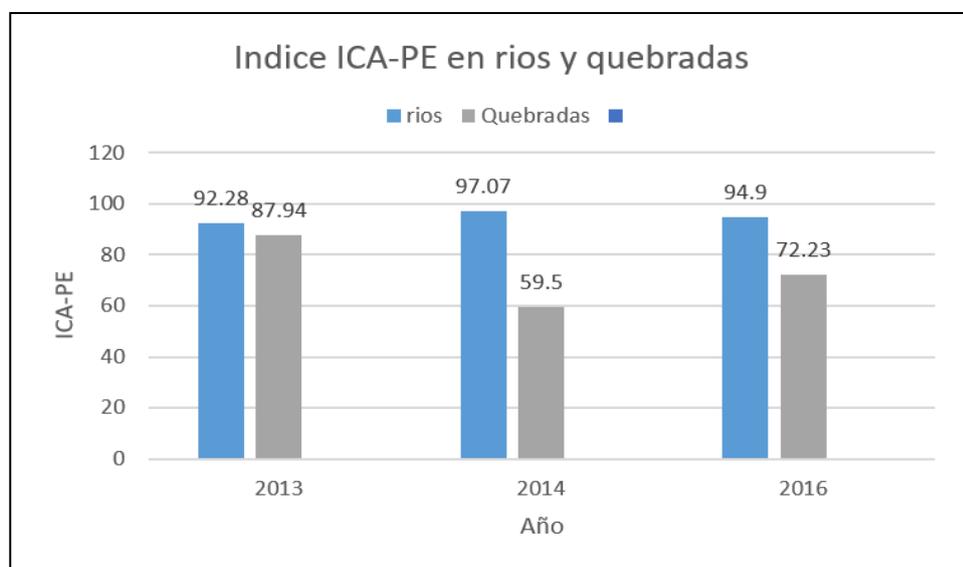


Figura 6.1 Comportamiento de los índices ICA-PE en ríos y quebradas
(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a los resultados obtenidos del índice WQI para los tres años de estudio en la presente investigación, puede verse que el índice medio para los ríos es inferior al obtenido para las quebradas; alcanzando una clasificación regular tanto para ríos como para quebradas, tal como se indica en la tabla N° 6.13

Tabla 6.13 Resultados de Índices NSF-WQI obtenidos en ríos y quebradas en 2013, 2014 y 2016

| Año | Ríos | | Quebradas | |
|------|---------|---------------|-----------|---------------|
| | NSF-WQI | Clasificación | NSF-WQI | Clasificación |
| 2013 | 71,88 | Buena | 76,91 | Buena |
| 2014 | 60,42 | Regular | 72,49 | Buena |
| 2016 | 58,08 | Regular | 60,42 | Regular |
| Prom | 63,46 | Regular | 69,94 | Regular |

Excelente (91-100); Buena (71-90); Regular (51-70); Pobre (26-50); Muy pobre (0-25)

Fuente: Elaboración propia

La calidad en los ríos ha sido inferior a los obtenidos en las quebradas, en los años de estudio, alcanzándose los menores valores en el año 2016 según la metodología de NFS–WQI, esto se puede distinguir en la figura N° 6.2.

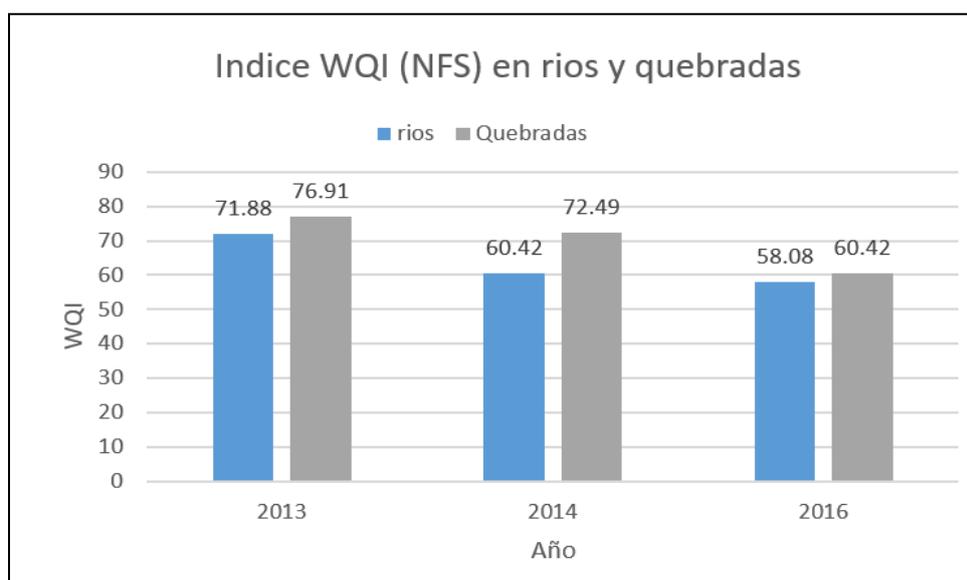


Figura N° 6.2 Comportamiento de los índices WQI en ríos y quebradas
(Fuente: Elaboración propia)

De estos resultados determinados cuando se aplican ambas metodologías se puede concluir que son muy coincidentes para el año 2013 pero difieren para los obtenidos en los años 2014 y 2016, esto se puede apreciar con mayor precisión en la tabla N° 6.14, en dicha tabla se muestran los consolidados de los índices tanto para los ríos y quebradas en los tres años de estudio, tanto para el índice obtenido para ICA-PE y del NSF-WQI respectivamente.

Tabla N° 6.14 Comparación entre los índices ICA-PE y NSF-WQI, obtenidos en 2013, 2014 y 2016

| Año | Ríos | | Quebradas | |
|------|--------|---------|-----------|---------|
| | ICA-PE | NSF-WQI | ICA-PE | NSF-WQI |
| 2013 | B | B | B | B |
| 2014 | E | R | R | B |
| 2016 | B | R | F | R |

E: Excelente, B: Buena, R: Regular, F: Favorable

Fuente: Elaboración propia

Cuando se presentan los resultados obtenidos para ríos de la cuenca de ambos índices (ICA-PE y NSF-WQI) se puede inferir que el valor del WQI obtenido es inferior al obtenido por la metodología ICA-PE aplicado para ríos, el comportamiento de estos índices se puede ver en la figura N° 6.3

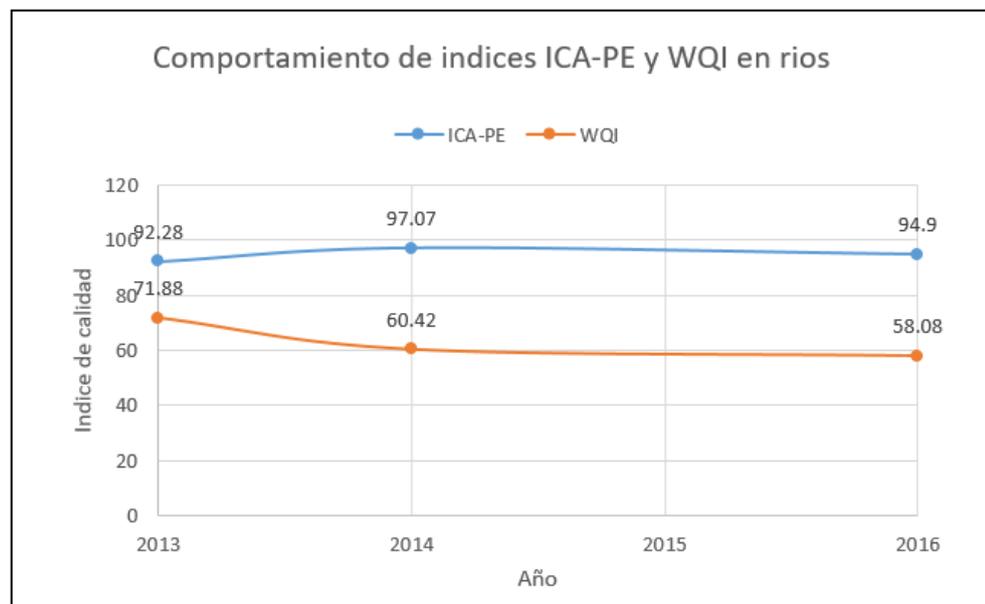


Figura N° 6.3 Comportamiento de los índices ICA-PE y NSF-WQI en ríos (Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, cuando se presentan los resultados obtenidos para quebradas de ambos índices (ICA-PE y NSF-WQI) se puede inferir que el valor del WQI desciende a medida que pasan los años, mientras que el índice ICA-PE se comporta de manera irregular, alcanzando el menor valor el año 2014, esto puede verse en la figura N° 6.4

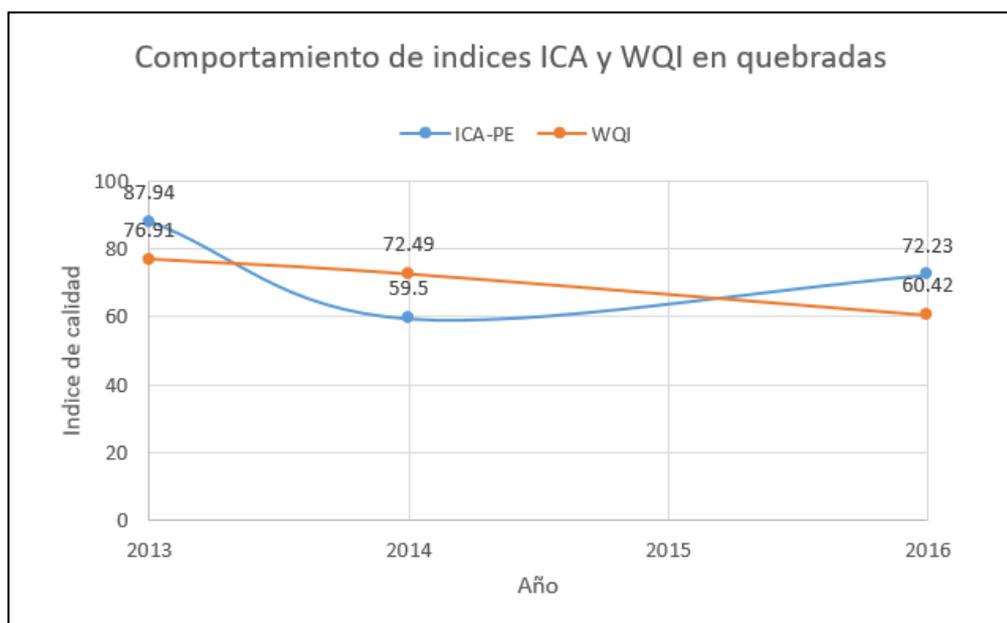


Figura N° 6.4 Comportamiento de los índices ICA-PE y NSF-WQI en quebradas
(Fuente: Elaboración propia)

VII. DISCUSION

7.1 Conclusiones

La presente investigación ha cumplido con abordar los objetivos establecidos en su momento y que a continuación se detallan:

- Los principales ríos de la cuenca Chancay -.Lambayeque en sus monitoreos de los años 2013, 2014 y 2016 cumplen el ECA de la Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales, D. S. N° 004-2017-MINAM), los parámetros registrados estando por debajo del valor establecido en dicho Estándar de Calidad Ambiental, con excepción de pH y de cuatro elementos metálicos.
- En cuanto a las características fisicoquímicas de las quebradas vinculadas en la cuenca Chancay - Lambayeque en sus monitoreos de los años 2013, 2014 y 2016 cumplen el ECA de la Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales, D. S. N° 004-2017-MINAM), con excepción del pH, Mn, Cu, Fe y Zn; siendo para ente primero, que en estos tres años están por debajo del rango establecido en dicho Estándar de Calidad Ambiental (6,5 – 8,5), obteniendo un valor mínimo de 4,57 de pH, y en lo que corresponde a metales, en el 2016 se alcanzaron valores superiores a sus ECAs en las quebradas, así para el Mn registro 7,10 mg Mn/L que supero el valor ECA (0,2 mg Mn/L), en cuanto a Cu se obtuvo 0,69 mg Cu/L sobrepasando el ECA (0,2 mg Cu/L), el Fe también fue de 16,44 mg Fe /L superior a su

ECA (5 mg/L) y del Zn se registró 6,61 mg Zn/L superando su ECA (2 mg/L).

- El índice ICA-PE para los años de estudio determinado para los ríos es más alto que el obtenido para las quebradas; alcanzando una clasificación Buena y Favorable tanto para ríos como en quebradas respectivamente, esto es concordante con lo concluido anteriormente, donde influye los parámetros que superan el respectivo ECA, que para el caso de quebradas se alcanza una categoría inferior.
- El índice NSF-WQI para los años de estudio determinados para las quebradas es ligeramente superior que el de los ríos, pero coinciden en la misma categoría de Regular, este resultado es contrario al obtenido con el índice ICA-PE.
- Cuando se obtienen efectúan la comparación de los respectivos índices ICA-PE y NSF-WQI tanto en ríos y quebradas para los años 2013, 2014 y 2016, estos muestran algunas coincidencias en cuanto a sus valores ya sea para ríos y quebradas. En general el índice ICA-PE permite inferir que la calidad ambiental de las quebradas es menor con respecto al de los ríos, mientras que el índice NSF-WQI expresa que son muy cercanos entre ríos y quebradas.
- Claramente se puede observar que no guardan relación directa estos resultados obtenidos después de la aplicación de ambas metodologías. Esto puede explicarse porque la metodología ICA-PE aplica como referentes los respectivos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de cada uno de los parámetros monitoreados (ANA, 2018), mientras que la metodología NSF-WQI

utiliza en su metodología una ponderación y únicamente sobre nueve parámetros (Sabah Obaid Hamad Al – Shujairi, 2013).

- Finalmente, se puede inferir que prácticamente los valores de los índices del ICA-PE han sido superiores a los determinados por la metodología NSF-WQI, con excepción de los resultados del año 2014 determinados para quebradas, donde fue lo contrario, esto es debido principalmente a la alta presencia de cuatro metales pesados en las corrientes de agua de las quebradas (Cu, Fe, Mn y Zn) que superaron sus ECAs respectivos, y por no ser considerados en la determinación del índice NSF-WQI permiten obtener menor valor del índice (ICA-PE).

7.2 Recomendaciones

Pueden considerarse las siguientes recomendaciones a partir de los resultados de la presente investigación:

- Cuando se tratan de corrientes de agua con alta presencia de metales pesados es más recomendable tomar en cuenta la aplicación del índice ICA-PE, ya que su metodología si los contempla, y que para el caso peruano es adecuado dado que hay presencias de diversas actividades mineras con áreas de influencia en quebradas.
- La falta de determinación de algunos parámetros en los monitoreos dificulta la determinación de los índices de calidad, especialmente el índice ICA-PE, que es más dependiente de los mismos, mientras que el índice NSF-WQI al solo contemplar 9

parámetros es son más fáciles de determinarlos y obviar este limitante.

- Sería importante determinar índices de calidad en otras cuencas y que permitan obtener mayor información para la toma de decisiones a cargo de los entes administradores sobre el control de vertidos hacia ríos y quebradas, especialmente si ya vienen registrando contaminación que nos muestran disminución en sus índices de calidad ambiental.

VIII. REFERENCIALES

1. Abbasi T. and Abbasi S.A., 2012. Water Quality Indices. Elsevier publications, Amsterdam, The Netherlands.
2. Abdul Hameed M. et al. 2010. Evaluating Raw and Treated Water Quality of Tigris River within Baghdad by Index Analysis. J. Water Resource and Protection. 2, 629-635.
3. Abdulkhaleq Mahmood. 2018. Evaluation of raw water quality in Wassit governorate by Canadian water quality index. Matec Web of Conferences 162. 05020.
4. Abdullah-Al-Mamun and Azni Idris, 2008 " Revised water quality indices for the protection of rivers in Malaysia", Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 2008, Alexandria, Egypt.
5. Al-Janabi, Z. Zahraw, Al-Kubasi, A. Abdul-Rahman and Al-Obaidy, Abdul-Hameed M., 2012, "Assessment of water quality of Tigris river by using water quality index (CCME WQI)", Journal of Al-Nahrain University 15 (1), pp.119-126.
6. ANA, 2013. Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Chancay Lambayeque - 2013.
7. ANA, 2014. Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Chancay Lambayeque - 2014.
8. ANA, 2016. Informe Técnico del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Chancay Lambayeque - 2016.
9. ANA, 2018. Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cueros de agua continentales superficiales.
10. ANZECC (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council). 1992. Australian water quality guidelines for fresh and marine waters. Canberra, 202pp.
11. Avvannavar, S. M., and Shrihari, S. 2007. Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. Environmental Monitoring and Assessment.
12. Baharti, N. and Katyal, D., 2011, "Water quality indices used for surface water vulnerability assessment", International Journal of Environmental Science, 2: 154-173.

13. Bordalo, A. A., Teixeira, R., and Wiebe, W. J., (2006), A water quality index applied to an international shared river basin: The case of the Douro River, *Environmental Management*, 38, pp 910–920.
14. Couillard, D. and Y. Lefebvre, 1985. Analysis of Water Quality Indices. *Journal of Environmental Management* 21:161-179.
15. Cude C. G. 2001. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Research Association* 37:125–137.
16. Ela, Wendell P., 2007, "Introduction to Environmental Engineering and Science", Prentice Hall, 3rd ed. ISBN 0-13-148193-2.
17. FAO. 1994. Country information brief, Iraq. FAO-Representation in Iraq.
18. Frenken, Karen (2009), Irrigation in the Middle East Region in Figures. AQUASTAT Survey 2008, Water Reports 34, Rome: FAO, ISBN 978-92-5-106316-3).
19. ICMR, 1975. Manual of standards of quality for drinking water supplies. ICMR, New Delhi.
20. Jawad, Laith A. (2003), "Impact of Environmental Change on the Freshwater Fish Fauna of Iraq", *International Journal of Environmental Studies* 60 (6): 581–593.
21. Kolars, J., 1994. Problem of International River Management. In: *The case of the Euphrates, International Waters of the Middle East from Euphrates-Tigris to Nile*, Biswas, A.K. (Ed.). Oxford University Press, Oxford, pp:44-49
22. Nelson F., Alberto R. R. and Fredy S., 2004, Physico - chemical water quality indices – a comparative review, *Revisal BISTUA*, Colombia, 19 - 30.
23. Pandey, M. and Sundaram, S. M., 2002, Trend of water quality of river Ganga at Varanasi using WQI approach, *International Journal of Ecology and Environmental Science*. New Delhi: International Scientific Publication, 28, pp 139–142.
24. Sabah Obaid Hamad Al – Shujairi, 2013. Develop and Apply Water Quality Index to Evaluate Water Quality of Tigris and Euphrates Rivers in Iraq. *International Journal of Modern Engineering Research*. Vol. 3 Issue. 4, pp-2119-2126.
25. Sarkar, C., and Abbasi, S. A., 2006. Qualidex – A new software for generating water quality indice. *Environmental Monitoring and Assessment*. 119, 201–231.

IX. APÉNDICES

- Apéndice N° 9.1 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay-Lambayeque (Ríos), año 2013
- Apéndice N° 9.2 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay-Lambayeque (Quebradas), año 2013
- Apéndice N° 9.3 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay-Lambayeque (Ríos), año 2014
- Apéndice N° 9.4 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay-Lambayeque (Quebradas), año 2014
- Apéndice N° 9.5 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay-Lambayeque (Ríos), año 2016
- Apéndice N° 9.6 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay-Lambayeque (Quebradas), año 2016
- Apéndice N° 9.7 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay-Lambayeque, año 2013
- Apéndice N° 9.8 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2013
- Apéndice N° 9.9 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay-Lambayeque, año 2014
- Apéndice N° 9.10 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2014
- Apéndice N° 9.11 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2016
- Apéndice N° 9.12 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2016

Apéndice N° 9.1 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Ríos), año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 | R14 | R15 | R16 |
|--------------------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------|--------|--------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.5 | 7.2 | 8.2 | 8.1 | 8.1 | 7.9 | 8.2 | 4.2 | 7 | 6.66 | 7.12 | 7.3 | 7.1 | 7.46 | 6.89 | 7.9 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 7 | 7.42 | 8.1 | 8.46 | 8.73 | 7.8 | 8.6 | 6.8 | 6.93 | 7.35 | 7.78 | 7.89 | 7.76 | 7.97 | 8.27 | 8.34 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 323 | 65.7 | 206 | 236 | 197.2 | 977 | 8640 | 62.7 | 45.2 | 32.7 | 48.6 | 37.3 | 13 | 69.6 | 33.2 | 256 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 17 | | 1300 | 790 | 490 | 490 | 7900 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | | | 1.8 | 1.8 | 2 | 1300 |
| DBO | mg/L | 15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3.2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| DQO | mg/L | 40 | 16 | 12.6 | 10.4 | 6.8 | 13.9 | 9.7 | 13.1 | 7.6 | 2.6 | 2.1 | 9.6 | 8 | 6.8 | 12.8 | 13.2 | 12.3 |
| Al | mg/L | 5 | 0.0174 | 0.392 | 1.42 | 1.54 | 1.16 | 0.2426 | 0.6068 | 1.09 | 0.1738 | 0.6756 | 0.6193 | 0.1335 | 0.0422 | 0.7141 | 0.5219 | 2.12 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.0006 | 0.0015 | 0.0021 | 0.0038 | 0.001 | 0.0048 | 0.0029 | 0.0004 | 0.0048 | 0.0031 | 0.003 | 0.0041 | 0.001 | 0.0045 | 0.0014 | 0.0033 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.0125 | 0.0283 | 0.0306 | 0.0339 | 0.031 | 0.0973 | 0.1022 | 0.0158 | 0.0292 | 0.021 | 0.0999 | 0.0194 | 0.007 | 0.0164 | 0.0164 | 0.0414 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 |
| B | mg/L | 1 | 0.0067 | 0.0235 | 0.055 | 0.048 | 0.0537 | 0.3996 | 1.13 | 0.0031 | 0.0033 | 0.0024 | 0.0261 | 0.0034 | 0.0012 | 0.0127 | 0.0048 | 0.0543 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0016 | 0.0017 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0007 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.0001 | 0.0011 | 0.0054 | 0.004 | 0.0044 | 0.0019 | 0.0044 | 0.0011 | 0.0012 | 0.0437 | 0.0363 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0066 | 0.0018 | 0.0053 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.0005 | 0.0009 | 0.0018 | 0.0012 | 0.001 | 0.0011 | 0.0035 | 0.0005 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0014 | 0.0014 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0014 | 0.0012 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.0347 | 0.4226 | 1.09 | 1.01 | 0.8339 | 0.2897 | 0.8039 | 0.656 | 0.1339 | 0.2358 | 0.4405 | 0.1054 | 0.0477 | 0.4883 | 0.3746 | 1.16 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.0012 | 0.006 | 0.0121 | 0.0064 | 0.0111 | 0.0068 | 0.0383 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0024 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0017 | 0.0012 | 0.0068 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.0155 | 0.0278 | 0.0411 | 0.0468 | 0.0314 | 0.031 | 0.077 | 0.0248 | 0.0152 | 0.0643 | 0.0741 | 0.0081 | 0.0037 | 0.0284 | 0.0151 | 0.0697 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.0019 | 0.0004 | 0.0011 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0032 | 0.0075 | 0.001 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0022 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0008 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0046 | 0.0002 | 0.0046 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0012 | 0.0038 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.0023 | 0.0298 | 0.0129 | 0.031 | 0.0121 | 0.0043 | 0.0035 | 0.0159 | 0.0108 | 0.0358 | 0.0304 | 0.0148 | 0.0105 | 0.0132 | 0.0263 | 0.0181 |
| | | | Indica Valor menor al indicado | | | | | | | | | | | | | | | |
| R1: Río Chancay, naciente | | | | | | R7: Río Reque, delta | | | | | | R13: Río Chorro Blanco, despues de canal Pisit | | | | | | |
| R2: Río Chancay, 1Km de puente La Lucma | | | | | | R8: Río Tuyo, puente Tres Rios | | | | | | R14: Río Cañad, puente Cañad | | | | | | |
| R3: Río Chancay, antes del río San Lorenzo | | | | | | R9: Río Pisit, antes de piscigranja | | | | | | R15: Río San Lorenzo, antes de puente Barandas | | | | | | |
| R4: Río Chancay, La Puntilla | | | | | | R10: Río Cedro, naciente | | | | | | R16: Río Lambayeque, antes de Toma Santeño | | | | | | |
| R5: Río Chancay, antes Bocatroma Racarumi | | | | | | R11: Río Cedro, despues de Pampa Verde | | | | | | | | | | | | |
| R6: Río Reque antes de puente Reque | | | | | | R12: Río Santa Catalina, 30m antes de puente Pulan | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de ANA 2013.

Apéndice N° 9.2 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Quebradas), año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------|--------|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 5 | 3.6 | 4.1 | 3.5 | 6.94 | 6.74 | 7 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 6.15 | 6.55 | 7.5 | 7.14 | 7.63 | 7.51 | 7.59 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 52.9 | 173.4 | 128.8 | 521 | 222 | 295 | 13 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | | | 1.8 |
| DBO | mg/L | 15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| DQO | mg/L | 40 | 6.7 | 10.9 | 10.5 | 12.6 | 2.6 | 2 | 9.6 |
| Al | mg/L | 5 | 0.927 | 2 | 2 | 4 | 0.195 | 0.243 | 0.0639 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0306 | 0.0004 | 0.0025 | 0.0008 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.0244 | 0.0326 | 0.0222 | 0.0145 | 0.035 | 0.0503 | 0.0016 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 |
| B | mg/L | 1 | 0.0027 | 0.0025 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0035 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0003 | 0.019 | 0.0015 | 0.0005 | 0.0002 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.0015 | 0.0036 | 0.0025 | 0.0136 | 0.0055 | 0.0012 | 0.0002 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.0036 | 0.0066 | 0.674 | 4.2 | 0.03 | 0.0225 | 0.0009 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0008 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0005 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.3464 | 2 | 0.761 | 13.73 | 0.0294 | 0.3103 | 0.0113 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0022 | 0.0025 | 0.0012 | 0.0042 | 0.0012 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.0539 | 0.0489 | 0.0471 | 2.96 | 0.7547 | 0.2514 | 0.0142 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.0012 | 0.0022 | 0.0017 | 0.012 | 0.0011 | 0.0013 | 0.0004 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0036 | 0.0176 | 0.0002 | 0.0033 | 0.0002 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0019 | 0.0002 | 0.0002 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.0147 | 0.031 | 0.0765 | 3.28 | 0.0749 | 0.0399 | 0.0264 |
| | Indica Valor menor al indicado | | | | | | | | |
| Q1: Quebrada Azufre, naciente | | | | | Q5: Quebrada La Pampa, antes de minera La Zanja | | | | |
| Q2: Quebrada Las Pircas, naciente | | | | | Q6: Quebrada La Pampa, despues de minera La Zanja | | | | |
| Q3: Quebrada Las Gradass, cruce carretera Chencho | | | | | Q7: Quebrada Chorro Blanco, caserio El Roble | | | | |
| Q4: Quebrada Colorada, puente a carretera a Chota | | | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de ANA 2013.

Apéndice N° 9.3 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Ríos), año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 | R14 | R15 |
|----------------------------------------------|-----------|--------------|-------------------------------------------------------|--------|---------|-------------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|---------|---------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.73 | 7.17 | 8.52 | 8.7 | 8.24 | 8.34 | 8.71 | 8.59 | 8.2 | 8.92 | 8.08 | 9.01 | 8.87 | 8.5 | 8.58 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 6.94 | 7.45 | 7.55 | 7.58 | 7.72 | 7.63 | 7.42 | 8.54 | 8.31 | 8.31 | 8.27 | 8.9 | 8.63 | 8.08 | 9.5 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 302 | 32.6 | 204 | 150.5 | 84.06 | 10.85 | 169.9 | 89.83 | 47.86 | 190.2 | 504.9 | 205.3 | 269.1 | 309.2 | 1298 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | | 110 | 23 | 79 | 110 | 330 | 23 | 330 | 49 | 130 | 23 | 230 | 22 |
| DBO | mg/L | 15 | | | | 6 | 8 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| DQO | mg/L | 40 | 21.41 | 6 | 21.8 | 12 | 19 | 12 | 6 | 6 | 6 | 6 | 22.51 | 6 | 6 | 6 | 25.77 |
| Al | mg/L | 5 | 0.04759 | 0.3249 | 0.12875 | 0.09873 | 0.0668 | 0.0482 | 0.09597 | 0.1277 | 0.0866 | 0.1697 | 0.0116 | 0.1516 | 0.101338 | 0.1193 | 0.056 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.0005 | 0.0009 | 0.00053 | 0.0031 | 0.001 | 0.0008 | 0.00052 | 0.0022 | 0.0012 | 0.0018 | 0.001 | 0.0013 | 0.0036 | 0.0037 | 0.0064 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.01003 | 0.0171 | 0.0232 | 0.0495 | 0.0236 | 0.0092 | 0.01678 | 0.0092 | 0.0104 | 0.0191 | 0.0295 | 0.02516 | 0.02925 | 0.0347 | 0.0784 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| B | mg/L | 1 | 0.00877 | 0.005 | 0.02636 | 0.2868 | 0.0684 | 0.005 | 0.00657 | 0.0254 | 0.0156 | 0.0994 | 0.0466 | 0.09464 | 0.0833 | 0.084 | 0.5029 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00002 | 0 | 0 | 0.0001 | 0 | 0.000022 | 0.000046 | 0.00001 | 0.00001 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.00007 | 0.0009 | 0.00015 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00007 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0002 | 0 | 0.000172 | 0.000092 | 0.0005 | 0.00007 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.00099 | 0.0328 | 0.02154 | 0.00156 | 0.00184 | 0.00128 | 0.00147 | 0.0155 | 0.0009 | 0.0068 | 0.0019 | 0.005619 | 0.006414 | 0.00353 | 0.00234 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.00013 | 0.0001 | 0.00013 | 0.00018 | 0.00097 | 0.00015 | 0.00022 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0001 | 0.000152 | 0.000171 | 0.00009 | 0.00012 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.10644 | 0.2091 | 0.06489 | 0.26369 | 0.19404 | 0.08266 | 0.08541 | 0.1029 | 0.1238 | 0.1961 | 0.013 | 0.17126 | 0.12371 | 0.12058 | 0.06746 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.003 | 0.003 | 0.00657 | 0.0693 | 0.0151 | 0.003 | 0.003 | 0.0031 | 0.003 | 0.0198 | 0.003 | 0.01872 | 0.00975 | 0.00954 | 0.00501 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.03453 | 0.0572 | 0.01633 | 0.0282 | 0.0164 | 0.0064 | 0.00941 | 0.0081 | 0.0092 | 0.0163 | 0.004 | 0.0211 | 0.05047 | 0.05671 | 0.02387 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.00018 | 0.0003 | 0.00027 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.00071 | 0.00065 | 0.00026 | 0.00075 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.00024 | 0.0004 | 0.00014 | 0.00028 | 0.00029 | 0.00018 | 0.00013 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0009 | 0.00083 | 0.00017 | 0.00015 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.00207 | 0.0151 | 0.01188 | 0.006 | 0.031 | 0.005 | 0.01237 | 0.0059 | 0.0056 | 0.0278 | 0.0066 | 0.02417 | 0.07721 | 0.0066 | 0.01587 |
| Indica Valor menor al indicado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R1: Naciente rio Chancay | | | R6: Rio Chorro Blanco, despues de canal del rio Pisit | | | R11: Rio Cumbil | | | | | | | | | | | |
| R2: Rio Cedro, altura Mina La Zanja | | | R7: Rio Las Nieves, altura distrito la Esperanza | | | R12: Rio Chancay, puente San Carlos | | | | | | | | | | | |
| R3: Rio San Juan Pampa, antes de rio Chancay | | | R8: Rio Cañad, 100m de puente Cañad | | | R13: Rio Chancay, La Puntilla | | | | | | | | | | | |
| R4: Rio Conramar, altura distrito Catilluc | | | R9: Rio San Lorenzo, 50 m de puente Barandas | | | R14: Rio Lambayeque, 200m antes de Toma Santeño | | | | | | | | | | | |
| R5: Rio Chancay, altura Puente Lucma | | | R10: Rio Chancay, antes de rio San Lorenzo | | | R15: Rio Reque, despues de canal Eten | | | | | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de ANA 2014.

Apéndice N° 9.4 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Quebradas), año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------|--------|---------|--------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 7.11 | 6.26 | 2.9 | 2.92 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 7.38 | 7.18 | 6.77 | 7.15 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 55.4 | 71 | 1575 | 543 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | 1.8 | 1.8 |
| DBO | mg/L | 15 | | | 2 | 2 |
| DQO | mg/L | 40 | 6 | 6 | 71.71 | 24.77 |
| Al | mg/L | 5 | 0.1559 | 0.0752 | 14.26 | 5.91 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.0011 | 0.0003 | 0.01783 | 0.0067 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.0535 | 0.0483 | 0.01415 | 0.0152 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| B | mg/L | 1 | 0.005 | 0.005 | 0.00581 | 0.0067 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.0003 | 0.0008 | 0.02398 | 0.01 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.0003 | 0.0005 | 0.05676 | 0.0126 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.0051 | 0.0099 | 3.98 | 1.96 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00382 | 0.0006 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.127 | 0.0137 | 59.49 | 6.67 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.003 | 0.003 | 0.00574 | 0.003 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.1643 | 0.1097 | 15.14 | 3 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.0006 | 0.0007 | 0.01353 | 0.0067 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.0016 | 0.0004 | 0.03838 | 0.0288 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.0192 | 0.0428 | 3.48 | 1.62 |
| | Indica Valor menor al indicado | | | | | |
| Q1: Quebrada La Pampa, despues de vertimento industrial | | | | | | |
| Q2: Quebrada La Pampa, antes de vertimento industrial | | | | | | |
| Q3: Quebrada Colorada, 500m despues de pasivos ambientales | | | | | | |
| Q4: Quebrada Colorada, despues de Pasivos Ambientales de Sinchao | | | | | | |

Fuente: Adaptado de ANA 2014.

Apéndice N° 9.5 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Ríos), año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|--------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 8.39 | 7.67 | 7.95 | 7.7 | 8.25 | 8.18 | 8.68 | 8.68 | 8.86 | 8.38 | 8.1 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 4.95 | 4.99 | 5.44 | 5.05 | 6.75 | 6.2 | 6.8 | 8.89 | 9.62 | 8.64 | 7.8 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 200.8 | 257.7 | 166.9 | 92.63 | 246.1 | 74.18 | 229.1 | 225.4 | 300.1 | 353.8 | 1010 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 1.8 | 79 | 1.8 | 170 | 33 | 13 | 170 | 33 | 33 | 330 | 1100 |
| DBO | mg/L | 15 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| DQO | mg/L | 40 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Al | mg/L | 5 | 0.267 | 0.036 | 0.252 | 0.312 | 0.107 | 0.038 | 0.209 | 0.079 | 0.174 | 0.187 | 0.115 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.028 | 0.034 | 0.028 | 0.02 | 0.028 | 0.033 | 0.018 | 0.029 | 0.028 | 0.033 | 0.062 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 |
| B | mg/L | 1 | 0.008 | 0.008 | 0.0976 | 0.111 | 0.176 | 0.067 | 0.025 | 0.227 | 0.186 | 0.127 | 0.462 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.00171 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 | 0.00018 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.138 | 0.002 | 0.007 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.03 | 0.002 | 0.002 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Fe | mg/L | 5 | 0.018 | 0.015 | 0.016 | 0.165 | 0.079 | 0.025 | 0.147 | 0.063 | 0.131 | 0.157 | 0.135 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.002 | 0.001 | 0.019 | 0.022 | 0.032 | 0.008 | 0.003 | 0.044 | 0.0096 | 0.009 | 0.006 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 0.3359 | 0.001 | 0.004 | 0.009 | 0.018 | 0.006 | 0.013 | 0.009 | 0.029 | 0.044 | 0.06 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0014 | 0.0004 | 0.0016 |
| Zn | mg/L | 2 | 0.29 | 0.004 | 0.008 | 0.004 | 0.004 | 0.01 | 0.005 | 0.004 | 0.016 | 0.008 | 0.031 |
| | Indica Valor menor al indicado | | | | | | | | | | | | |
| R1: Rio Perlamayo 10 m antes de quebrada Putic | | | R5: Rio Cañad, 100 m antes de puente Cañad | | | | R9: Rio Chancay, La Puntilla | | | | | | |
| R2: Rio Perlamayo, 50 m despues de quebrada Putic | | | R6: Rio San Lorenzo, 50 m despues de puente Barandas | | | | R10: Rio Lambayeque, antes de Toma Santeño | | | | | | |
| R3: Rio San Juan Pampa, antes de rio Chancay | | | R7: Rio Chancay, antes de rio San Lorenzo | | | | R11: Rio Reque, despues de canal Eten | | | | | | |
| R4: Rio Chancay, cuenca Alta | | | R8; Rio Chancay, puente San Carlos | | | | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de ANA 2016.

Apéndice N° 9.6 Resultados de Monitoreo en Cuenca Chancay- Lambayeque (Quebradas), año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|
| pH | | 6.5 - 8.5 | 3.01 | 3.84 | 3.33 | 4.77 | 7.89 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | 4.09 | 4.08 | 4.55 | 4.72 | 4.17 |
| Cond. | µS/cm | 2500 | 20.31 | 179.4 | 516.7 | 227.9 | 260.1 |
| CF | NMP/100ml | 1000 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| DBO | mg/L | 15 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| DQO | mg/L | 40 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Al | mg/L | 5 | 12.63 | 6.41 | 2.01 | 1.96 | 0.305 |
| As | mg/L | 0.1 | 0.034 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 |
| Ba | mg/L | 0.7 | 0.014 | 0.024 | 0.037 | 0.03 | 0.031 |
| Be | mg/L | 0.1 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 |
| B | mg/L | 1 | 0.065 | 0.034 | 0.011 | 0.008 | 0.008 |
| Cd | mg/L | 0.01 | 0.00933 | 0.00056 | 0.00018 | 0.00905 | 0.00098 |
| Co | mg/L | 0.05 | 0.0989 | 0.016 | 0.006 | 0.005 | 0.001 |
| Cu | mg/L | 0.2 | 0.002 | 2.62 | 0.161 | 0.559 | 0.127 |
| Cr | mg/L | 0.1 | 0.016 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Fe | mg/L | 5 | 78.43 | 3.4 | 0.241 | 0.09 | 0.063 |
| Li | mg/L | 2.5 | 0.009 | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| Mn | mg/L | 0.2 | 31.78 | 2.6 | 0.271 | 0.672 | 0.216 |
| Hg | mg/L | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| Ni | mg/L | 0.2 | 0.07 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Pb | mg/L | 0.05 | 0.001 | 0.041 | 0.02 | 0.001 | 0.001 |
| Se | mg/L | 0.02 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.00981 | 0.0004 |
| Zn | mg/L | 2 | 30.1 | 2.03 | 0.21 | 0.568 | 0.186 |
| | Indica Valor menor al indicado | | | | | | |
| Q1: Quebrada Colorada 500m despues de Pasivos Ambientales | | | | Q4: Quebrada Colorada, antes de rio Perlamayo | | | |
| Q2: Quebrada Colorada, antes de puente Sinchao | | | | Q5: Quebrada Putic, antes de rio Perlamayo | | | |
| Q3: Quebrada Colorada, 10 m de puente carretera a Chota | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de ANA 2016.

Apéndice N° 9.7 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Punto de muestreo en ríos | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|-----------|--------------|----------------------------------------------------|---|------|---|---|---|---|------|---|------------------------------------------------|----|----|----|----|----|------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| pH | | 6.5 - 8.5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OD | mg/l | ≥ 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cond. | µS/cm | 2500 | | | | | | | | 2.46 | | | | | | | | |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | 0.30 | | | | | 6.90 | | | | | | | | 0.30 |
| DBO | mg/L | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DQO | mg/L | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | mg/L | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| As | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba | mg/L | 0.7 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Be | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | mg/L | 1 | | | | | | | | 0.13 | | | | | | | | |
| Cd | mg/L | 0.01 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Co | mg/L | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cr | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe | mg/L | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Li | mg/L | 2.5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hg | mg/L | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pb | mg/L | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Se | mg/L | 0.02 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zn | mg/L | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suma de excedentes | | | 10.09 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suma nominal de excedentes (nse) | | | 0.027 | | | | | | | | | | | | | | | |
| F1 | | | 13.043 | | | | | | | | | | | | | | | |
| F2 | | | 1.36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| F3 | | | 2.63 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ICA -PE | | | 92.28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | EXCELENTE | | | | | | | | | | | | | | | |
| R1: Rio Chancay, naciente | | | R7: Rio Reque, delta | | | | | | | | | R13: Rio Chorro Blanco, despues de canal Pisit | | | | | | |
| R2: Rio Chancay, 1Km de puente La Lucma | | | R8: Rio Tuyo, puente Tres Rios | | | | | | | | | R14: Rio Cañad, puente Cañad | | | | | | |
| R3: Rio Chancay, antes del rio San Lorenzo | | | R9: Rio Pisit, antes de piscigranja | | | | | | | | | R15: Rio San Lorenzo, antes de puente Barandas | | | | | | |
| R4: Rio Chancay, La Puntilla | | | R10: Rio Cedro, naciente | | | | | | | | | R16: Rio Lambayeque, antes de Toma Santeño | | | | | | |
| R5: Rio Chancay, antes Bocatroma Racarumi | | | R11: Rio Cedro, despues de Pampa Verde | | | | | | | | | | | | | | | |
| R6: Rio Reque antes de puente Reque | | | R12: Rio Santa Catalina, 30m antes de puente Pulan | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Apéndice N° 9.8 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2013

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Punto de muestreo en Quebradas | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------------------|---|------|------|------|------|---|--|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| pH | | 6.5 - 8.5 | | | | | | | | |
| OD | mg/l | ≥ 4 | | | | | | | | |
| Cond. | µS/cm | 2500 | | | | | | | | |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | | | | | | |
| DBO | mg/L | 15 | | | | | | | | |
| DQO | mg/L | 40 | | | | | | | | |
| Al | mg/L | 5 | | | | | | | | |
| As | mg/L | 0.1 | | | | | | | | |
| Ba | mg/L | 0.7 | | | | | | | | |
| Be | mg/L | 0.1 | | | | | | | | |
| B | mg/L | 1 | | | | | | | | |
| Cd | mg/L | 0.01 | | | | | 0.9 | | | |
| Co | mg/L | 0.05 | | | | | | | | |
| Cu | mg/L | 0.2 | | | 2.37 | 20 | | | | |
| Cr | mg/L | 0.1 | | | | | | | | |
| Fe | mg/L | 5 | | | | 1.75 | | | | |
| Li | mg/L | 2.5 | | | | | | | | |
| Mn | mg/L | 0.2 | | | | 13.8 | 2.77 | 0.26 | | |
| Hg | mg/L | 0.001 | | | | | | | | |
| Ni | mg/L | 0.2 | | | | | | | | |
| Pb | mg/L | 0.05 | | | | | | | | |
| Se | mg/L | 0.02 | | | | | | | | |
| Zn | mg/L | 2 | | | | 0.64 | | | | |
| Suma de excedentes | | | 42.49 | | | | | | | |
| Suma nominal de excedentes (nse) | | | 0.264 | | | | | | | |
| F1 | | | 0.217 | | | | | | | |
| F2 | | | 0.05 | | | | | | | |
| F3 | | | 20.89 | | | | | | | |
| ICA -PE | | | 87.94 | | | | | | | |
| | | | BUENA | | | | | | | |
| Q1: Quebrada Azufre, naciente | | | Q5: Quebrada La Pampa, antes de minera La Zanja | | | | | | | |
| Q2: Quebrada Las Pircas, naciente | | | Q6: Quebrada La Pampa, despues de minera La Zanja | | | | | | | |
| Q3: Quebrada Las Gradass, cruce carretera Chencho | | | Q7: Quebrada Chorro Blanco, caserío El Roble | | | | | | | |
| Q4: Quebrada Colorada, puente a carretera a Chota | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Apéndice N° 9.9 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Punto de muestreo en Ríos | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-----------|--------------|-------------------------------------------------------|---|-------|-------|---|-------------------------------------------------|---|-------|-------|----|------|----|------|-------|----|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| pH | | 6.5 - 8.5 | 0.027 | | 0.002 | 0.024 | | | | 0.025 | 0.011 | | 0.05 | | 0.06 | 0.044 | | 0.009 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cond. | µS/cm | 2500 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DBO | mg/L | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DQO | mg/L | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | mg/L | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| As | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba | mg/L | 0.7 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Be | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | mg/L | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | mg/L | 0.01 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Co | mg/L | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cr | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe | mg/L | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Li | mg/L | 2.5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hg | mg/L | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pb | mg/L | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Se | mg/L | 0.02 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zn | mg/L | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suma de excedentes | | | 0.251 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suma nominal de excedentes (nse) | | | 0.00073 | | | | | | | | | | | | | | | |
| F1 | | | 4.348 | | | | | | | | | | | | | | | |
| F2 | | | 2.609 | | | | | | | | | | | | | | | |
| F3 | | | 0.073 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ICA - PE | | | 97.07 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | EXCELENTE | | | | | | | | | | | | | | | |
| R1: Naciente rio Chancay | | | R6: Rio Chorro Blanco, despues de canal del rio Pisit | | | | | R11: Rio Cumbil | | | | | | | | | | |
| R2: Rio Cedro, altura Mina La Zanja | | | R7: Rio Las Nieves, altura distrito la Esperanza | | | | | R12: Rio Chancay, puente San Carlos | | | | | | | | | | |
| R3: Rio San Juan Pampa, antes de rio Chancay | | | R8: Rio Cañad, 100m de puente Cañad | | | | | R13: Rio Chancay, La Puntilla | | | | | | | | | | |
| R4: Rio Conramar, altura distrito Catilluc | | | R9: Rio San Lorenzo, 50 m de puente Barandas | | | | | R14: Rio Lambayeque, 200m antes de Toma Santeño | | | | | | | | | | |
| R5: Rio Chancay, altura Puente Lucma | | | R10: Rio Chancay, antes de rio San Lorenzo | | | | | R15: Rio Reque, despues de canal Eten | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Apéndice N° 9.10 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2014

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Punto de muestreo en Quebradas | | | |
|------------------------------------------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------|---|--------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| pH | | 6.5 - 8.5 | | | 1.241 | 1.226 |
| OD | mg/l | ≥ 4 | | | | |
| Cond. | µS/cm | 2500 | | | | |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | | |
| DBO | mg/L | 15 | | | | |
| DQO | mg/L | 40 | | | 0.793 | |
| Al | mg/L | 5 | | | 1.852 | 0.182 |
| As | mg/L | 0.1 | | | | |
| Ba | mg/L | 0.7 | | | | |
| Be | mg/L | 0.1 | | | | |
| B | mg/L | 1 | | | | |
| Cd | mg/L | 0.01 | | | | |
| Co | mg/L | 0.05 | | | 0.135 | |
| Cu | mg/L | 0.2 | | | 18.9 | 8.8 |
| Cr | mg/L | 0.1 | | | | |
| Fe | mg/L | 5 | | | 10.898 | 0.334 |
| Li | mg/L | 2.5 | | | | |
| Mn | mg/L | 0.2 | | | 74.7 | 14 |
| Hg | mg/L | 0.001 | | | | |
| Ni | mg/L | 0.2 | | | | |
| Pb | mg/L | 0.05 | | | | |
| Se | mg/L | 0.02 | | | | |
| Zn | mg/L | 2 | | | 0.74 | |
| Suma de excedentes | | | 133.801 | | | |
| Suma nominal de excedentes (nse) | | | 1.454 | | | |
| F1 | | | 34.783 | | | |
| F2 | | | 14.130 | | | |
| F3 | | | 59.26 | | | |
| ICA -PE | | | 59.50 | | | |
| | | | REGULAR | | | |
| Q1: Quebrada La Pampa, despues de vertimento industrial | | | | | | |
| Q2: Quebrada La Pampa, antes de vertimento industrial | | | | | | |
| Q3: Quebrada Colorada, 500m despues de pasivos ambientales | | | | | | |
| Q4: Quebrada Colorada, despues de Pasivos Ambientales de Sinchao | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Apéndice N° 9.11 Cálculo del índice ICA-PE en Ríos en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Punto de monitoreo en Ríos | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|-----------|--------------|------------------------------------------------------|---|---|--------------------------------------------|---|---|------------------|-------|-------|-------|----|-----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| pH | | 6.5 - 8.5 | | | | | | | | 0.021 | 0.021 | 0.042 | | |
| OD | mg/l | ≥ 4 | | | | | | | | | | | | |
| Cond. | µS/cm | 2500 | | | | | | | | | | | | |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | | | | | | | | | | 0.1 |
| DBO | mg/L | 15 | | | | | | | | | | | | |
| DQO | mg/L | 40 | | | | | | | | | | | | |
| Al | mg/L | 5 | | | | | | | | | | | | |
| As | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | |
| Ba | mg/L | 0.7 | | | | | | | | | | | | |
| Be | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | |
| B | mg/L | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Cd | mg/L | 0.01 | | | | | | | | | | | | |
| Co | mg/L | 0.05 | | | | | | | | | | | | |
| Cu | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | |
| Cr | mg/L | 0.1 | | | | | | | | | | | | |
| Fe | mg/L | 5 | | | | | | | | | | | | |
| Li | mg/L | 2.5 | | | | | | | | | | | | |
| Mn | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | |
| Hg | mg/L | 0.001 | | | | | | | | | | | | |
| Ni | mg/L | 0.2 | | | | | | | | | | | | |
| Pb | mg/L | 0.05 | | | | | | | | | | | | |
| Se | mg/L | 0.02 | | | | | | | | | | | | |
| Zn | mg/L | 2 | | | | | | | | | | | | |
| Suma de excedentes | | | | | | | | | 0.184 | | | | | |
| Suma nominal de excedentes (nse) | | | | | | | | | 0.001 | | | | | |
| F1 | | | | | | | | | 8.696 | | | | | |
| F2 | | | | | | | | | 1.58 | | | | | |
| F3 | | | | | | | | | 0.07 | | | | | |
| ICA -PE | | | | | | | | | 94.90 | | | | | |
| | | | | | | | | | EXCELENTE | | | | | |
| R1: Río Perlamayo 10 m antes de quebrada Putic | | | R5: Río Cañad, 100 m antes de puente Cañad | | | R9: Río Chancay, La Puntilla | | | | | | | | |
| R2: Río Perlamayo, 50 m despues de quebrada Putic | | | R6: Río San Lorenzo, 50 m despues de puente Barandas | | | R10: Río Lambayeque, antes de Toma Santeño | | | | | | | | |
| R3: Río San Juan Pampa, antes de río Chancay | | | R7: Río Chancay, antes de río San Lorenzo | | | R11: Río Reque, despues de canal Eten | | | | | | | | |
| R4: Río Chancay, cuenca Alta | | | R8: Río Chancay, puente San Carlos | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Apéndice N° 9.12 Cálculo del índice ICA-PE en Quebradas en Cuenca Chancay- Lambayeque, año 2016

| Parametro | Unidad | ECA (Cat. 3) | Punto de monitoreo en Quebradas | | | | |
|-----------------------------------------------------------|-----------|--------------|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| pH | | 6.5 - 8.5 | 1.159 | 0.693 | 0.952 | 0.363 | |
| OD | mg/l | ≥ 4 | | | | | |
| Cond. | µS/cm | 2500 | | | | | |
| CF | NMP/100ml | 1000 | | | | | |
| DBO | mg/L | 15 | | | | | |
| DQO | mg/L | 40 | | | | | |
| Al | mg/L | 5 | 1.526 | 0.282 | | | |
| As | mg/L | 0.1 | | | | | |
| Ba | mg/L | 0.7 | | | | | |
| Be | mg/L | 0.1 | | | | | |
| B | mg/L | 1 | | | | | |
| Cd | mg/L | 0.01 | | | | | |
| Co | mg/L | 0.05 | | | | | |
| Cu | mg/L | 0.2 | | 12.1 | | 1.795 | |
| Cr | mg/L | 0.1 | | | | | |
| Fe | mg/L | 5 | 14.686 | | | | |
| Li | mg/L | 2.5 | | | | | |
| Mn | mg/L | 0.2 | | | | | |
| Hg | mg/L | 0.001 | | | | | |
| Ni | mg/L | 0.2 | | | | | |
| Pb | mg/L | 0.05 | | | | | |
| Se | mg/L | 0.02 | | | | | |
| Zn | mg/L | 2 | 14.05 | 0.015 | | | |
| Suma de excedentes | | | 47.621 | | | | |
| Suma nominal de excedentes (nse) | | | 0.414 | | | | |
| F1 | | | 21.739 | | | | |
| F2 | | | 9.565 | | | | |
| F3 | | | 29.28 | | | | |
| ICA-PE | | | 78.23 | | | | |
| | | | BUENO | | | | |
| Q1: Quebrada Colorada 500m despues de Pasivos Ambientales | | | Q4: Quebrada Colorada, antes de rio Perlamayo | | | | |
| Q2: Quebrada Colorada, antes de puente Sinchao | | | Q5: Quebrada Putic, antes de rio Perlamayo | | | | |
| Q3: Quebrada Colorada, 10 m de puente carretera a Chota | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

X. ANEXOS

Anexo N° 10.1 Matriz de consistencia

Anexo N° 10.2 Ubicación de la Cuenca Chancay – Lambayeque,
Perú.

Anexo N° 10.3 Principal río en la Cuenca Chancay –
Lambayeque, Perú.

Anexo N° 10.4 Metodología ICA-PE

Anexo N° 10.5 Registro de fotos

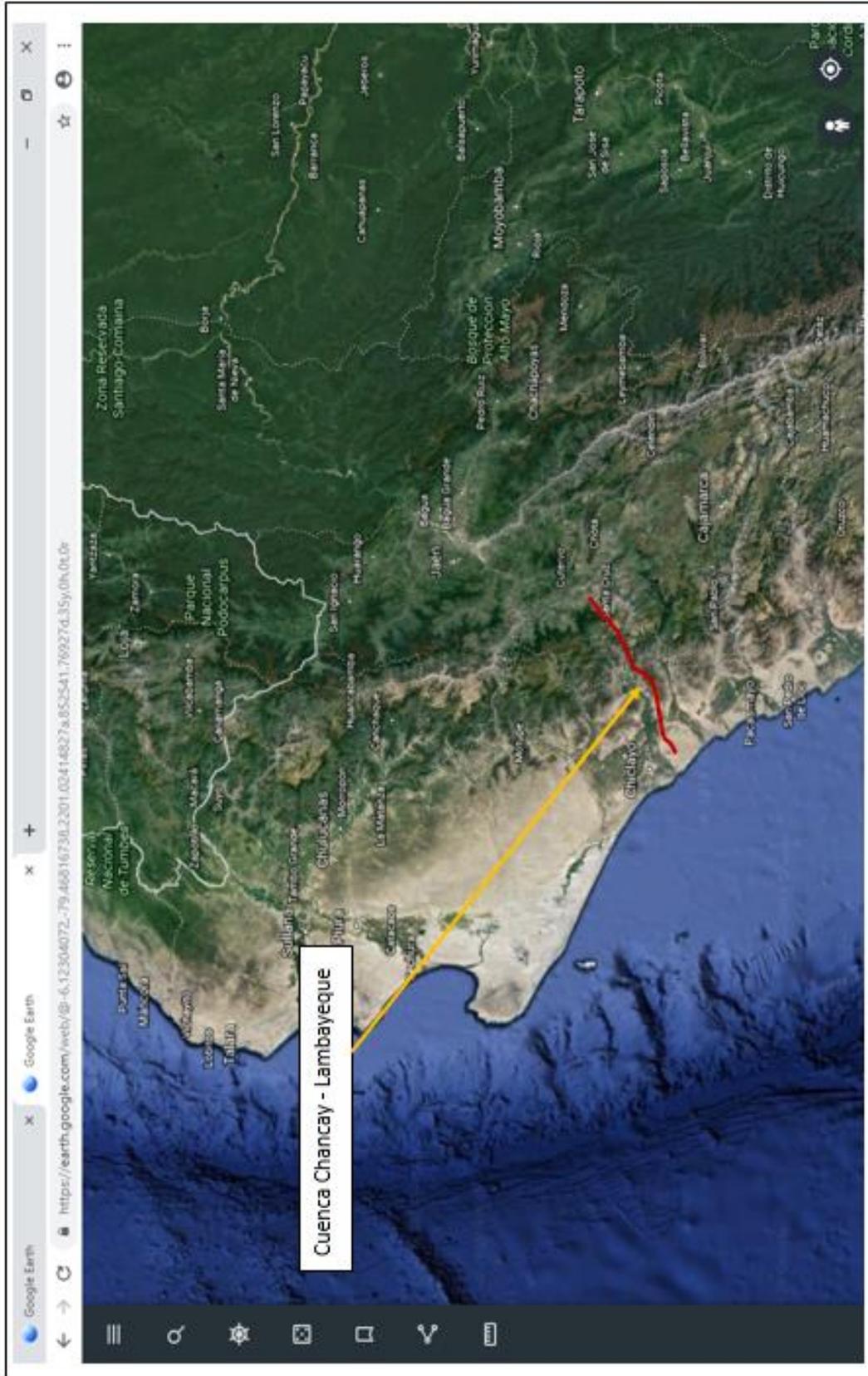
Anexo N° 10.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Formulación del Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Metodología |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Problemática</p> <p>En el Perú, la evaluación de la calidad del agua se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA-Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente, lo que determina su cumplimiento o incumplimiento,</p> <p>Se hace necesario la determinación de la calidad del agua bajo la aplicación de indicadores de calidad del agua recientemente aprobados en Perú (ICA-PE) y su comparación con otros índices reconocidos internacionalmente.</p> | <p>Objetivo general</p> <p>Desarrollar la evaluación de la calidad del agua en los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque de la región Lambayeque mediante el uso de indicadores de calidad del agua de Perú (ICA-PE) y su comparativo con el índice de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) en los años 2013, 2014 y 2016</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar y caracterizar los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque. - Determinar los índices de calidad del agua de Perú | <p>La evaluación de la calidad del agua en los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque de la región Lambayeque son determinados mediante el uso de indicadores de calidad del agua de Perú (ICA-PE) así como de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) en los años 2013, 2014 y 2016</p> | <p>Variable independiente(vi):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentración de parámetros contaminantes en el río <p>Variable dependiente (vd):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calidad del agua en un río | <p>Universo:</p> <p>El universo corresponde a todos los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque, y que corresponde a una cuenca con considerable actividad agrícola y escasa actividad minera.</p> <p>Muestra:</p> <p>La muestra corresponde a cuatro (04) ríos: río Chancay, río Cedro, río Lambayeque y río Reque en el periodo 2013, 2014 y 2016, respecto a cuatro (4) parámetros físicos y 30 parámetros químicos; dichos ríos representan a la cuenca Chancay – Lambayeque.</p> <p>Etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Recopilación de diversos estudios vinculados a la evaluación de cauces de agua mediante la aplicación de indicadores de calidad de alcance internacional que han sido publicados en diversas revistas de alcance internacional. b) Identificación de principales ríos de la cuenca Chancay –Lambayeque, muchos de los cuales son influenciados por la acción de diversas quebradas, especialmente en época de precipitación. |

Anexo N° 10.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA (continuación)

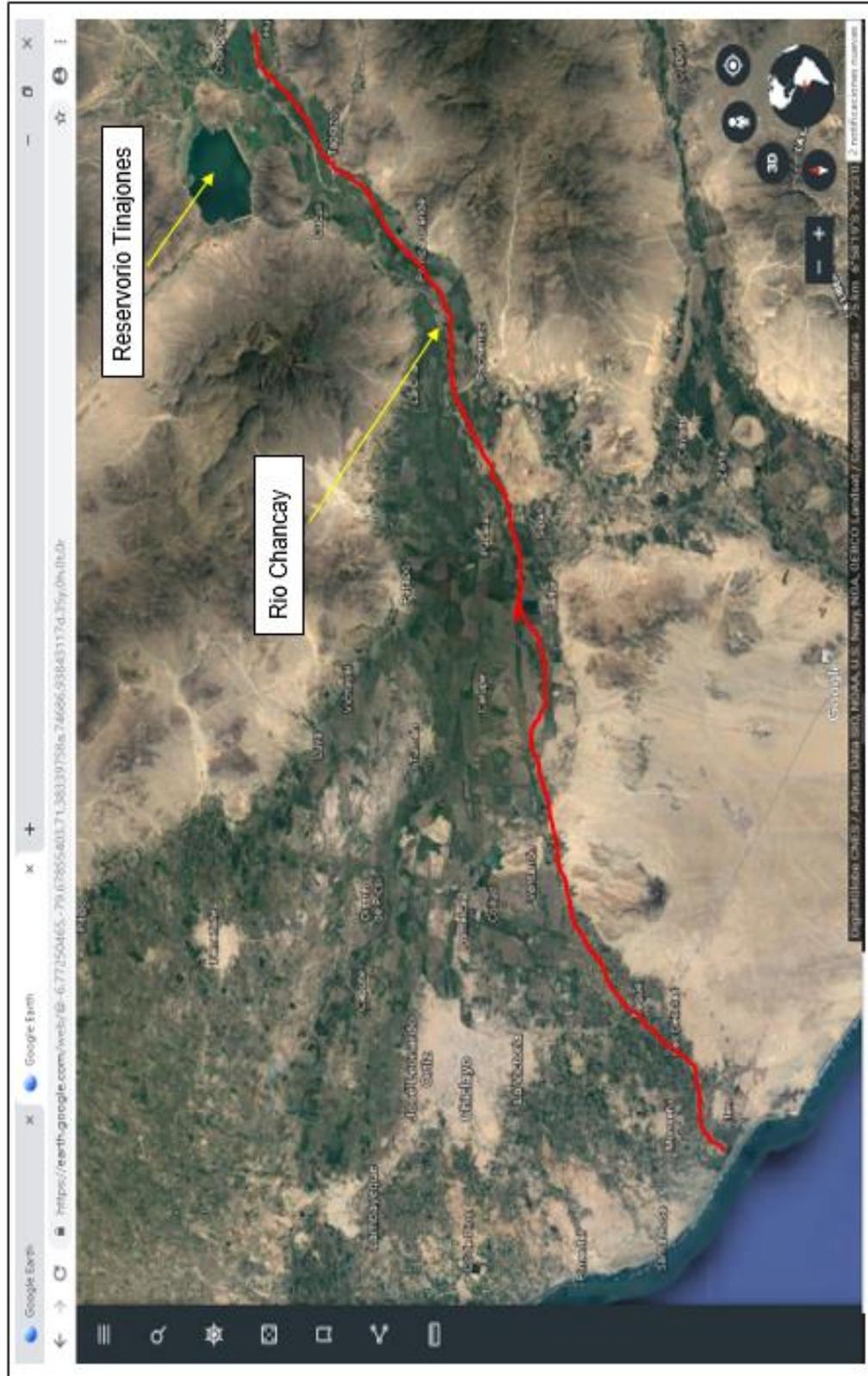
| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Planteamiento del problema a investigar</p> <p>¿La aplicación de índices de calidad del agua es una herramienta fundamental en la evaluación de la calidad del agua en los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en Perú?</p> | <p>(ICA-PE) en los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar los índices de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) en los ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque en los años 2013, 2014 y 2016. - Efectuar un comparativo entre los índices de calidad del agua del Perú (ICA-PE) y los obtenidos cuando se aplica el índice de calidad del agua de la National Foundation Sanitation (NSF-WQI) | | | <ul style="list-style-type: none"> c) Identificación de parámetros a considerar en los diferentes informes de monitoreo en los años 2013, 2014 y 2016 a cargo de la Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla V, los mismos que serán organizados en dos categorías: parámetros físicos y parámetros químicos. d) Comprensión del alcance de las metodologías para determinar los índices de calidad del agua ICA-PE y NSF-WQI. e) Determinación de los índices de calidad del agua bajo las dos metodologías (ICA-PE y NSF-WQI) en los cuatro (04) ríos más importantes de la cuenca Chancay - Lambayeque: río Chancay, río Cedro, río Lambayeque y río Reque en el periodo 2013, 2014 y 2016. f) Análisis del comportamiento de los índices de calidad del agua determinados y los resultados de monitoreos en diversos periodos de espacio y tiempo en los principales ríos de la cuenca Chancay – Lambayeque. <p>Para el análisis de la información se hará uso del programa estadístico libre R Studio que permitirá determinar los promedios de los distintos parámetros que caracterizan los diversos cuerpos de agua en la zona de estudio en base a indicadores de calidad del agua.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Anexo N° 10.2 Ubicación de la Cuenca Chancay – Lambayeque, Perú. : Ubicación de la Cuenca Chancay – Lambayeque, Perú



Fuente: Google Earth, 2019.

Anexo N° 10.3 Principal río en la Cuenca Chancay – Lambayeque, Perú



Fuente: Google Earth, 2019.

Anexo N° 10.4 Metodología ICA-PE

PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

ANA Autoridad Nacional del Agua

METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES EN EL PERU (ICA - PE)

| CALIDAD DE AGUA ICA-PE | |
|------------------------|----------|
| NOMBRE | RANGO |
| Excelente | 85 - 100 |
| Buena | 80 - 84 |
| Favorable | 65 - 79 |
| Regular | 45 - 64 |
| Mala | 1 - 44 |

Calidad de agua

2014 2016

Fuente: ANA 2018.

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN EL PERÚ ICA- PE

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más abundante e indispensable para la vida, su calidad es un factor que incide directamente en la conservación de los ecosistemas y el bienestar humano, la cual se define por su uso final¹. En las últimas décadas, en nuestro país, el aumento de la población y las actividades industriales generadas por los sectores minero- energético, hidrocarburos, agrícola, pesquero, saneamiento, entre otros, son factores claves que contribuyen al deterioro de la calidad del agua a nivel nacional, a los cuales se está sumando ya el cambio climático. Por otro lado los cambios en las características físicas y químicas (parámetros inorgánicos) de la calidad del agua, están influenciados no solo por los factores antropogénicos, antes mencionados sino por la interacción combinada de diversos procesos naturales tales como las condiciones geológicas, erosión natural, entre otros.

En ese contexto, la Autoridad Nacional del Agua– ANA, en el marco de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH) cuya finalidad es asegurar la gestión integrada, participativa y multisectorial del agua, además de desarrollar acciones de vigilancia, control y fiscalización, para asegurar la preservación y conservación de las fuentes naturales de aguas y de los bienes naturales asociados a estas².

Asimismo, la ANA desde el año 2009 viene realizando monitoreos participativos de la calidad del agua, a fin de evaluar el estado de su calidad de las fuentes naturales de agua en función a los Estándares Nacionales de Calidad de Agua (ECA- Agua) según la categorización asignada por la Autoridad y la identificación de fuentes contaminantes en las cuencas hidrográficas a nivel nacional.

Por lo expuesto, es necesario diseñar una herramienta que permita resumir y promediar la calidad del agua y expresar los resultados de manera simplificada facilitando su manejo, interpretación y comparación por parte de los especialistas de calidad de agua, actores vinculados con la gestión y administración de los recursos hídricos y el público en general.

Por ello, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el marco de sus funciones establecidas en la Ley N° 29338, presenta la "Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA-PE)", como una herramienta que tiene como principal finalidad la valoración simplificada de la calidad del agua, y que contribuirá al mejor entendimiento de la gestión de calidad de los recursos hídricos.

¹ Ver Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo «El agua en un mundo en constante cambio». WWAP, 2009.

² Artículo 15 de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos

II. OBJETIVO

Presentar la propuesta de la Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA-PE), como un Indicador que representa el estado de la calidad del agua en los cuerpos naturales de agua, de una forma resumida y comprensible.

III. ALCANCE Y FINALIDAD

El monitoreo participativo, como parte de las acciones de la vigilancia de los recursos hídricos, presenta los resultados de las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos realizados en puntos de monitoreo ubicados en los diferentes cuerpos de agua superficial ubicados en el ámbito nacional, los cuales son comparados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA- Agua) según Clasificación de los mismos; se precisa que estos resultados solo permiten realizar una comparación de dichos valores y no una evaluación real del estado de la calidad del agua.

Por ello, la finalidad de establecer la metodología del cálculo del Índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales, es expresar la condición o estado de la calidad del agua a partir de rangos establecidos, a través de un método simple, conciso y válido, sobre la base de los resultados generados en el análisis de las muestras de agua, en un curso de agua, río o cuenca en el ámbito nacional. Asimismo, brindar la información oportuna a la población, quién es el público de interés y el tener conocimiento del estado de la calidad del agua, les satisface conocer mediante una herramienta que se visualice, interprete y comprenda, y así ellos mismo mediante los Índices de calidad puedan tener mejor referencia de la situación de la zona de interés.

El alcance de aplicación nacional y obligatoria para los órganos de alta dirección, control institucional, resolución de controversias hídricas, asesoramiento, apoyo, línea, desconcentrados o Autoridades Administrativas del Agua (AAA) y unidades orgánicas o Administraciones Locales de Agua (ALA) de la Autoridad Nacional del Agua, en todas las actividades que involucren la vigilancia y supervisión de los recursos hídricos, y como referencia otras actividades a fines, en cumplimiento de la Ley N° 29338 y su Reglamento.

Como referencia en el ámbito nacional para las Instituciones públicas, privadas y la sociedad civil vinculada a la calidad de los recursos hídricos.

IV. BASE LEGAL

- 4.1 Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- 4.2 Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- 4.3 Decreto Legislativo N° 997, que establece la naturaleza jurídica, ámbito de competencia, las funciones y la organización interna del Ministerio de Agricultura, modificado por Ley N° 30048.
- 4.4 Decreto Supremo N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2017-AG.

- 4.5 Decreto Supremo N° 006-2010-AG, Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua.
- 4.6 Decreto Supremo N° 006-2015-MINAGRI que aprueba la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos.
- 4.7 Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias.
- 4.8 Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y Marino Costeros.
- 4.9 Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua Superficial.
- 4.10 Resolución Jefatural N° 030-2016-ANA, Clasificación de Cuerpos de Agua Marino Costeros.
- 4.11 Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA, aprueban la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos.

V. LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ

5.1 ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA

El Perú, con respecto a uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, estuvo enmarcado durante siete décadas en un Código de Agua, cuyos orígenes se remontan al siglo XIX, fue un Instrumento que permitió la consolidación del control de la agricultura por los grandes hacendados. Esta situación, cambiaría drásticamente en julio del año 1969, con la aplicación de la Ley General de Aguas, a través del D.L N° 17752, esta ley experimento algunas modificaciones respecto a la regulación en el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos hasta la creación del MINAM y la posterior aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

La precitada Ley y su Reglamento³ , decreta siete (07) clasificaciones de agua ya sea terrestre o marítima relacionado con respecto al uso, las cuales son:

- I. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección;
- II. Aguas de abastecimiento domestico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, Filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud;
- III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales;
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares);
- V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos;
- VI. Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

Asimismo, define veintitrés parámetros (23), agrupados en bacteriológicos, sustancias potenciales peligrosas y parámetros potenciales perjudiciales. Dicha Ley de Aguas tuvo una vigencia de 39 años.

Con la creación del Ministerio del Ambiente en el año 2008, se dio luego la aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua⁴, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de

³ D.S N° 261.60-AP, Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas, Decreto Ley 17752, aprobado por el Ministerio de Agricultura

⁴ D.S N° 002-2008-MINAM aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

elementos, sustancias, o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componentes básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Estos estándares son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural. Dichos estándares estaban agrupados en 4 categorías: Categoría 1: Poblacional y recreacional; Categoría 2: Actividades marino costeros; Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales y Categoría 4: Conservación del Medio ambiente acuático. Asimismo, estas categorías estaban conformados por 15 sub categorías y contaban con 104 parámetros distribuidos en las quince (15) subcategorías.

El MINAM, en diciembre de 2015, establece la modificación de los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado con el D.S N° 002-2008-MINAM⁶. La modificación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, se encuentra clasificado en 4 Categorías y 16 sub categorías.

En el año 2017, el MINAM a través del D.S N° 004-2017-MINAM, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, el objeto de este decreto es compilar las disposiciones aprobadas mediante el D.S N° 002-2008-MINAM, D.S N° 023-2009-MINAM y el D.S N° 015-2015-MINAM, que aprueban los ECA-Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente decreto supremo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA- Agua y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

El presente ECA- Agua, cuenta con 4 cuatro categorías y 17 subcategorías:

- Categoría 1: Poblacional y Recreacional
 - a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable
 - A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
 - A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
 - A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
 - b) Subcategorías B: Agua superficiales destinadas para recreación
 - B1: Contacto primario
 - B2: Contacto secundario
- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales
 - a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicadas en aguas marinos costeras
 - b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino-costeras
 - c) Subcategoría C3: Actividades marino-portuarias, Industriales o de saneamiento en aguas marino-costeras
 - d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas

⁶ D.S N° 015-2015-MINAM, Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación

- o Categoría 3: Riego de Vegetales y bebidas de animales
 - a) Subcategoría D1: Riego de vegetales
 - Agua para riego no restringido
 - Agua para riego restringido
 - b) Subcategoría D2: Bebida de animales
- o Categoría 4: Conservación del medio ambiente acuático
 - a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos
 - b) Subcategoría E2: Ríos
 - Ríos de la costa y sierra
 - Ríos de la selva
 - c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeras y marinas
 - Estuarios
 - Marinos

Los ECA- Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo condiciones naturales o niveles de fondo, y el diseño de normas legales, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Es un instrumento útil para evaluar el estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua en las cuencas hidrográficas del país.

5.2 CLASIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL

La categoría de un cuerpo de agua, es la representación de la calidad ideal a donde queremos llegar como Estado peruano, que tiene como función proteger, conservar y recuperar los recursos hídricos.

La clasificación de los cuerpos de agua aplicando el ECA- Agua, es una herramienta que se emplea como paso previo para evaluar el estado de la calidad de los recursos hídricos, en condición de cuerpos receptores.

De aquí radica la importancia de "clasificar" los cuerpos de agua en función a normas estandarizadas para su evaluación ambiental, lo que quiere decir que cada espacio marino, estuario, río, quebrada, lago, laguna, se le asigna una categoría establecida, considerando la priorización de los recursos naturales frágiles, sensibles y vulnerables, identificados en el proceso de Integración; conservando así la diversidad biológica, priorizando la salud humana y fomentando la seguridad alimentaria; constituyéndose un instrumento de gestión eficaz y base fundamental para el ordenamiento y planificación territorial.

El artículo 73º de la Ley N° 29338, establece que: los cuerpos de agua pueden ser clasificados por la Autoridad Nacional del Agua, teniendo en cuenta la cantidad y la calidad del agua, consideraciones hidrográficas, las necesidades de las poblaciones locales y otras razones técnicas. Asimismo, el numeral 4.1 del artículo 4º de la el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM señala que: La Autoridad Nacional del Agua, es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

En este sentido, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la ANA, en el marco de sus competencias Aprobó la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, que la Clasificación de cuerpos de agua superficiales continentales, referidos a los principales cuerpos naturales de agua (ríos,

quebradas, lagos, lagunas e inclusive embalses o reservorios) en el ámbito de las 159 unidades hidrográficas del país; considerando las actividades de uso poblacional y las diversas actividades socioeconómicas.

Correspondiendo, 294 cursos de agua clasificados de los cuales 213 están en la "Categoría 3"; 26 en la "Categoría 1- A2" y 55 en la "Categoría 4"; 33 lagos y lagunas de las cuales 27 están en la "Categoría 4", 5 en la "Categoría 3" y una en la "Categoría 1-A1"; y 31 cuerpos marino costeros que se encuentran clasificados con "Categoría 4".

Posteriormente mediante Resolución Jefatural N°030-2016-ANA, se aprobó la "Clasificación del Cuerpo de Agua Marino-Costero" del Perú; la cual delimita el ámbito del Mar de Grau (dominio marítimo, aguas interiores y zona de estuarios) clasificando 133 unidades marinas frente a los 10 departamentos costeros, en 45 tramos a lo largo del litoral y proyectados en 3 franjas; y de acuerdo a los Estándares ECA- Agua se consideraron tres (3) categorías y siete (7) subcategorías.

- Categorías 1: Poblacional y Recreacional con dos subcategorías, 23 unidades clasificadas (18% de las unidades marinas)
- Categoría 2: Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales con tres subcategorías, se tiene 59 unidades clasificadas (44%); y
- Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático con dos subcategorías, 51 unidades clasificadas (38%).



Figura N°01: "Unidades Hidrográficas en el Perú"

5.3 ESTADO SITUACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

En el Perú se estima que discurre aproximadamente 2 millones de metros cúbicos de agua dulce, representando el 5% de la disponibilidad a nivel mundial. La presencia de la Cordillera de Los Andes permite que nuestro territorio, desde el punto de vista hídrico sea dividido en tres (3) grandes regiones hidrográficas: La vertiente del Pacífico que cuenta con 62 unidades hidrográficas (U.H.), la vertiente del Amazonas que cuenta con 84 U.H., y la del Lago Titicaca que tiene 13 U.H. La vertiente del Pacífico tiene una disponibilidad hídrica de 2.18% y alberga al 65.98% de la población mientras que en la vertiente del Amazonas se tiene una disponibilidad hídrica de 97.27% con una población del 30.76%; asimismo, en la vertiente del Titicaca se tiene una disponibilidad hídrica de 0.56% y una población de 3.26%.

El crecimiento demográfico y las actividades económicas asentadas en las cuencas hidrográficas vienen afectando los recursos hídricos, por el uso indiscriminado del agua, la producción y manejo inadecuado de residuos aguas residuales y residuos sólidos y aquellos procedentes de pasivos ambientales, minería informal, entre otros; que, al ser dispuestos en los cuerpos de agua, alteran su calidad afectando los diferentes usos y afectando los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el Perú alberga una vasta riqueza mineralógica, que ha permitido que ocupe lugares importantes en Latinoamérica y el mundo por su producción y potencial minero⁶. Dichas características contribuyen a que algunos cuerpos de agua contengan elevadas concentraciones de minerales debido a la geología de la zona que los albergan.

La ANA, en cumplimiento a las funciones de protección de la calidad del agua⁷, realiza desde el año 2009, acciones de monitoreo para determinar el estado de la calidad de los recursos hídricos. A la fecha 2016 se han intervenido en 135 unidades hidrográficas de las 159 existentes a nivel nacional. Los monitoreos se realizan sobre la base el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, el cual estandariza los criterios y procedimientos técnicos para desarrollar el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos continentales y marino-costeros.

Los resultados de los parámetros monitoreados tomando como referencia los ECA- Agua y la Clasificación de los Cuerpos de Agua Superficiales y Marino Costeros correspondiente a los años 2012 al 2016 determinaron que los parámetros Coliformes Termotolerantes, nitrógeno amoniacal, *Escherichia coli*, fosfatos, aceites y grasas, hierro, manganeso, plomo, aluminio y arsénico, superan frecuentemente los ECA- Agua.

Cabe señalar que los resultados de la calidad del agua son variables en el espacio y tiempo, debido a que representa una combinación de influencias naturales e impactos antropogénicos, siendo necesario precisar el nivel de la calidad de agua obtenida, que permita una mejor interpretación, comprensión y comunicación del estado de la calidad de los recursos hídricos del Perú.

⁶ OSINERGMIN. Panorama de la Minería en el Perú. Setiembre 2007. Disponible en: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/canito_documento/institucional/Estudios_Economicos/Institucion/Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf

⁷ inciso 123.2 del Reglamento de Ley 29338 (D.L.): "La Autoridad Administrativa del Agua ejerce acciones de vigilancia y monitoreo del estado de la calidad de los cuerpos de agua y control de los vertimientos, ...".

VI. INDICE DE CALIDAD DE AGUA

En el Perú, la evaluación de la calidad del agua se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA-Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; lo que determina su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua a la hora de precisar o establecer el nivel de calidad de agua del recurso hídrico, es decir si esta tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o muy mala.

Los índices de calidad de agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua.

De acuerdo con la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en Inglés), los indicadores ambientales tienen dos funciones principales:

1. Reducen el número de mediciones y los parámetros que normalmente se requieren para hacer una representación exacta de una situación y
2. Simplifican el proceso de comunicación de los resultados de la medición.

En ese sentido, los ICA's constituye un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo siendo la valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente. Por lo expuesto, este índice ha tenido un uso generalizado desde su creación y es empleado por varios países. Diversos índices han sido desarrollados y empleados en diferentes investigaciones para clasificar la aptitud de las aguas para disímiles usos, cada uno de ellos tiene sus características propias y generalmente se alcanzan buenos resultados en las zonas en que se obtuvieron (Amado et al., 2006; Sadiq y Tesfamariam, 2007; Sánchez et al., 2007; Królak et al., 2009; Lemontov et al., 2009; Beamonte et al., 2010; Gazzaz et al., 2012; Srebotnjak et al., 2012; Ma et al., 2013).

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en Inglés), el cual propone una evaluación más amplia de la calidad del agua en un período de tiempo determinado teniendo en cuenta el número de parámetros que superan un estándar de referencia, el número de datos que no cumplen con el mencionado estándar y la magnitud de superación (CCME, 2001). Cabe señalar que esta metodología se caracteriza por su flexibilidad respecto al tipo y número de parámetros empleados.

Por su elaboración metodológica, la propuesta del ICA seleccionado de la evaluación de diferentes indicadores aplicado en otros países, es adoptado porque nos permite adaptar todo lo que requiere para su determinación y cálculo, como la información base necesaria (resultados de los monitoreos), la clasificación de los cuerpos de agua (la categoría a ser evaluada según normativa) y los ECA-Agua, que como Autoridad competente en materia de agua en nuestro país se tiene: la base de datos, herramientas y normativas, sin la necesidad de requerir alguna referencia de otros país.

Además de requerir menos información en relación al gran número de parámetros que se obtiene en un monitoreo para la evaluación de la calidad del agua, por ende, este ICA (CCME) tiene la capacidad de resumir y simplificar datos y transformar la información haciéndola fácilmente entendible por los responsables de la gestión de la calidad de los recursos hídricos, por el público, los medios y los usuarios.

Este ICA será denominado ICA-PE, en el desarrollo del procedimiento y aplicación.

VII. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA-PE)

7.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA

7.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua puede verse afectada por sustancias que al alcanzar ciertas concentraciones podrían ser dañinas a los organismos (humanos, plantas y animales) o exceder un estándar de calidad ambiental (WHO/UNEP 1997, Glossary of Environment Statistics 1997). En el Cuadro N° 01, se describe la importancia de cada agente contaminante.

Cuadro N° 01: Descripción de los Agentes Contaminantes

| Agentes/ Fuentes Contaminantes | Descripción |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sólidos en suspensión | Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. |
| Materia orgánica biodegradable | Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable. Esta última se mide en la mayoría de las ocasiones en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas. |
| Patógenos (bacterias, virus, protozoos, gusanos) | Transmiten enfermedades contagiosas tales como el cólera, tifo, disentería, gastroenteritis, hepatitis, poliomielitis, esquistomiasis. Estos agentes pueden causar altas tasas de morbilidad y mortalidad si no se toman las medidas adecuadas de higiene y desinfección, o de búsqueda de otras fuentes de agua de mejor calidad. |
| Nutrientes | Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de algas. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de algas produciendo las floraciones algales. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, pueden provocar la contaminación de agua subterránea. |

| Agentes/ Fuentes Contaminantes | Descripción |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compuestos xenobióticos | Las principales clases de xenobióticos de importancia médica son los fármacos, carcinógenos químicos y varios compuestos que han llegado a nuestro ambiente de una u otra manera, como bifenilos policlorinados (PCB) y ciertos insecticidas. Existen más de 200,000 compuestos químicos ambientales fabricados por el ser humano. Pero debido a su estructura inusual, algunos xenobióticos persisten mucho tiempo en la biosfera sin alterarse y por eso se dice que son recalcitrantes a la biodegradación, llegando a ser contaminantes. |
| Materia orgánica refractaria | Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensioactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas. |
| Metales pesados | Los metales pesados son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual. |
| Sólidos Inorgánicos disueltos | Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio, y los sulfatos se añaden de suministro como consecuencia del uso del agua y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual. |
| Sólidos sedimentables | Entre los contaminantes sólidos se encuentran arena, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos, madera y metales. Las partículas del suelo o sólidos de basura se acumulan en el cauce de los ríos perjudicando a la biota existente. Si los sedimentos acarrean sustancias tóxicas, estas pueden ser transmitidas a otros organismos a través de la cadena alimentaria ocasionando la muerte de los organismos acuáticos. Otras partículas flotan cerca de la superficie enturbando el agua y obstaculizando la penetración de la luz y por ende el proceso de fotosíntesis. |
| Energía radiactiva | Producen muerte de especies de flora y fauna, problemas en la salud humana, alteraciones genéticas y cáncer. |
| Energía térmica | Los procesos industriales producen en numerosos casos aguas a elevadas temperaturas. Cuando éstas llegan a canales, ríos, lagos o mares causan varios efectos químicos, físicos y biológicos. Uno de los más graves es la descomposición del agua, agotando el oxígeno que éste contiene. El aumento notable de la temperatura del agua afecta, además, los ciclos reproductivos, la digestión y la respiración de los organismos que habitan las aguas y cuando la temperatura es demasiado elevada, se presenta muerte de peces. |

Fuente: Elaboración propia

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

Oxígeno Disuelto: Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua superficial, su presencia en el agua se debe al aporte del oxígeno de la atmósfera y de la actividad biológica (fotosíntesis) en la masa de agua.

El oxígeno disuelto, es un parámetro ambiental vital, porque su evaluación permite informar y/o reflejar la capacidad recuperadora de un curso de agua y la subsistencia de la vida acuática.

Clorofila A: La Clorofila, es un parámetro ambiental para determinar la biomasa de los fitoplanctones. Todas las plantas verdes contienen clorofila A, que representa aproximadamente del 1 al 2% de todo el peso seco de las algas del plancton.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La DQO se usa como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica. Es una variable importante que puede medirse rápidamente para determinar la contaminación de los cuerpos naturales de agua superficiales por las aguas servidas, desechos industriales de tipo orgánico y efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticos e industrial con alto contenido de materia orgánica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): La DBO₅ es un parámetro relacionado como aporte de la materia orgánica, mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su determinación es en base a la oxidación natural de degradación.

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

Coliformes Termotolerantes (Fecales): La presencia de este parámetro en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen pueden ser por los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores, es por la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos.

Huevos y Larvas de Helminetos: Los helmintos hacen referencia a todos los tipos de gusanos, tanto los parasitarios como los no parasitarios. Los helmintos parásitos infectan a numerosas personas y animales. Este parásito está asociado a las aguas residuales domésticas sin tratamiento, su vía de infección es por el consumo de agua contaminada.

Metales Tóxicos

Arsénico: Metal pesado venenoso y muy tóxico, en aguas naturales se presenta como arseniato (AsO_4^{3-}) y arsenito (AsO_3^{3-}); su presencia puede tener origen en descargas industriales o uso de insecticidas.

De acuerdo a los estudios realizados por la ANA se ha encontrado en algunos puntos de muestreo de las cuencas hidrográficas evaluadas la presencia del arsénico debido a su aportación litológica de la zona. La actividad minera aporta de manera puntual la presencia de este elemento en las aguas.

Mercurio: Su presencia en las aguas se debe principalmente a las actividades antrópicas (minería, etc.), salvo en algunos lugares que por su propia naturaleza se encuentran depósitos de este mineral. Generalmente es un elemento que no abunda en la naturaleza (corteza terrestre).

Piombo: El Plomo es un elemento relativamente de menor importancia en la corteza terrestre, pero está ampliamente distribuida en bajas concentraciones en rocas sedimentarias y suelos no contaminados.

El plomo es tóxico para los organismos acuáticos pero el grado de toxicidad varía mucho, según sea las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio. En los monitoreos en ríos de la selva realizado por la ANA, se han evidenciado la presencia de Plomo, cuyas concentraciones exceden los ECA-Agua.

Cadmio: El Cadmio se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro y como impureza de minerales de zinc y plomo. Su presencia en el agua es debido a las actividades mineras y de fundición.

Cromo: La concentración de cromo en los cuerpos naturales de agua por lo general es muy pequeña. La actividad minera y los procesos industriales pueden producir elevadas concentraciones de este elemento. Es un metal tóxico para la salud humana.

Cobre: El un elemento traza altamente distribuido en las cuencas hidrográficas, pero la mayoría de los minerales de cobre son relativamente insolubles y a que el cobre es absorbido en fase sólida, solo existe en bajas concentraciones en las aguas naturales. Debido a la presencia de sulfuros, el cobre debería ser aún menos soluble en ambientes anóxicos. La presencia de mayor concentración en aguas naturales superficiales puede atribuirse a desechos industriales y/o actividades de minería.

Zinc: Es un elemento que abunda en las rocas y minerales, pero su presencia en las aguas naturales es en baja concentración debido a la falta de solubilidad del metal. Está presente en cantidades trazas en casi todas las aguas alcalinas superficiales, pero se eleva su concentración en aguas ácidas.

En concentraciones moderadas es considerado como un parámetro esencial para la nutrición del hombre. Es considerado tóxico para los organismos acuáticos debido a su variación en concentración y a los factores según sean las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio.

Hierro: Es un elemento que abunda en la corteza terrestre, pero, por lo general, se da en pequeña concentración en los sistemas de aguas naturales. La forma y solubilidad del hierro en las aguas naturales depende en gran medida del pH y potencial redox del agua. El hierro se presenta en estado de oxidación +2 y +3. Su selección es para definir que su presencia en las aguas naturales se debe al aporte de su propia naturaleza del lugar.

Manganeso: El manganeso es metal relativamente común en las rocas y suelos, donde se presenta como óxidos e hidróxidos. Su evaluación es de gran importancia para controlar las concentraciones de diversos metales trazas existentes en los cuerpos de agua natural. Su elección de este parámetro es para comprobar que su presencia es netamente natural.

Aluminio: Es uno de los elementos que más abunda en la corteza terrestre, pero su presencia en las aguas naturales es ínfima. Dado que el aluminio existe en muchas rocas, minerales y arcillas, está presente en todas las aguas superficiales, pero su concentración en las aguas con un pH cercano a natural raramente supera unas pocas décimas a 1 mg/l.

Boro: El boro, es un elemento que se encuentra en las aguas naturales debido a dos factores, al aporte de la geología natural y/o a los vertidos de efluentes de aguas residuales tratadas y no tratadas. Su presencia de este elemento en el agua tiene un efecto nocivo en ciertos productos agrícolas, incluidos los cítricos. Asimismo, para aguas destinada para el consumo poblacional que contiene boro, puede originar un problema en la salud de las personas.

pH: El pH en las cuencas hidrográficas donde escurren aguas naturales sin actividad antrópica, en cierta forma está determinado por la geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. El pH en la mayoría de las aguas varía entre 6,5 a 8,5 (turbulencia y aireación).

La evolución química de muchos metales, su solubilidad del agua y biodisponibilidad están determinadas por el pH. Por tanto, es un parámetro de mucha importancia en la evaluación de la calidad del agua.

Sólidos suspendidos totales: Su presencia en los cuerpos de agua natural se relaciona con los factores estacionales y regímenes de caudal y es afectado por la precipitación. Su concentración varía de lugar a otro lugar, según sea la hidrodinámica del cauce, el suelo, la cubierta vegetal, el lecho, las rocas y actividades antrópicas como la agricultura, minería, entre otros. Su evaluación en la calidad del agua es de mucha utilidad, se debe a que afecta la claridad del agua y la penetración de la luz, temperatura y el proceso de la fotosíntesis.

Fósforo: El fósforo ingresa a las aguas superficiales por los vertimientos de saneamiento, es el segundo principal nutriente y responsable de eutrofización de los cuerpos de agua superficial.

Todos estos tipos de fósforo ingresan a las aguas naturales superficiales a través de vertidos residuales domésticos y por escorrentía de la actividad agrícola y debido a su capacidad como nutriente, es la responsable del crecimiento de las algas en los cuerpos naturales de agua.

Amoníaco: Se forma por desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. El amoníaco es fácilmente captado por las plantas y puede contribuir a la productividad biológica, en presencia de oxígeno se oxida a nitritos y nitratos (nitrificación). En condiciones anaeróbicas, el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco ionizado (NH_4^{++}) y no ionizado (NH_3). El amoníaco no ionizado es tóxico para los peces a concentraciones relativamente bajas. Sin embargo, está en equilibrio con el ion NH_4^{++} menos tóxico y para el pH y temperatura de la mayor parte de las aguas naturales, su concentración relativa es bastante baja.

Nitrógeno Total: Su estudio es de gran importancia debido a los procesos vitales como nutrientes para las plantas, su aporte a las aguas naturales superficiales se debe a las aguas residuales domésticas sin tratamiento. Además los vertidos ricos en nitrógeno pueden causar problemas de eutrofización y de nitrificación, con la consecuente concentración de nitratos y riesgos de contaminación para los usuarios que consumen estas aguas. Asimismo, es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las algas y, por otra, causa una demanda de oxígeno al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto.

Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH): Es un compuesto muy insoluble en el agua y resulta muy tóxico para los organismos acuáticos. La presencia de este compuesto en el ambiente y en especial en el recurso hídrico, es debido a los accidentes, desde Industrias o como productos secundarios a raíz de su uso comercial o privado.

Cuando hay derrames de TPH directamente al agua, algunas fracciones de los TPH flotarán en el agua, formando una capa delgada en la superficie. Otras fracciones más pesadas se acumularán en el sedimento del fondo, lo que puede afectar a peces y a otros organismos que se alimentan en el fondo.

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH): Los PAH, constituyen un grupo variado de compuestos orgánicos que contienen dos o más anillos aromáticos condensados. La mayoría de los PAH llegan al medio ambiente por medio de la atmósfera procedentes de procesos de combustión y pirólisis. Dada su solubilidad baja y afinidad alta por las partículas, no se suelen encontrar en el agua en concentraciones significantes. A este grupo pertenece el benzopireno, antraceno y fluorenteno.

7.1.2 PARÁMETROS A EVALUAR EN EL ICA-PE

De acuerdo al análisis de la información procedente de los monitoreos de la calidad de los cuerpos de agua superficial realizados por la ANA, se han identificado los parámetros recurrentes de evaluación en concordancia con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, así como la posible alteración al recurso hídrico y eventual riesgo a la salud y al ambiente.

Se han identificado los parámetros de evaluación por cada ECA- Agua según la "Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y Marino Costeros", seleccionados para su evaluación en la aplicación de la metodología ICA-PE.

Cuadro N° 02: Categoría 1-A2

| Categoría 1-A2 | | |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional | | |
| N° | Parámetro | Unidades |
| 01 | Oxígeno disuelto (valor mínimo) | mg/L |
| 02 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L |
| 03 | Arsénico | mg/L |
| 04 | Cadmio | mg/L |
| 05 | Cobre | mg/L |
| 06 | Cromo Total | mg/L |
| 07 | Hierro | mg/L |
| 08 | Manganeso | mg/L |
| 09 | Plomo | mg/L |
| 10 | Mercurio | mg/L |
| 11 | Zinc | mg/L |
| 12 | Potencial de Hidrógeno (pH) | Unid. de pH |
| 13 | Coliformes Termotolerantes (44,5°C) | NMP/100 ml |

Cuadro N° 03: Categoría 3-D1

| Categoría 3 | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| D1: Riego de cultivo de tallo alto y bajo | | |
| N° | Parámetro | Unidades |
| 01 | Cloruro | mg/L |
| 02 | Conductividad | mg/L |
| 03 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L |
| 04 | Oxígeno Disuelto (valor mínimo) | mg/L |
| 05 | Potencial de Hidrógeno (pH) | Unid. de pH |
| 06 | Aluminio | mg/L |
| 07 | Arsénico | mg/L |
| 08 | Boro | mg/L |
| 09 | Cadmio | mg/L |
| 10 | Cobre | mg/L |
| 11 | Hierro | mg/L |
| 12 | Manganeso | mg/L |
| 13 | Mercurio | mg/L |
| 14 | Plomo | mg/L |
| 15 | Zinc | mg/L |
| 16 | Coliformes Termotolerantes | NMP/100 ml |
| 17 | Huevos y larvas helmintos | Huevos/L |

Cuadro N° 04: Categoría 4- E1

| Categoría 4 | | |
|---------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| E1: Lagunas y Lagos | | |
| N° | Parámetro | Unidades |
| 01 | Aceites y Grasas (MEH) | mg/L |
| 02 | Clorofila A | mg/L |
| 03 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L |
| 04 | Fósforo Total | mg/L |
| 05 | Amoníaco- N | mg/L |
| 06 | Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo) | mg/L |
| 07 | Potencial de Hidrógeno (pH) | Unid. de pH |
| 08 | Arsénico | mg/L |
| 09 | Cadmio | mg/L |
| 10 | Mercurio | mg/L |
| 11 | Plomo | mg/L |
| 12 | Zinc | mg/L |
| 13 | Hidrocarburos de petróleo HTTP | mg/L |
| 14 | Coliformes Termotolerantes (44,5°C) | NMP/100ml |
| 15 | Sólidos suspendidos totales | mg/L |
| 16 | Nitrógeno Total | mg/L |

Cuadro N°05: Categoría 4- E2

| Categoría 4 | | |
|--------------------------|---------------------------------------------------|-----------|
| E2: Ríos- Costa y Sierra | | |
| N° | Parámetro | Unidades |
| 01 | Aceites y grasas (MEH) | mg/L |
| 02 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L |
| 03 | Fósforo Total | mg/L |
| 04 | Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo) | mg/L |
| 05 | Potencial de Hidrógeno (pH) | Unid. pH |
| 06 | Arsénico | mg/L |
| 07 | Cadmio | mg/L |
| 08 | Mercurio | mg/L |
| 09 | Plomo | mg/L |
| 10 | Zinc | mg/L |
| 11 | Hidrocarburos de petróleo HTTP | mg/L |
| 12 | Coliformes Termotolerantes (44,5°C) | NMP/100ml |
| 13 | Sólidos suspendidos totales | mg/L |
| 14 | Nitrógeno Total | mg/L |

Cuadro N° 08: Categoría 4- E2

| Categoría 4 | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| E2: Ríos- Selva | | |
| N° | Parámetro | Unidades |
| 01 | Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo) | mg/L |
| 02 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L |
| 03 | Fósforo Total | mg/L |
| 04 | Amoníaco- N | mg/L |
| 05 | Nitrógeno Total | mg/L |
| 06 | Arsénico | mg/L |
| 07 | Cadmio | mg/L |
| 08 | Mercurio | mg/L |
| 09 | Plomo | mg/L |
| 10 | Zinc | mg/L |
| 11 | Hidrocarburos de petróleo HTTP | mg/L |
| 12 | Aceites y Grasas | mg/L |
| 13 | Potencial de Hidrógeno (pH) | Unid. de pH |
| 14 | Coliformes Termotolerantes (44,5°C) | NMP/100ml |
| 15 | Sólidos suspendidos totales | mg/L |
| 16 | Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (benzopireno, antraceno, fluorenteno) | mg/L |

7.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINAR EL ICA-PE

7.2.1 DEFINICION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Una vez identificada la zona de estudio ya sea una cuenca, río o parte de un curso de agua, es necesario realizar una breve descripción de la misma, ubicación política y geográfica, destacando las características hidrográficas (vertiente hidrográfica, río principal y afluentes, nacimiento, entre otras); así como señalar las principales actividades productivas y/o poblaciones presentes.

7.2.2 INFORMACIÓN BASE NECESARIA

Para la determinación del ICA de un punto de monitoreo, en un curso de agua, en un río o cuenca; es necesario contar con la data suficiente, información que proviene de las actividades que realiza la ANA, en el marco del control y la vigilancia de los recursos hídricos.

En este caso para la ANA, el monitoreo de la calidad del agua de las cuencas constituye una de las actividades primordiales dentro de la gestión de los recursos hídricos. Cuyos resultados son presentados mediante Informes técnicos, que contienen la evaluación del estado de la calidad del agua de la cuenca (o parte de un curso de agua) respecto a los valores establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental del Agua (ECA- Agua).

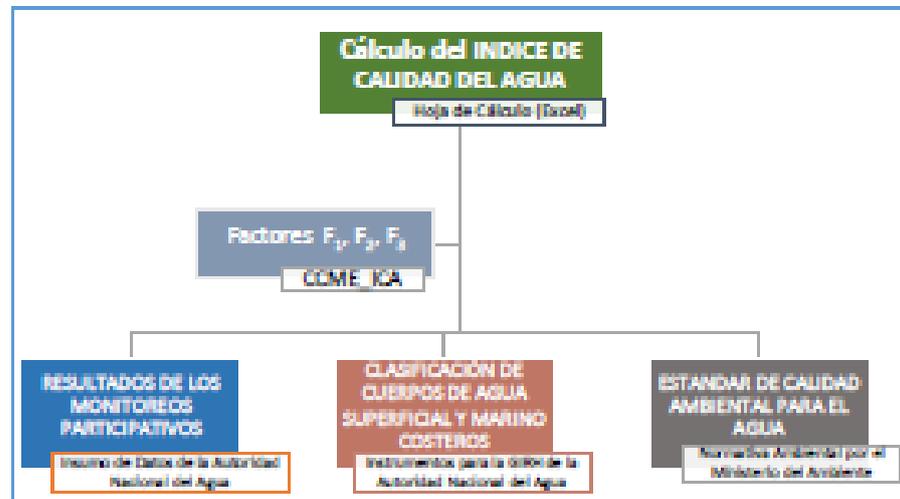


Figura N° 02: Información Base Necesaria para la Determinación del ICA

Por lo que es necesario, contar con una red de puntos de monitoreos ubicados a lo largo del cuerpo de agua, el cual presenta una distribución espacial de puntos que representa a la zona en estudio. La ANA propone, evalúa y aprueba la red de puntos de monitoreo de una cuenca, y así poder evaluar sus características y comportamiento de la calidad del agua de la cuenca (río o parte de un cuerpo de agua).

Se recomienda una data mínima necesaria de al menos cuatro (04) parámetros (variables) a evaluar, analizadas y muestreadas mínimo en cuatro (04) monitoreos (tiempos). Sin embargo, no se especifica un número máximo de parámetros, aplicándose desde un punto de monitoreo a más puntos que corresponden a una región de un cuerpo de agua hasta una cuenca completa.

7.2.3 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA-PE)

Para la determinación del Índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense⁸, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado de la calidad del agua de un punto de monitoreo, un curso de agua, un río o cuenca.

La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

F1- Alcance: representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA- Agua) vigente⁹, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

⁸ Desarrollada por el Consejo de Ministros del Ambiente de Canadá y modificada por los Ministerios del Ambiente de Alberta y Columbia Británica (provincias de Canadá)

⁹ Según D.S. N° 004-2017-MINAM

F2- Frecuencia: representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F_2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA Agua de los Datos Evaluados}}{\text{Número Total de Datos Evaluados}}$$

Donde:

Datos = Resultados de los monitoreos

F3- Amplitud: Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

En donde, la Suma Normalizada de Excedentes (nse):

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

EXCEDENTE, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA- Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

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

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA- Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

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

Una vez obtenido los valores de los factores (F_1 , F_2 , y F_3) se procede a realizar el cálculo del Índice de Calidad de Agua: que es la diferencia de un rango de 0 a 100, siendo 100 el valor que representa un ICA de excelente calidad y 0 el valor que representa un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F_1 , F_2 y F_3 , se expresa en la siguiente ecuación:

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

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se empleó una aplicación en Microsoft Excel (Hoja de Cálculo), un macro donde se introdujo los Datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F_1 , F_2 y F_3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, $CCME_{WQI}$, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre 1- 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que se expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Mala, Regular, Favorable, Buena y Excelente (Ver Cuadro N°07).

Cuadro N° 07: Interpretación de la Calificación ICA

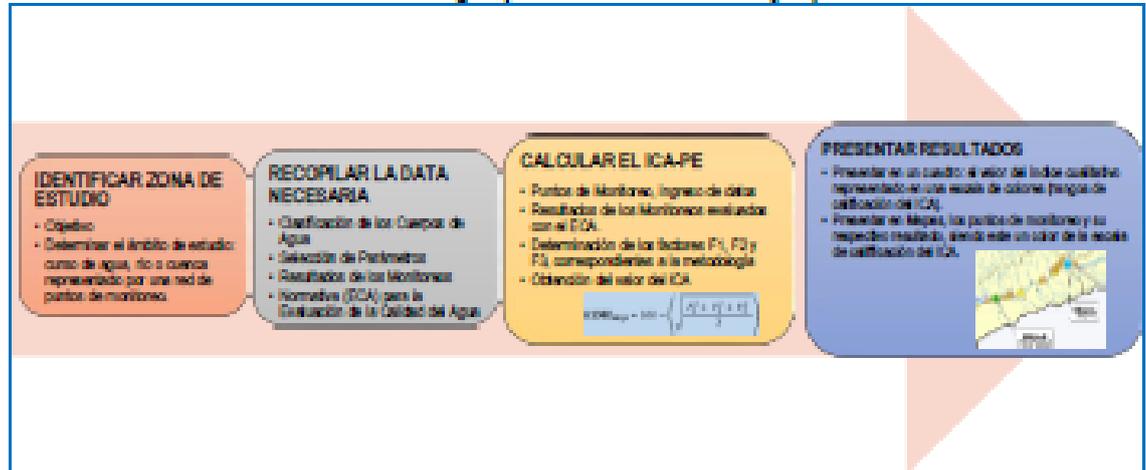
| CCME_WQI | Calificación | Interpretación |
|----------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 95- 100 | Excelente | La calidad del agua está protegida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

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

Este indicador de calidad del agua, aplicado durante un periodo de tiempo evalúa la incidencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que son considerados, y que mediante una herramienta matemática nos permite transformar grandes cantidades de datos (concentraciones de los parámetros en estudio) a una escala de medición única, expresado en porcentaje. Siendo un valor ICA cercano a 0%, el cual representa la alta afectación que existe en la calidad del agua de ese punto de monitoreo, en tanto que presente excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

La metodología adoptada, es aplicada en los siguientes casos, en los cuales es importante contar con la data de los monitoreos para calcular y presentar los ICA's de una zona o cuerpo de agua, con los datos de: (1) Todos los monitoreos, (2) Monitoreos en época Seca, (3) Monitoreos en época Húmeda, (4) Para agua Superficial y (5) Para agua Subterránea.

Cuadro N° 08: Pasos a seguir para determinar el valor y representar un ICA



❖ DETERMINACIÓN DEL ICA-PE PARA UN (01) MONITOREO

En el marco del control y vigilancia de los recursos hídricos en la ANA, la actividad de los monitoreos participativos se convierte en una herramienta de gran importancia por la información que como resultado se obtiene, el estado de las características físicas, químicas y biológicas que se presentan en una época del año. Los cuales se requieren para dar una respuesta rápida del estado de la calidad del agua (puntual), y el uso de los indicadores son los que simplifican el proceso de la comunicación de los resultados de dichos monitoreos.

Es así, que la aplicación del ICA-PE para un solo monitoreo será factible, mientras se presente como un indicador puntual, tanto en espacio y tiempo, es decir, la red de puntos monitoreo y la fecha de realización del monitoreo. Para la presentación de los resultados de la evaluación de la calidad del agua en una determinada fecha, se hará uso del ICA-PE, el cual tendrá valores que representan de una forma resumida el resultado de la calidad del agua, así como en el mapa en donde se ubican los puntos de monitoreo, estos serán mostrados con los resultados en una escala de colores que caracteriza al ICA.

Además, la difusión de resultados de cada monitoreo, el cual se realiza mediante una exposición dirigida a instituciones y sociedad civil, es decir a profesionales técnicos que pueden tener el conocimiento necesario para recepcionar la comunicación de los resultados, así como a la población, quienes son los que presentan más interés de los resultados que se exponen, y es donde y a quiénes la presentación de los resultados mediante un ICA, es favorable para su comprensión y toma de decisiones.

Para el cálculo del ICA para un (01) monitoreo, se seguirán los pasos que se indicaron en el ítem 7.2.3 (párrafo antes descrito), los cuales describen la data que se requiere para el cálculo de cada factor (F_1 , F_2

y F_3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua ($CCME_{WQA}$). De la misma manera, se requiere introducir los Datos y las fórmulas matemáticas en una hoja de cálculo (Excel).

Siendo la aplicación para un (01) monitoreo, y la data completa corresponde a ese monitoreo, se tiene:

$$F_1 = F_2$$

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

$$F_2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma de Excedentes}}{\text{Suma de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

Cálculo del Índice de Calidad del Agua: el cual viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres (03) factores, F_1 , F_2 y F_3 , con el mismo criterio que el ítem 7.2.3.

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

Obteniendo el mismo resultado, un valor para el índice que se presenta como un número adimensional comprendido entre 1- 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que me expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Mala, Regular, Favorable, Buena y Excelente (Como se muestra en el Cuadro N°07).

| ICA | 95-100 | 80-94 | 65-79 | 45-64 | 0-44 |
|--------------|-----------|-------|-----------|---------|------|
| Calificación | Excelente | Buena | Favorable | Regular | Mala |

7.3 RESULTADOS ICA-PE

Respecto a los resultados de los Índices de Calidad de Agua, según desarrollo del procedimiento del cálculo del ICA. (ítem 7.2.3.), se presenta:

7.3.1 HOJA DE CÁLCULO EXCEL

A través de una creación de una macro en Excel que automatiza todo el proceso de cálculo (fórmulas matemáticas para la obtención de los factores y el $CCME_{WQA}$, conteniendo las condiciones que se necesita para el cálculo de los excedentes, y así completar la suma normalizada de todos los excedentes que se presenten en la data completa que se tiene de los monitoreos del cuerpo de agua en estudio, para realizarse el cálculo de los factores y del valor numérico del ICA junto a su resultado cualitativo en su escala de colores la cual representa.

Ingreso de la Data: Puntos de Monitoreo, resultados de los monitoreos (como son presentados por los laboratorios acreditados) y los valores establecidos en los ECA- Agua, con los cuales se realiza la evaluación de cada parámetro (normativa ambiental).

Cuadro N°09: Ejemplo del Ingreso de datos que corresponden a resultados de ocho (08) Monitoreos, para 02 puntos de monitoreos de la Cuenca Rimac

| Punto de Monitoreo | Parámetros | ECA-AGUA SEGÚN SU CATEGORÍA | MONITOREO (M) (Miles) | | | | | | | | MONITOREO (M) (Litros) | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|------|------|------|------|------|------|----|
| | | | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| Punto de Monitoreo 1 | pH | 6.5 - 8.5 | 7.2 | 7.5 | 7.8 | 7.4 | 7.6 | 7.3 | 7.7 | 7.1 | 7.4 | 7.6 | 7.2 | 7.5 | 7.3 | 7.7 | 7.4 | |
| | Conductividad (µmhos/cm) | 1000 - 2000 | 1200 | 1500 | 1800 | 1400 | 1600 | 1300 | 1700 | 1100 | 1400 | 1600 | 1200 | 1500 | 1300 | 1700 | 1400 | |
| | Temperatura (°C) | 15 - 25 | 18 | 20 | 22 | 19 | 21 | 18 | 23 | 17 | 19 | 21 | 18 | 20 | 19 | 22 | 20 | |
| Punto de Monitoreo 2 | Amonio (mg/l) | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | |
| | Cromo (µg/l) | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | |
| | Cobalto (µg/l) | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | |
| | Cromo (µg/l) | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | |
| | Cromo (µg/l) | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | |
| | Hierro (µg/l) | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | |
| | Manganoso (µg/l) | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | |
| | Nitrato (mg/l) | 0.50 | 0.40 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.70 | 0.50 | 0.60 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.50 | 0.70 | |
| | Potasio (µg/l) | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | |
| | Selenio (µg/l) | 0.1 | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.13 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.10 | |
| Sumatoria de cationes | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| ICAW | Índice de calidad de agua | | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |
| | Índice de calidad de agua de punto | | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |
| | Índice de calidad de agua de río | | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |
| | Índice de calidad de agua | | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |

Cálculo de los Factores (F₁, F₂, F₃): El cuadro de celdas correspondiente al macro Excel, contienen ecuaciones y condiciones, que son calculadas automáticamente presentando los resultados (cuantitativo y cualitativo en una escala cromática), con tan solo el ingreso de la data que se muestra en el cuadro anterior.

Cuadro N°10: Celdas automatizadas para el cálculo de los excedentes de cada parámetros, factores y valor del ICA

| Punto de Monitoreo | Parámetros | FACTORES CALCULADOS | | | | | | | | VALOR DECEDENTE DE CADA PARÁMETROS RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO EN EL ECA-AGUA | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|---------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| Punto de Monitoreo 1 | pH | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Conductividad (µmhos/cm) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Temperatura (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Punto de Monitoreo 2 | Amonio (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cromo (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cobalto (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cromo (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cromo (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Hierro (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Manganoso (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nitrato (mg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Potasio (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Selenio (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sumatoria de cationes | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ICAW | F1 | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |
| | F2 | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |
| | F3 | 10 | | | | | | | | 10 | | | | | | | |

RESULTADO ICA (Según Cuadro N°07)

Anexo 10.5 Registro de Fotos



Foto 1. Bocatoma Raca Rumi que permite captación del río Chancay hacia Reservorio Tinajones. Cuenca Chancay –Lambayeque.
(Fuente: Visita al proyecto Tinajones, 2019).



Foto 2. Rebosadero de crecidas en la Bocatoma Raca Rumi. Cuenca Chancay – Lambayeque.
(Fuente: Visita al proyecto Tinajones, 2019).

