

Water quality of the Moche River Basin using the ICA-PE, La Libertad

Calidad del agua de la Cuenca del Río Moche empleando el ICA-PE, La Libertad

Rosa L. Gavidia Castillo, Bach.¹, Jhidne J. Iparraguirre Sagastegui, Bach.¹, Jessica M. Luján Rojas, Mg.², Grant Ilich LLaque Fernández, Mg.², Luis E. Alva Díaz, Mg.³, Lesly M. Moreno Avalos, Bach.³,

¹Universidad Privada del Norte, Perú, rosagavidia.30@gmail.com, jhubaliiparraguirre@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe, grant.llaque@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, enrique.alva@upn.pe, morenolessly5@gmail.com

Abstract— The investigation compared the variation of the water Quality of the Moche River basin (La Libertad) using the Water Quality Index-Peru (ICA-PE), based on the results of the National Water Authority in dry season (2013-2018). The investigation was descriptive, with a non-experimental design. In the methodology, 19 monitoring points were selected, the parameters that had the greatest significance of affectation and were within the ICA-PE were also chosen. The data was processed using the ICA-PE methodology and statistical analysis. The results obtained from the ANOVA analysis (5%) showed significant variances in the parameters; In addition, the comparison of the data studied with the current ECA-Water (category 3 and 4) showed that only conductivity and boron comply with this; Regarding the ICA-PE in each point, its rating varied between Regular, Terrible and Bad in its majority, which allowed the elaboration of a recovery Management Plan proposal. Finally, it was concluded that the water of the Moche River basin is being contaminated, since the ICA-PE in most points indicated poor quality.

Key words—ICA, parameters, monitoring, Management Plan.

Resumen— La investigación, comparó la variación de la calidad del agua de la Cuenca del Río Moche (La Libertad) empleando el Índice de Calidad del Agua-Perú (ICA-PE), teniendo como bases resultados de la Autoridad Nacional del Agua en época de estiaje (2013-2018). Esta fue de tipo descriptivo, con un diseño no experimental. En la metodología se seleccionó a 19 puntos de monitoreo, también se eligió a los parámetros que tuvieron mayor significancia de afectación y estuvieron dentro del ICA-PE. Los datos fueron procesados mediante la metodología del ICA-PE y el análisis estadístico. Los resultados obtenidos a partir del análisis ANOVA (5%) demostraron varianzas significativas en los parámetros; además la comparación de la data estudiada con el ECA-Agua (categoría 3 y 4) vigente demostró que solo la conductividad y boro cumplen con esta; respecto al ICA-PE en cada punto, su calificación varió entre Regular, Pésimo y Malo en su mayoría, lo que permitió elaborar una propuesta de Plan de Manejo de recuperación. Finalmente se concluyó que el agua de la cuenca del río Moche está siendo contaminada, ya que el ICA-PE en la mayoría de los puntos indicó mala calidad.

Palabras clave-- ICA, parámetros, monitoreo, Plan de Manejo.

I. Introducción

El agua es una fuente indispensable para la vida, sin embargo, su uso indiscriminado unido al crecimiento de la población, han ocasionado que sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas se vean alteradas y por ende su calidad disminuya [1]. Esta problemática data desde tiempos muy remotos, pues en el siglo XIX se registró contaminación fecal y orgánica debido a los tratamientos de agua poco avanzados que existían, en el siglo XX se evidenció contaminación por metales pesados y a partir de 1960 progresó el fenómeno de la eutrofización [2]. La mencionada situación ha ocasionado numerosos casos de enfermedades como son: el cólera, fiebre, tifoidea y problemas intestinales [3].

Las principales causas del deterioro de la calidad de los ríos son: las descargas de líquidos cloacales y pluviales, el vertido de efluentes industriales sin tratamiento, el arrastre de suelo con contenido de plaguicidas, fertilizantes, desechos orgánicos, entre otros [4]. Las cuales desencadenan severas consecuencias, como; la desaparición de especies marinas y la alteración de ecosistemas acuáticos, debido a la toxicidad que presentan los efluentes que son vertidos a dichas aguas. También pone en riesgo la salud de las personas que utilizan este medio vital para desarrollar sus actividades, pues son más propensas a adquirir enfermedades intestinales, además cuando se hace uso para el regadío de cultivos, las aguas disminuyen la fertilidad de las plantas y por ende la seguridad alimentaria. [5] Un claro ejemplo de ello es la bioacumulación de metales, pues diversas investigaciones demuestran que algunos bovinos luego de ingerir agua y pastos contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) presentan concentraciones de dichos elementos en la leche y carne [6].

La alteración de la calidad del agua de los cuerpos superficiales es un problema de escala mundial; es así que en España se ha reportado que el 33% de sus ríos presentan una calidad de agua inaceptable como consecuencia de la contaminación [7]. El continente americano no es ajeno a esta

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.130>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

realidad, pues en un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en Mexico, revela que la calidad de sus aguas se encuentra en estado crítico, ya que ocupa el lugar 106 en una lista de 122 países [8]. De igual modo sucede en nuestro país, ya que según el Ministerio del Ambiente, en el Perú el 50% de los ríos están contaminados, un ejemplo específico es el evidenciado en el río Moche, cuyos niveles de contaminación han crecido alarmantemente [9].

La calidad del agua superficial, se define como las características físicas, químicas y biológicas que presenta un determinado recurso hídrico, cuando estas superan los niveles establecidos de la normativa nacional, resultan ser perjudiciales para el ambiente. Para evaluar su calidad, cada vez más agencias medioambientales, universidades e institutos, recurren a utilizar diversas expresiones matemáticas, tal es el caso de los ICA [10], si bien existen diversos índices, cada uno de estos se ajustan a las necesidades y características del lugar, por lo que para la evaluación de la calidad del agua en los ríos del Perú, se utiliza el ICA-PE, el cual fue propuesto por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el 2018, mediante la Resolución Jefatural N°068-2018-ANA [11].

En el Perú se ha utilizado esta metodología para evaluar la calidad del agua de algunos recursos hídricos, tal es el caso de la laguna Marvilla (2019-2020), donde se comprobó que 5 parámetros [nitratos, fósforo total, amoníaco total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes termotolerantes] no cumplen con lo establecido en la categoría (categ.) 4 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. Asimismo, el valor calculado del ICA-PE fue de 46.3, lo que indica que la calidad del agua es regular [12]. De igual modo, en el río Tumbes se determinó el incumplimiento de diversos parámetros, los cuales fueron: coliformes Termotolerantes, plomo (Pb), cadmio (Cd), aluminio (Al), arsénico (As), hierro (Fe) y manganeso (Mn); además, se identificó que el ICA tiene clasificación malo tanto en periodo seco y húmedo [13].

En el ámbito de estudio, en el año 2014 la ANA evaluó el estado de la calidad del agua de la cuenca, en la que se determinó contaminación por la presencia de Al, As, Cd, cobre (Cu), Pb, zinc (Zn) y coliformes, cuyas concentraciones superaron los ECA-Agua categ. 3 ("Riego de Vegetales y Bebida de Animales") [14]. De la misma forma, según el Sistema de Información Local de Trujillo, se realizó un Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua en el 2016, donde se identificó a varios parámetros incumpliendo los ECA categ. 3, tales como: Al, As, Cd, Mn, Fe y coliformes termotolerantes [15]. Además, otros autores consideran que el agua no es recomendable para el uso agrícola, recreativo, ni de consumo humano [16].

La investigación beneficiará a toda la población del área de estudio, ya que permitirá que las autoridades competentes tengan un sustento académico de la situación actual de la

cuenca y con ello puedan plantear más alternativas de solución. Además, considerar ser más exigentes en el cumplimiento de la normativa ambiental aplicada a las industrias, municipalidades y sociedad en general. Al ejecutar medidas de solución óptimas que mitiguen esta problemática, se generarán puestos de trabajo, que beneficiará al área de influencia, por consiguiente se mejorará la calidad de vida de la población. Desde el punto de vista académico, este trabajo presenta una amplia información, que luego puede ser una base para otros estudios.

Ante la problemática identificada en la Cuenca del Río Moche, es necesario la aplicación de instrumentos de gestión, que permitan determinar el estado en el que se encuentran las aguas superficiales de nuestro país; es por ello que esta investigación tiene como objetivo comparar la variación de la calidad del agua de la cuenca del río Moche empleando el ICA-PE, teniendo como base resultados de la Autoridad Nacional del Agua. Para ello, primero se aplicará un análisis de varianza simple; luego se comparará las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de los diferentes monitoreos realizados entre los años 2013-2018 con el ECA-Agua; posteriormente a ello, se le determinará el valor del ICA-PE y finalmente se elaborará una propuesta de Plan de Manejo para la recuperación de la cuenca, con la finalidad de mejorar el ICA, en los puntos más críticos.

II. METODOLOGÍA

La metodología empleada fue de tipo descriptivo, con un diseño no experimental-longitudinal. El trabajo se realizó a través de la recopilación de información de 6 informes técnicos de monitoreo participativo realizados por la ANA en época de estiaje (2013-2018) en la Cuenca del Río Moche, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 1
INFORMES DE MONITOREOS REALIZADOS POR LA ANA

N° MP	Periodo del monitoreo			Época	N° Informe Técnico
	Desde	Hasta	Año		
1	18-nov	23-nov	2013	ESTIAJE	Informe Técnico N°014-2013-ANA-DGCRH-VIG/MGSP
2	27-oct	03-nov	2014	ESTIAJE	Informe Técnico N°041-2014-ANA-DGCRH-GOCRH
3	09-nov	16-nov	2015	ESTIAJE	Informe Técnico N°023-2016-ANA-ALAMVCH
4	28-abr	05-may	2016	ESTIAJE	Informe Técnico N°068-2016-ANA-ALAMVCH
5	23-oct	31-oct	2017	ESTIAJE	Informe Técnico N°054-2018-ANA.AAA.HCH-AT/OEAU
6	09-ago	17-ago	2018	ESTIAJE	Informe Técnico N°055-2018-ANA.AAA.HCH-AT/OEAU

El método de análisis empleado fue el de varianza simple (ANOVA) al 5% de probabilidad, con el fin de determinar las

variaciones de los parámetros en cada punto de muestreo. A continuación se presenta en la figura 1 el diagrama de flujo de los procesos metodológicos de la investigación, cabe recalcar que para ello, se utilizó como referencia a la R.J N°068-2018-ANA [17]:

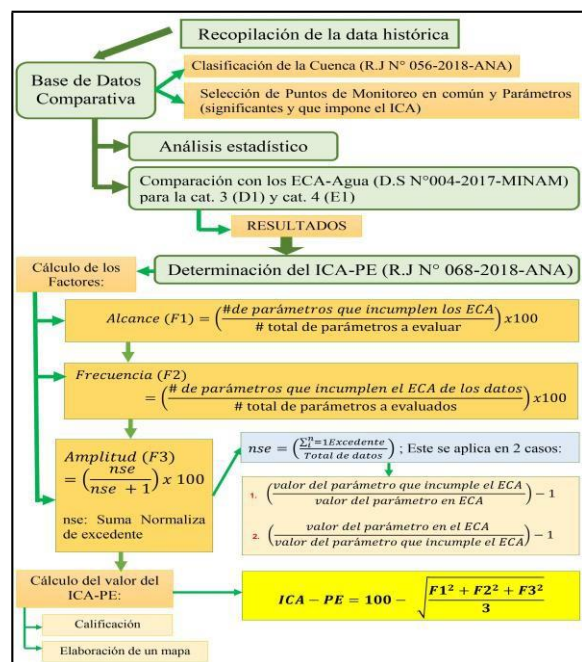


Fig. 1. Diagrama de Flujo de los procesos metodológicos de la investigación.

En la tabla 2, se muestra la calificación que se aplicó al rango de valores del ICA-PE [17]. También se elaboró un mapa de la cuenca, donde se plasmó cada punto de monitoreo y su respectiva calificación obtenida del cálculo del ICA-PE. Finalmente, frente al análisis realizado se elaboró una propuesta de Plan de Manejo para la recuperación de la cuenca.

TABLA 2
INTERPRETACIÓN DE LA CALIFICACIÓN DEL 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 de poca magnitud.
45-74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de valores deseables. Mucho 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 del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre estas amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se analizó a 19 puntos de muestreo y se codificó de la siguiente manera según el nivel de cuenca: alta (LGrand1, LSLor1, RSCat1, QSFelt1, RMoch1, RMoch2, RMoch3, RMoch4, RMotil, RChot1, RHuan1 y ROTuz1), media (RMoch5, QCush1, RMoch6 y RLCue1) y baja (RMoch7, RMoch8 y RMoch9). En cuanto a los parámetros, se estudió a 14 en total, los cuales fueron: conductividad, boro, Al, Cu, Fe, Mn, As, Cd, Pb, Zn, pH, DBO, oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes; de los cuales todos aplicaron para la cat. 3 de los ECA y solo los 8 últimos para la categ. 4 (Puntos de monitoreo: LGrand1, LSLor1).

Luego de realizar el análisis estadístico de varianza simple para evaluar el comportamiento de los parámetros físicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos (Tabla 3 y 4), en los diversos puntos de muestreo, se encontró que solo As, presenta valor $P < 0.05$, lo que significa que sus concentraciones se mantienen en un mismo rango en todos los puntos que han sido estudiados, a diferencia de los demás que muestran variaciones significativas de aumento en los diferentes niveles de cuenca y en todos los años evaluados, lo cual puede deberse a factores externos o actividades que se desarrollan en los alrededores del cuerpo hídrico y que con el pasar de los años han degradado la calidad del agua, dentro de estos podemos mencionar al incremento del caudal y escorrentía producido por las lluvias, ausencia de plantas de tratamiento de aguas servidas en los asentamientos adyacentes al río o por el vertido directo de desechos, entre otros agentes contaminantes [18].

TABLA 3
ANÁLISIS DE VARIANZA SIMPLE PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA DEL RÍO MOCHE

Parámetro	Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
PH	Entre grupos	267.94	18	14.8856	23.1*	0
	Intra grupos	61.228	95	0.644506		
	Total (Corr.)	329.168	113			
Conductividad (uS/cm)	Entre grupos	1.86E+07	18	1.03E+06	24.63*	0
	Intra grupos	3.18E+06	76	4.18701		
	Total (Corr.)	2.17E+07	94			
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Entre grupos	90.2373	18	5.01318	2.48*	0.003
	Intra grupos	153.427	76	2.01877		
	Total (Corr.)	243.664	94			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Entre grupos	7292.37	18	405.132	4.28*	0
	Intra grupos	8998.48	95	94.7209		
	Total (Corr.)	162909	113			
Coliformes Microbiológico Termotolerantes (NMP/100ml)	Entre grupos	1.61E+15	18	8.94E+13	3.75*	0
	Intra grupos	2.26E+15	95	2.38E+13		
	Total (Corr.)	3.87E+15	113			

Nota: (*) indica una diferencia significativa; GI representa a los Grados de libertad; P es <0.05

TABLA 4
ANÁLISIS DE VARIANZA SIMPLE PARA LOS PARÁMETROS
INORGÁNICOS EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DE LA
CUENCA DEL RÍO MOCHE

Parámetro	Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Aluminio (mg/L)	Entre grupos	628.113	16	39.2571	4.14*	0
	Intra grupos	805.592	85	9.47755		
	Total (Corr.)	1433.7	101			
Arsénico (mg/L)	Entre grupos	9.98576	18	0.554764	1.63	0.067
	Intra grupos	32.2449	95	0.33942		
	Total (Corr.)	42.2307	113			
Boro (mg/L)	Entre grupos	0.750928	16	0.046933	3.12*	0
	Intra grupos	1.27729	85	0.0150269		
	Total (Corr.)	2.02821	101			
Cadmio (mg/L)	Entre grupos	0.0592903	18	0.0032939	2.64*	0.001
	Intra grupos	0.118357	95	0.00124587		
	Total (Corr.)	0.177648	113			
Cobre (mg/L)	Entre grupos	97.9706	18	5.44281	1.9*	0.025
	Intra grupos	271.745	95	2.86047		
	Total (Corr.)	369.716	113			
Hierro (mg/L)	Entre grupos	36313.9	16	2269.62	2.46*	0.004
	Intra grupos	78372.8	85	922.033		
	Total (Corr.)	114687	101			
Manganeso (mg/L)	Entre grupos	3381.98	16	211.374	14.47*	0
	Intra grupos	1241.24	85	14.6028		
	Total (Corr.)	4623.22	101			
Plomo (mg/L)	Entre grupos	3.76249	18	0.209027	4.76*	0
	Intra grupos	4.17453	95	0.0439424		
	Total (Corr.)	7.93701	113			
Zinc (mg/L)	Entre grupos	2036.75	18	113.153	2.99*	0
	Intra grupos	3589.37	95	37.7829		
	Total (Corr.)	5626.12	113			

Nota: (*) indica una diferencia significativa; Gl representa a los Grados de libertad; P es <0.05

De los parámetros estudiados, solo 2 (boro y conductividad) cumplieron los niveles propuestos por la norma vigente (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM) [19], por lo que en las figuras siguientes se detalla solo a los que se encuentran incumpliendo según la categoría correspondiente.

Con respecto a la comparación de los ECA-Agua con los distintos parámetros estudiados, para el caso del pH, en la Fig. 2, se aprecia que para la categ. 3 (6.5-8.5) los puntos que presentan condiciones ácidas para los años hidrológicos estudiados van de RMoch1 a RMoch4, siendo RMoch2 el que presenta menor valor (1.35); por otro lado, los puntos que presentaron condiciones básicas fueron: RMotil (2015), RLCue1 (2014) y RHuan1 (2016), siendo en este último el más alto (8.70). En cuanto a la categ. 4 (6.5-9) el punto RSLor1 presentó condiciones ácidas (pH 5) y básicas (pH 9.04). Los valores del pH básico, están relacionados con los vertimientos de aguas residuales que son depositados al río y la composición de la corteza de los suelos [20]. Con respecto al pH ácido, estaría vinculado a la contaminación orgánica, actividad minera informal (distrito de Salpo) y agropecuarias de la zona [21].

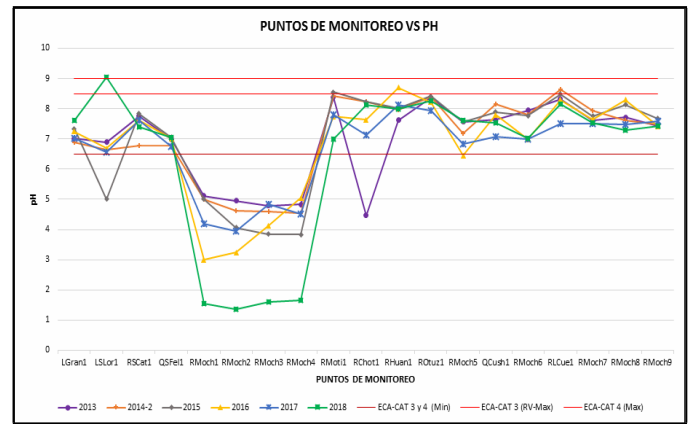


Fig. 2. Variación del pH en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 3, se distingue que el metal As al compararse con el ECA categ. 3 (0.1 mg/L); los puntos que sobrepasan la normativa son: RMoch1 (2013, 2016 y 2018), RMoch2 (2013, 2016, 2017 y 2018), RMoch3 (2014, 2016 y 2018), RMoch4 (2016), RMoch5 (2016) y RMoch6 (2016). Asimismo, para la categ. 4 (0.15 mg/L) todos los puntos se encuentran cumpliendo los estándares establecidos. Las concentraciones de As en ríos se da por recargas superficiales y subterráneas, causadas por el vertido de drenajes de la actividad minera, industrial y urbana, lo cual es arrastrado por las corrientes de agua y por ende algunas veces se presenta aguas más abajo de la fuente contaminante [22].

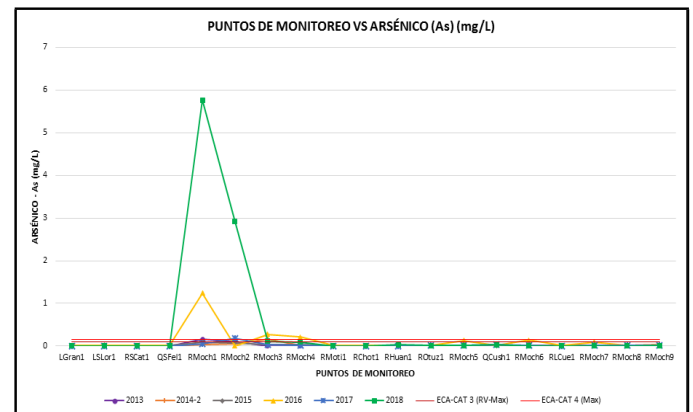


Fig. 3. Variación del Arsénico (As) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 4, se observa al Oxígeno Disuelto comparado con el ECA, en el caso de la categ. 3 (≥ 4 mg/L); los puntos de monitoreo que incumplen en diversos años son: RHuan1 (2014, 2015 y 2017), RMoch9 (2014 y 2016), QSFel1 (2017) y RMoch2 (2017). En cuanto a la categ. 4 (≥ 5 mg/L), los puntos que no cumplen la normativa son: LGran1 (2017 y 2018) y LSLor1 (2016, 2017 y 2018).

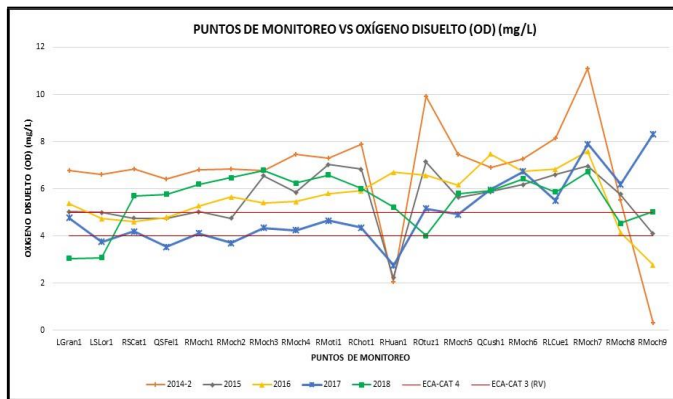


Fig. 4. Variación del Oxígeno Disuelto (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

La DBO5 al contrastarse con el ECA, categ. 3 (15 mg/L), como se muestra en la Fig. 5, evidencia a los puntos RHuan1 (2013), RMoch8 (2013, 2014, 2017 y 2018) y ROTuz1 (2018), sobrepasando la normativa. En cuanto a la categoría 4 (5 mg/L) ambos puntos están por debajo de lo que indica el decreto. El incumplimiento de estos parámetros (DBO y OD) se debe principalmente al vertimiento de contaminantes orgánicos procedentes de aguas residuales domésticas que no han sido previamente tratadas. La DBO5 y OD se encuentran estrechamente relacionados; en el caso del primero, este hace referencia a la cantidad necesaria de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar contaminantes orgánicos; por otro lado, el segundo indica que cuando mayor sea la cantidad de dichos residuos orgánicos, el nivel de concentración de OD necesario para oxidarlos también deberá ser mayor; es por eso que este parámetro es considerado un indicador de contaminación, por lo que un alto nivel expresa una buena calidad de agua [23].

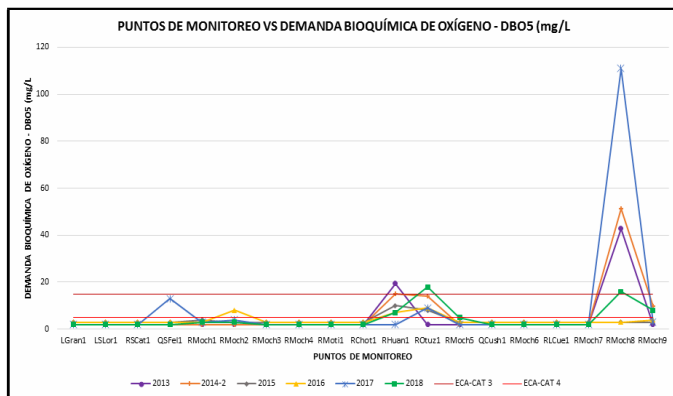


Fig. 5. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 6, se visualiza al metal Al comparado con el ECA categ. 3 (5 mg/L); donde los puntos que sobrepasan la normativa son: RMoch1 (2016 y 2018), RMoch2 (2017 y 2018), RMoch3 (2014, 2015 y 2018) y RMoch4 (2015 y 2018).

La presencia de este metal se ha evidenciado principalmente en la parte alta de la Cuenca, por lo que se infiere que su procedencia sea de las arcillas y algunas rocas que contienen silicatos, las cuales por efecto de la meteorización originan el Al coloidal y finalmente el Al disuelto [24].

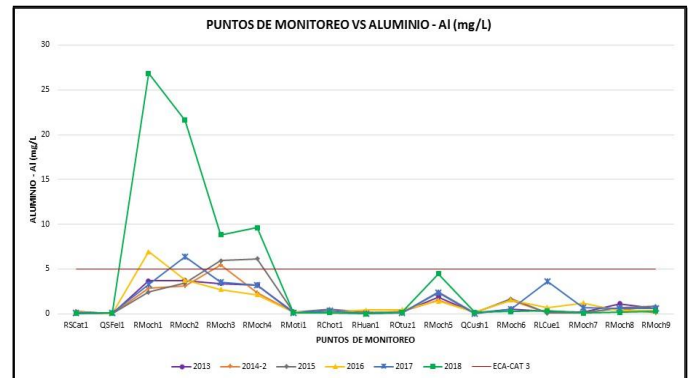


Fig. 6. Variación del Aluminio (Al) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En lo que concierne al Cd, en la Fig. 7 se refleja que al ser comparado con el ECA categ. 3 (0.01 mg/L), los puntos que sobrepasan dicho nivel para todos los años van de RMoch1 a RMoch4 y RMoch5; en cuanto a la categ. 4 (0.00025 mg/L), LGran1 (2018) y LSLor1 (2014 y 2017) superan el estándar fijado en el DS. La presencia de este metal en la cuenca alta y media se debe a las actividades mineras que priman en estas zonas, así se comprobó la existencia de concentraciones elevadas de Pb, Cr y Cd, las cuales también exceden el ECA [25]. En lo que respecta, al incumplimiento en las lagunas, puede deberse a factores naturales, ya que dicho metal forma parte de algunas rocas y suelos [26].

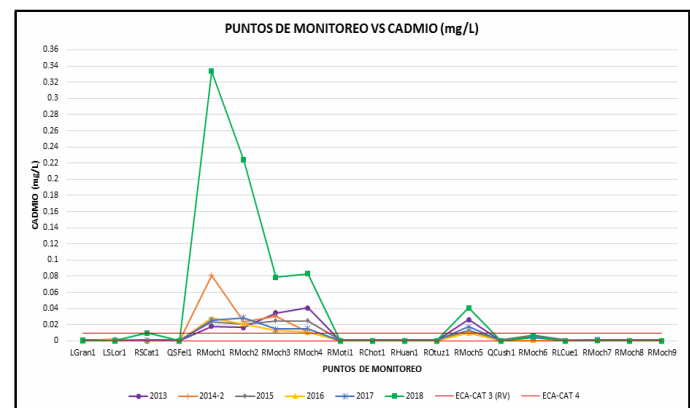


Fig. 7. Variación del Cadmio (Cd) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 8 se observa el contraste entre el Cu con el ECA categ. 3 (0.2 mg/L), en esta los puntos RMoch1 a RMoch4 (todos los años), RMoch5 (2013 y 2015-2018), RMoch6 (2016) y RMoch7 (2017), sobrepasan la normativa; por otro lado, en la categ. 4 (0.1 mg/L) todos los puntos

cumplen con lo establecido en DS. La presencia de este metal se debe principalmente a las actividades antrópicas desarrolladas alrededor, como la minería e industria, además, a los vertimientos poblacionales [27].

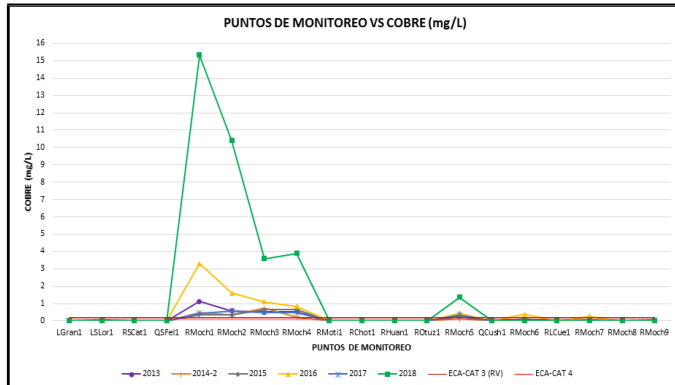


Fig. 4. Variación del Cobre (Cu) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 9 se muestra la comparativa entre el Mn y el ECA categ. 3 (0.2 mg/L), en la que se visualiza que los puntos que sobrepasan la normativa son; RSCat1 (2013 y 2016), QSFel1 (2017), RLCue1 (2017) y RMoch7 (2016 y 2017), asimismo los puntos de RMoch1 a RMoch4, ROTuz1, QCush1, RMoch6, RHuan1, RMoch5, RMoch8 y RMoch 9 se encuentran superando en la mayoría de los años. Cabe recalcar que este parámetro no aplica para la categ. 4.

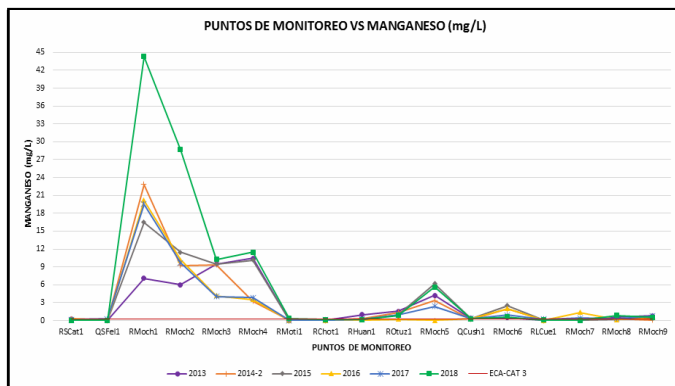


Fig. 5. Variación del Manganeseo (Mn) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En lo que respecta a la comparación del Fe con el ECA categ. 3 (5 mg/L), se distingue en la Fig. 10 que los puntos RMoch3 (2014, 2016 y 2018), RMoch4 (2016 y 2018), RMoch5 (2016), RMoch6 (2016), RMoch1 y RMoch2 (todos los años) sobrepasan la normativa. Además, este parámetro tampoco aplica para la categ. 4.

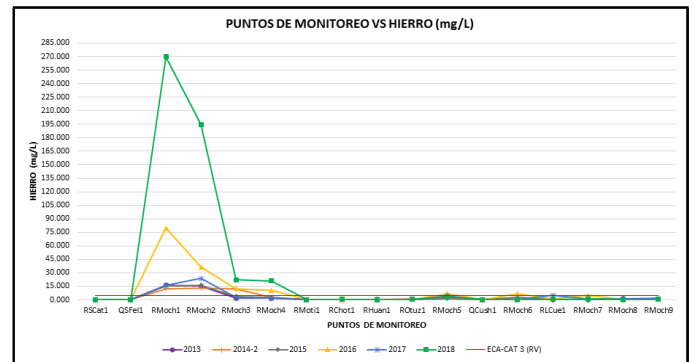


Fig. 6. Variación del Hierro (Fe) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 11 se confronta las concentraciones de Pb con el ECA categ. 3 (0.05 mg/L), en esta los puntos que sobrepasan la normativa son: RMoch3 (2014) y RMoch7 (2017), mientras que para los años 2013, 2016 y 2018 los puntos RMoch1 y RMoch2, de igual modo, RMoch5 y RMoch6 incumplen en todos los años. Por otro lado, en la categ. 4 (0.0025 mg/L) solo se presentó altos niveles en el punto LSLor1 (2015) con 0.006 mg/L. Por lo que, se afirma que el agua de la cuenca del río Moche se encuentra contaminada y no es apta para uso agrícola ni conservación del ambiente acuático [28]. Las elevadas concentraciones de este metal en el ambiente requieren atención, puesto que se caracteriza por ser bioacumulativo, considerándose perjudicial para el ser humano, ya que puede alcanzar el cerebro, el hígado y los riñones, por lo que hay que tener cuidado ante su exposición [29].

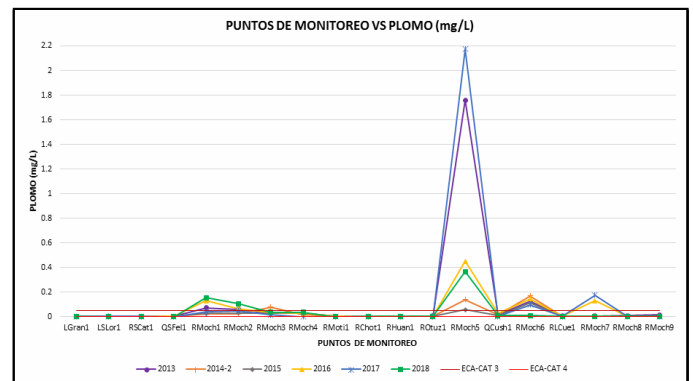


Fig. 7. Variación del Plomo (Pb) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 12 se contrasta los resultados de las concentraciones del Zn con el ECA categ.3, en la que los puntos; RMoch5 (2013, 2016 y 2018), RMoch6 (2016) y de RMoch1 a RMoch4 (gran parte de los años) exceden lo permitido. Por otra parte, en la categ. 4 (0.12mg/L) todos los puntos evaluados presentan niveles menores que lo establecido.

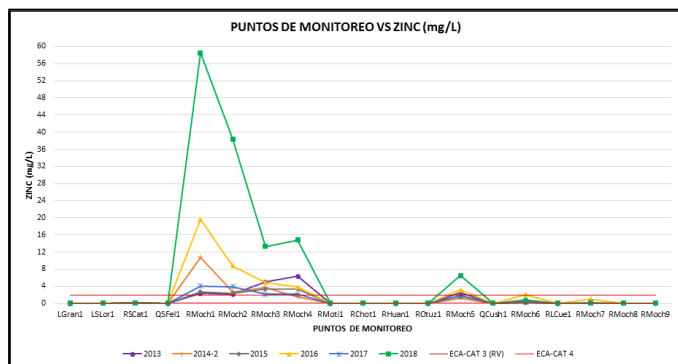


Fig. 8. Variación del Zinc (Zn) (mg/L) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

Como se puede evidenciar en el diagnóstico realizado a la Cuenca del Río Moche, los parámetros que más sobrepasan los ECA, son los inorgánicos (excepto el B) y cuya causa principal de su presencia es la minería; puesto que desde la década de 1950 el río Moche experimentó la desaparición de vegetales, crustáceos, peces y aves, debido al arrojo de desechos mineros procedentes de las empresas establecidas en su cuenca alta y media, convirtiéndose así en el recurso lótico más contaminado de la zona; ya que el 80% de su volumen se usa para la actividad minera, lo que ha originado que su cauce presente altos valores de metales pesados como As, Al, Pb, Fe, Mn, Zn, entre otros [30]. La cuenca también se encuentra influenciada por la inestabilidad física de la zona y pasivos mineros de Samne, procedentes de depósitos de relaves (500 000 toneladas aprox) que datan desde los años 60, época en la que operaba la Northern Mining Corporation y posteriormente la Compañía Minera Otuzco), constituyendo de igual forma un riesgo de contaminación por metales pesados [31].

Asimismo, en el distrito Quiruvilca se ha evidenciado el vertimiento de efluentes mineros por parte de la minera Quiruvilca S.A. y cientos de mineros ilegales que tienen tomado más del 50% de los cerros que dan cauce al nacimiento del río Moche [32]. Igualmente en el caserío Motil, distrito de Agallpampa-Otuzco, existe una planta concentradora de minerales (Virgen de la Puerta), que sumada a la presencia de la minería informal, es un alto riesgo de contaminación, por lo que en julio del 2018 la ANA, mediante la Resolución Jefatural N° 196-2018-ANA, declaró en estado de emergencia este recurso hídrico por sesenta días por inminente riesgo de afectación de la calidad de sus aguas, sin embargo hasta la actualidad no se ha aplicado ninguna solución [31].

El análisis del parámetro microbiológico (Fig.13) consiste en la comparación de las concentraciones de los coliformes termotolerantes con el ECA categ. 3 (1000 NMP/100ml), de acuerdo a ello se visualiza que los puntos que sobrepasan la normativa son: QSFel1 (2017), RHuan1 (2014 y 2018),

QCush1 (2016), RLCue1 (2014 y 2017), RMoch7 (2013, 2014 y 2017), ROTuz, RMoch8 y RMoch9; estos 3 últimos en la mayoría de años, sobre todo RMoch8 que registró el valor más alto de 49000000 NMP/100ml (2014). En lo que implica a la categ. 4 (1000 NMP/100ml), todos los puntos están por debajo de lo que impone la norma. La presencia de este microorganismo sobretodo en la cuenca baja, indica contaminación fecal, lo cual se debe al vertido de aguas residuales domésticas o de desagües sin tratar, ya que algunas municipalidades como Agallpampa, Otuzco, Moche y Simbal no cuentan con plantas de tratamiento [33]. De acuerdo a esta afirmación, se considera que las aguas de la cuenca no deben ser utilizadas para la actividad agrícola, puesto que serían muy dañinas para la salud humana [16].

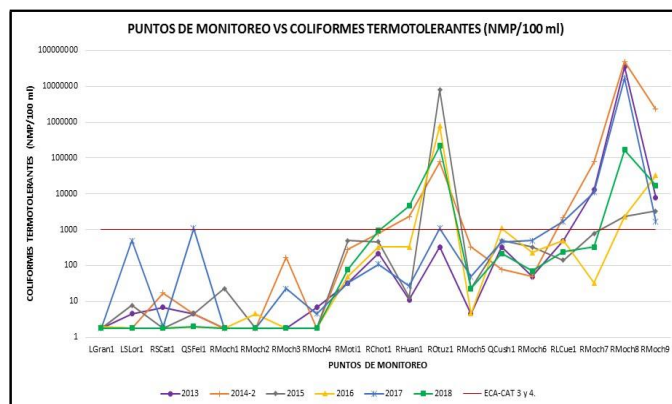


Fig. 9. Variación de los Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) en los puntos de monitoreo, de los trabajos participativos realizados por la ANA en la cuenca del río Moche.

En la Fig. 14 se visualizan los resultados de la determinación del valor del ICA-PE en base al diagnóstico realizado de los 19 puntos de monitoreo, se observa que en la cuenca alta se presentaron 5 calificaciones; Excelente (RSCat1, RMotil y RChot1), Bueno (LGrn1, QSFel1 y RHuan1), Regular (LSLor 1), Malo (RMoch3, RMoch4 y ROTuz1) y Pésimo (RMoch1 y RMoch2); en la cuenca media se identificó 4 tipos de calificaciones: Malo (RMoch5), Regular (RMoch6), Bueno (RLCue1) y Excelente (QCush1); mientras que en la cuenca baja solo un punto presentó calificación Regular (RMoch7) y dos puntos calificación Malo (RMoch8 y RMoch9). Ante ello, se afirma que el agua de la cuenca del Río Moche no tienen buena calidad, debido a que la mayoría de puntos tienen valores que están entre las calificaciones Regular (3 puntos), Pésimo (2 puntos) y Malo (6 puntos), que es causado por diversas fuentes contaminantes que se desarrollan a lo largo de la cuenca. Esta situación también se ve reflejada en la investigación de priorización de cuencas para la gestión de los recursos hídricos, la cual indica que la Cuenca del Río Moche, ocupa el 1 puesto en el ranking de priorización, con el puntaje (1.69) más bajo en cuanto al componente: ambiental (presencia de residuos, pasivos

ambientales, etc.), hidrológico (estrés hídrico, puntos críticos y una red de estaciones hidrometeorológicas insuficientes), económico y social; mientras que a nivel de vertiente (Pacífico), son 7 las cuencas (Moche, Santa, Alto Apurímac, Mantaro, Coata, Huancané y Rimac) que están dentro de las 15 primeras de alta prioridad [34].

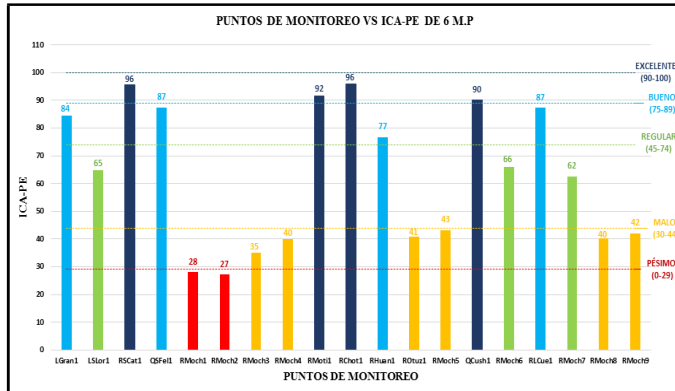


Fig. 10. Resultados del ICA-PE en cada uno de los puntos en la cuenca del río Moche, de seis monitoreos participativos en la época de estiaje.

De acuerdo a lo expuesto, el ICA es una de las mejores herramientas para calcular el potencial de contaminación de manera comprensiva, puesto que permite la clasificación de la calidad del agua, asimismo este puede ser utilizado como guía, por parte de las autoridades locales para la toma de decisiones adecuadas y la implementación de medidas correctivas [18]. A continuación el mapa de la Cuenca del Río Moche y su respectiva calificación obtenida por el ICA-PE



Fig. 15. Índices de calidad del agua de la cuenca del río Moche

Ante los 11 puntos críticos identificados al calcular el ICA-PE, se elaboró una propuesta de Plan de Manejo para la recuperación de la cuenca, el cual está constituido por 6 programas estratégicos y 17 proyectos, como se observa en la Fig. 15. Se planteó esta alternativa, ya que este instrumento de gestión está sujeto a cambios y proporciona programas, planes, procedimientos, etc.; orientados a prevenir, controlar, corregir, eliminar y minimizar impactos ambientales negativos [35]. El

Plan permitirá la restauración y conservación de la cuenca con el compromiso de las autoridades competentes y se iniciará creando un consejo de cuencas (Proyecto 1 del primer programa) integrado por la sociedad civil y política, este formará parte de la ANA y se encargará de dictar las pautas para la gestión, formulación y ejecución del Plan de Manejo. La creación e iniciativa de este consejo dependerá del Gobernador de la región La Libertad y se dará mediante decreto supremo, además estará constituido por representante del Ministerio de Agricultura, de la Autoridad Local del Agua Moche- Virú-Chao, ANA, Gobiernos Regionales, Gobiernos Provinciales y Distritales, Ministerio de Economía y Finanzas, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Ministerio de Energía y Minas, Organizaciones no gubernamentales, organizaciones de usuarios agrarios/no agrarios, Junta de usuario de riego presurizado Moche Viru Chao y otros actores que se definan durante el proceso de análisis [36].



Fig. 16. Propuesta de un Plan de Manejo para la recuperación de la cuenca.

IV. CONCLUSIONES

Se logró hacer la comparación de la variación de la calidad del agua de la cuenca del Río Moche, empleando el ICA-PE, lo que permitió identificar que 12 del total de parámetros que se evaluaron sobrepasan los ECA-Agua.

El análisis de varianza evidenció que los parámetros por punto de monitoreo, presentan variaciones significativas debido a acciones antrópicas que se desarrollan alrededor del recurso hídrico.

En cuanto a los parámetros químicos que se encuentran incumpliendo el ECA-Agua son: el pH en condiciones ácidas (cuenca alta y baja), el OD y la DBO₅, por otro lado, en el microbiológico, encontramos a las coliformes termotolerantes. De los parámetros inorgánicos analizados, 8 (Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn) no cumplen con los ECA-Agua, sobre todo en la cuenca alta y media, lo cual se debería principalmente a la actividad minera que se desarrolla, siendo los metales Fe y Mn los que se encuentran en mayores concentraciones.

El ICA-PE es una herramienta útil, ya que permitió saber en qué condiciones se encontraba cada punto analizado, determinándose que las aguas de la cuenca no tienen buena calidad, puesto que los resultados a partir de los 6 monitoreos mostraron que la mayoría de puntos tienen valores que están entre las calificaciones Regular (3 puntos), Pésimo (2 puntos) y Malo (6 puntos). De ello, se logró elaborar una propuesta de Plan de Manejo con 6 programas y 17 proyectos, que permitieran la recuperación y conservación de la Cuenca del Río Moche.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, por la inteligencia y sabiduría que nos da y a nuestros padres, que nos brindaron su apoyo para cumplir los objetivos trazados. A nuestra docente Jessica Luján por el apoyo, consejo y paciencia en el desarrollo de este trabajo y a nuestro asesor Luis Alva por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su conocimiento y capacidad.

REFERENCIAS

[1] B. Romeu, J. Larrea, D. Lugo, N. Rojas y M. Heydrich, "Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba", *CENIC Ciencias Biológicas*, vol.43, nro. 3, Diciembre 2012.

[2] Red Interamericana de Academias de Ciencias, Calidad del Agua en las Américas. Riesgos y Oportunidades, 2019. [Online]. Available: <https://www.ianas.org/images/books/wb09.pdf>

[3] E. Valenzuela, R. Leonardo y M. Barrientos, "Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana", *Chilena de Infectología*, vol. 29, nro. 6, pp. 628-634, Diciembre 2012.

[4] M. Carbone, B. García, J. Marcovechio, M. Pícolo, y G. Perillo, "Impacto antrópico en la calidad del agua superficial de la cuenca media del Arroyo Claromecó, Argentina". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol. 39, nro. 2, pp. 391-404, Diciembre 2013.

[5] R. Guadarrama, J. Kido, G. Roldán, y M. Salas, "Contaminación del agua". *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 2, nro. 5, pp. 1 -10, Septiembre 2016.

[6] Y. Reyes, I. Vergara, O. Torres, M. Díaz, y E. González, "Contaminación por metales pesados, Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria". *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 16, nro. 2, pp. 66-77, Diciembre 2016.

[7] Greenpeace, La calidad de las aguas en España. Un estudio por cuencas, 2015. [Online]. Available: <http://archivo.es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/agua-la-calidad-de-las-aguas.pdf>

[8] M. Benez, E. Kauffner, y G. Álvarez, "Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas". *Frontera Norte*, vol. 22, nro. 4, pp. 129-158, Junio 2010.

[9] A. García, L. Bravo, G. Campos, y D. Medina, "Acción Antimicrobiana de la Pterigospermina de Moringa Olífera sobre los Contaminantes del Agua y su Efecto en el pH, Turbidez y Crecimiento Microbiano". *Revista de la Facultad de Ingeniería UPN*, vol. 3, nro. 1, pp. 11-19, Abril 2015.

[10] F. Fontalvo, y C. Tamaris, "Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF". *Instituto de Investigaciones Tropicales*, vol. 13, nro. 2, pp. 101-111, Diciembre 2018.

[11] G. Díaz, "Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel – San Martín, 2017," Tesis de pregrado, Dept. ing. Sanitaria, UNSM, Tarapoto, Perú, 2018.

[12] S. Huaman, M. Lucen, M. Paredes, y D. Changanauqui, "Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú)". *South Sustainability*, vol. 1, nro. 2, Enero 2021.

[13] M. Silva, "Evaluación del grado de afectación de la calidad del agua del río Tumbes y propuesta de recuperación sector peruano – año 2011 al 2014," Tesis de maestría, Dept. de ing., Univ. Nacional de Tumbes, Perú, 2018.

[14] Autoridad Nacional del Agua, Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Moche - La Libertad, febrero 2014. [Online]. Available: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2229>

[15] Autoridad Nacional del Agua, Difusión de resultados: Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua de la Cuenca Moche 2016, 2017. [Online]. Available: <http://sial.segat.gob.pe/documentos/difusion-resultados-monitoreo-participativo-calidad-agua-cuenca-moche>

[16] M. Lezama, "Evaluación de Coliformes y Enterobacterias Patógenas como potencial de riesgo de contaminación del Agua de Riego en la Cuenca Baja del Río Moche. Trujillo, Perú," Tesis de doctorado, Dept. de medicina, UPAO, Trujillo, Perú, 2018.

[17] Autoridad Nacional del Agua, Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplica do a los cuerpos de agua continentales superficiales, 2018. [Online]. Available: <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/metodologia-para-la-determinacion-del-indice-de-calidad-de-agua-ica-pe-aplicado-los>

[18] J. Gil, C. Vizcaíno, y N. Montaña, "Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela". *Anales Científicos*, vol. 79, nro. 1, pp. 111-119, Junio 2018.

[19] Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, 2017. [Online]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

[20] R. Sanchez, "Niveles de metales pesados (Pb, Al y Sr) en época de avenida y estiaje en el río Osmore, región Moquegua," Tesis de maestría, Dept. ciencias naturales y formales, UNSA, Arequipa, Perú, 2019.

[21] W. Correa, "Calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la cuenca alta del río Moche, La Libertad. Octubre 2011 - marzo 2012," Tesis de pregrado, Dept. ciencias biológicas, UNT, Perú, 2012.

[22] P. Vera, "Dinámica del As, Cd y Pb en el agua superficial de la parte alta del río Jequetepeque provincia de san miguel, Cajamarca, Perú," Tesis de doctorado, Dept. de ciencias, UNC, Perú, 2017.

- [23] E. Raffo y E. Ruiz, "Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno", *Facultad de Ingeniería Industrial*, vol. 17, nro. 1, pp. 71-80, Junio 2014.
- [24] R. Sánchez, "Niveles de metales pesados (Pb, Al y Sr) en época de avenida y estiaje en el río Osmore, región Moquegua", Tesis de maestría, Dept. ciencias naturales y formales, UNSA, Arequipa, Perú, 2019.
- [25] R. Ramírez y H. Vargas, "Cuantificación de metales pesados Pb, Cr y Cd en agua superficial, sedimento y Ananas Comosus (piña) en el curso de agua de la zona de influencia del relave en Sanne-Otuzco", Tesis de pregrado, Dept. ing química, UNT, Perú, 2017.
- [26] Y. Reyes, I. Vergara, O. Torres, M. Díaz y E. Gonzáles, "Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria", *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 16, nro. 2, pp. 66-77, Diciembre 2016.
- [27] K. Lozano, "Aplicación de los principios de revitalización ambiental en el diseño de un complejo ecoturístico cultural en la ribera del río Moche – 2019", Tesis de pregrado, Dept. de arquitectura y diseño, UPN, Perú, 2019.
- [28] E. Paredes, "Concentración de Plomo y Cadmio en la cuenca media del Río Moche-La Libertad, 2013", Tesis de pregrado, Dept. de ciencias biológicas, UNT, Perú, 2013.
- [29] Organización Mundial de la Salud, Intoxicación por plomo y salud, 2019. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- [30] M. Casana, y R. Beltrán, "Bioacumulación de cobre, plomo, hierro y zinc en Lactuca sativa "lechuga", Brassica oleracea "repollo", Daucus carota "zanahoria" y Raphanus sativus "rabanito". *Conocimiento para el desarrollo*, vol. 4, nro. 2, pp. 125-132, Diciembre 2013.
- [31] V. Ascurra, "Aplicación de un modelo dinámico para determinar la contaminación y remoción de metales pesados del río Moche-Valle Santa Catalina", Tesis de doctorado, Dept. de ciencias químicas, UNT, Perú, 2019.
- [32] A. Amaya, E. Rueda, L. Bazán y A. Solano, "Capacidad de adsorción de metales pesados por Saccharomyces Cerevisiae en un efluente minero de Shorey, distrito de Quiruvilca, La Libertad", Tesis de pregrado, Dept. de ing, UCV, Perú, 2018.
- [33] Y. Martínez, Río Moche sigue contaminado por aguas residuales y relaves del ande, 2015. [Online]. Available: <https://larepublica.pe/sociedad/896447-rio-moche-sigue-contaminado-por-aguas-residuales-y-relaves-del-ande/>
- [34] Autoridad Nacional del Agua, Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú ICA-PE, 2017. [Online]. Available: <http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/publicaciones/metodologia-para-la-determinacion-del-indice-de-calidad-de-agua-de-los-recursos>
- [35] M. León, "Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río Conguime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA Brown) en la provincia de Zamora Chinchipe cantón Paquisha", Tesis de pregrado, Dept. de ing, Univ. Central del Ecuador, Quito, 2014.
- [36] Autoridad Nacional del Agua, Ley de Recursos Hídricos - Título II: "Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos", 2009. [Online]. Available: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/228/ANA0000044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>