

Influencia de las lluvias en la calidad del agua con relación a metales en ríos de la costa del Perú

Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel
<https://orcid.org/0000-0002-1141-6218>
ceduenas@unajma.edu.pe
Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas, Perú

Jonathan Alfonso Chau Lam
<https://orcid.org/0009-0008-9253-3555>
jchaulam001@gmail.com
JE&A Consultoría Integral E.I.R.L
Lima, Perú

Recibido (12/04/2023), Aceptado (21/07/2023)

Resumen: El presente estudio tiene como objetivo evaluar la influencia de las lluvias en la calidad de las aguas de los ríos con relación a metales, para lo cual se consideraron los resultados obtenidos de los monitoreos realizados por la Autoridad Nacional del Agua del Perú en subcuenca y cuencas de la costa, que se ejecutaron en los periodos de avenida y estiaje en el mismo año hidrológico. Mediante el análisis del factor único categórico se evaluaron dos niveles, siendo un nivel el periodo de avenida, y el otro nivel el periodo de estiaje, a través del software Statgraphics V.19. De los resultados se obtuvo un p valor de 0,8029, por lo tanto, se concluye que las lluvias no influyen significativamente en la calidad del agua con relación a metales, en los ríos estudiados de la costa del Perú.

Palabras clave: Calidad de agua, lluvia, metales.

Influence of rainfall on water quality in relation to metals in rivers on the coast of Peru

Abstract.- The objective of this study is to evaluate the influence of rainfall on the quality of river water concerning metals, for which the results obtained from the monitoring carried out by the National Water Authority of Peru in the sub-basin and sub-basin were considered coastal basins were carried out in the flood and dry season periods in the same hydrological year. Through the analysis of the single categorical factor, two levels were evaluated, one level being the flood period and the other the dry season, through the Statgraphics V.19 software. From the results, a p-value of 0.8029 was obtained. Therefore, it is concluded that the rains do not significantly influence the water quality concerning metals in the rivers studied on the coast of Peru.

Keywords: Water quality, rain, metals.

I. INTRODUCCIÓN

La prevención de la contaminación es primordial para mantener un ambiente en equilibrio que permita aprovechar de manera sostenible el entorno natural. Dentro de los componentes ambientales están los cuerpos de agua continentales conocidos como agua dulce, en donde los ríos son de suma importancia dado que estos configuran las cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas están conformadas por el territorio que delimita el curso de un río y el espacio donde se colecta el agua que converge hacia un mismo cauce, el agua puede tener origen nival o pluvial [1]. En las cuencas hidrográficas se desarrollan las principales actividades económicas y productivas como la agricultura, ganadería, minería, entre otras industrias que utilizan el agua de los ríos en sus diferentes procesos, siendo fundamental en la obtención de la materia prima o en la transformación de esta. Sin embargo, en algunos casos no hay tratamientos adecuados para devolver estas aguas residuales de forma óptima a los cuerpos naturales, ocasionando una contaminación en los ríos que va a ser caracterizada por las diferentes actividades socioeconómicas que las generan, así como de otras condiciones propias del medio.

Es importante mencionar, que los principales vectores de impactos ambientales son causados por las actividades económicas, generando cambios en la cantidad y calidad de los flujos continentales de agua, sedimentos y sus constituyentes químicos hacia el océano a través de los ríos [2]. Esta situación podría complicar la fragilidad ambiental de este ecosistema y los servicios que los ríos brindan a las comunidades en el uso del agua y/o también en la fuente de recursos hidrobiológicos como algas, peces, crustáceos, entre otros, que son aprovechados por las personas, en muchos casos para consumo directo.

Por ejemplo, en los ríos pertenecientes a la zona sur del Ecuador, estudios han demostrado que actividades como la minería, que utilizan metales pesados, han originado que los riesgos de estos vayan en aumento. Tal es el caso de Zaruma y Portovelo, ya que las consecuencias han sido reflejadas desde el 2017 hasta actualidad con hundimiento en el suelo; ríos contaminados que se han convertido en cloacas de metales pesados, investigaciones han demostrado que esta situación se ha dado a causa de la minería ilegal, por no contar con licencias ambientales y autorizaciones [3].

En ese sentido, los metales pesados y metaloides, están entre los contaminantes más importantes, dado que cuentan con gran estabilidad química respecto a los diferentes procesos de degradación, con capacidad de cambiar de estado o combinarse con otras sustancias, y en algunos casos dan lugar a formas más tóxicas del metal, por lo que los seres vivos no pueden metabolizar, acumulándose así en los tejidos y órganos [4].

Teniendo en cuenta que la calidad del agua está asociada con características físicas, químicas y biológicas. Es preciso indicar, que en el presente estudio, la calidad del agua se delimita solo a metales, los cuales son una parte de las características químicas de la calidad del agua.

La presente investigación permitirá determinar si al existir una mayor cantidad de agua en los ríos originada por las lluvias del periodo de avenida, es indicativo de una menor concentración de metales en el agua y por ende de una mejor calidad ambiental, lo cual sería conveniente para distintas actividades productivas como la agricultura, ganadería, entre otros.

DESARROLLO

Los índices de calidad del agua son instrumentos matemáticos que transforman una cierta cantidad de datos o parámetros en un solo número, de tal manera que describe la calidad del agua en términos cualitativos simples (por ejemplo, calidad mala, regular, buena, entre otros.), y así poder clasificar un cuerpo de agua o un tramo del mismo para que resulte comprensible en la comunidad científica como para el público en general [5].

La calidad del agua se estima de las concentraciones o valores de características físicas, químicas y biológicas producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua, variarán dependiendo de si se trata de agua para: consumo humano, uso agrícola, uso industrial, recreación, mantenimiento de la calidad ambiental, entre otros [6].

Para el presente caso se hará uso de la normativa peruana denominada Estándar de Calidad Ambiental para Agua, en adelante ECA agua [7], del cual se considerará solo los parámetros de metales, los cuales son mercurio, arsénico, bario, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc.

Asimismo, de los Índices de calidad del agua se hará uso del índice SQI, el cual se obtuvo a partir del Índice Canadiense de Calidad del Agua del 2001, el Índice SQI surgió a necesidad de que en algunas regiones de Canadá habían sido monitoreados el agua superficial y los sedimentos una sola vez, por lo tanto la función frecuencia no es aplicable, obteniendo como resultado una ecuación simplificada [8].

El presente estudio permitirá evaluar cuál es el comportamiento de la calidad del agua con relación a metales en los ríos de la costa del Perú en periodo de avenida y estiaje por medio del Índice SQI que nos permita advertir si las lluvias influyen significativamente o no en la concentración de estos metales de relevancia ambiental en las aguas de los ríos.

Para el presente estudio se hará uso de los resultados de los monitoreos de calidad de agua realizados por la Autoridad Nacional del Agua de Perú (en adelante ANA), entre los años hidrológicos 2013 y 2014, cuyos informes son de acceso abierto, los cuales cuentan con protocolo de uso y permiso de acceso abierto [9].

METODOLOGÍA

La población está conformada por el agua de dos cuencas hidrográficas de los ríos Moche y Santa, y una subcuenca hidrográfica del río Tablachaca. En las que se desarrollaron muestreos de agua superficial en los periodos de avenida y estiaje en las mismas ubicaciones.

Tabla 1. Fechas de muestreo.

Cuenca o Subcuenca	Periodo	
	Avenida	Estiaje
Tablachaca (22 puntos)	abril del 2014	noviembre del 2013
Moche (22 puntos)	febrero del 2014	octubre del 2014
Santa (18 puntos)	abril del 2014	noviembre del 2013

El área total del estudio se encuentra en la costa del Perú, hacia el norte de la ciudad de Lima y está conformada por una subcuenca y dos cuencas hidrográficas.



Fig. 1. Modelo de gestión de la experiencia de compra.

Para la selección de los parámetros que se utilizaron en el Índice SQI, se consideraron los establecidos en el ECA agua, siendo estos; mercurio, arsénico, bario, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc. Los índices SQI se obtuvieron por cada punto de muestreo en el periodo de avenida y también en el periodo de estiaje, para la cuenca de Santa con 18 puntos de muestreo, la cuenca de Moche con 22 puntos de muestreo y la subcuenca de Tablachaca con 22 puntos de muestreo. Asimismo, para realizar el análisis estadístico se tomó el promedio del Índice SQI en cada cuenca y subcuenca hidrográfica en ambos periodos.

A continuación, se describen los factores F1 (alcance) y F2 (amplitud) para hallar el índice SQI por cada punto de muestreo. El F1 se refiere al alcance que representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa o guía, respecto al total de parámetros a evaluar:

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen la guía}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}} \tag{1}$$

El F2 se refiere a la Amplitud que representa 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:

$$F2 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes} \times 100}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \tag{2}$$

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

$$nse = \frac{\text{Sumatoria de excedentes}}{\text{Total de datos}} \tag{3}$$

Donde el excedente es:

$$excedente = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple la guía}}{\text{Valor establecido del parámetro en la guía}} \tag{4}$$

Una vez obtenido el valor de los factores (F1 y F2) se procede a realizar el cálculo del Índice SQI, siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los dos (02) factores (F1 y F2); valor que se presenta en un rango de 100, como un Índice CCME WQI modificado de excelente calidad a 0, como valor que representa uno de pésima calidad:

$$Indice\ SQI = \frac{100 - \sqrt{F1^2 + F2^2}}{1.414} \tag{5}$$

Respecto del resultado del Índice SQI, el valor oscila entre el 1 y el 100, contándose con 5 rangos, conforme se aprecia a continuación:

Tabla 2. Clasificación e interpretación de rangos del Índice SQI

Índice CCME WQI modificado	Clasificación	Interpretación
95-100	Excelente	Es indicativo de óptimas condiciones ambientales. Los valores de índice dentro de este rango se logran a través de prácticamente todas las mediciones que se encuentran dentro de los valores de referencia.
80-94	Bueno	La mayoría de las mediciones se encuentran dentro de los valores de referencia y rara vez se desvían de los niveles ambientales de referencia.
60-79	Aceptable	Algunas mediciones se desvían de los niveles ambientales de referencia.
45-59	Marginal	Varias mediciones se desvían de los niveles ambientales de referencia.
0-44	Deficiente	La mayoría de las mediciones se desvían sustancialmente de los niveles ambientales de referencia.

Posteriormente, mediante el factor único categórico se evaluarán dos niveles, siendo un nivel el periodo de avenida y el otro nivel el periodo estiaje, a través del software Statgraphics V.19, con la finalidad de comparar el p valor y determinar si las lluvias influyen significativamente o no en la calidad de las aguas con respecto a los metales.

RESULTADOS

Se obtiene el valor del Índice SQI en el periodo de avenida y en el periodo estiaje en cada uno de los puntos de muestreo, para la cuenca de Santa con 18 puntos de muestreo, la cuenca de Moche con 22 puntos de muestreo y la subcuenca de Tablachaca con 22 puntos de muestreo. Asimismo, se calculan los valores promedio del Índice SQI para las dos cuencas y una subcuenca hidrográfica, en la época de avenida.

Tabla 3. Índice SQI - Época de avenida.

N°	Tablachaca	Moche	Santa
1	91,0	100,0	88,2
2	100,0	86,9	84,3
3	100,0	43,5	88,2
4	86,2	90,2	91,2
5	99,8	17,0	100,0
6	88,2	17,2	77,8
7	100,0	19,5	42,8
8	100,0	18,5	90,2
9	100,0	73,2	100,0
10	89,1	73,7	57,0
11	89,5	74,5	17,8
12	100,0	88,2	32,5
13	100,0	71,1	38,4
14	100,0	19,3	51,2
15	100,0	37,3	43,1
16	88,6	17,6	23,8
17	89,1	48,9	54,2
18	100,0	74,1	23,2
19	91,2	55,2	
20	91,2	18,3	
21	91,2	19,1	
22	91,2	18,5	
Promedio del Índice SQI	94,8	49,2	61,3

De igual manera, se calculan los valores promedio del Índice SQI para las dos cuencas y una subcuenca hidrográfica, en la época de estiaje.

Tabla 4. Índice SQI - Época de estiaje..

N°	Tablachaca	Moche	Santa
1	53,6	100,0	100,0
2	91,2	80,7	80,1
3	91,2	76,8	87,2
4	65,5	100,0	91,1
5	88,0	17,7	76,3
6	68,2	19,9	66,4
7	80,5	18,0	46,0
8	100,0	22,1	100,0
9	75,2	89,1	57,3
10	74,8	84,8	44,7
11	50,1	85,8	46,9
12	59,2	85,3	21,2
13	64,4	86,2	34,7
14	84,8	19,1	23,5
15	100,0	21,0	38,9
16	44,5	48,5	41,8
17	59,1	18,9	89,1
18	61,2	83,3	47,5
19	68,7	80,5	
20	76,3	71,7	
21	50,7	75,6	
22	71,4	69,3	
Promedio	71,8	61,6	60,7

Posteriormente, se procede a aplicar el análisis del factor único categórico, en el que se evalúan dos niveles, siendo un nivel el periodo de avenida y el otro nivel el periodo de estiaje, a través del software Statgraphics V.19, obteniéndose un p valor de 0,8039 y un cuadro de medias de intervalos que se muestran a continuación:

Tabla 5. Tabla ANOVA para el índice SQI promedio por período.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Relación F	Valor p
Entre grupos	20,9067	1	20,9067	0,07	0,8042
Dentro de los grupos	1192,03	4	298,007		
Total (Corr.)	1212,93	5			

Posteriormente, se procede a aplicar el análisis del factor único categórico, en el que se evalúan dos niveles, siendo un nivel el periodo de avenida y el otro nivel el periodo de estiaje, a través del software Statgraphics V.19, obteniéndose un p valor de 0,8039 y un cuadro de medias de intervalos que se muestran a continuación:

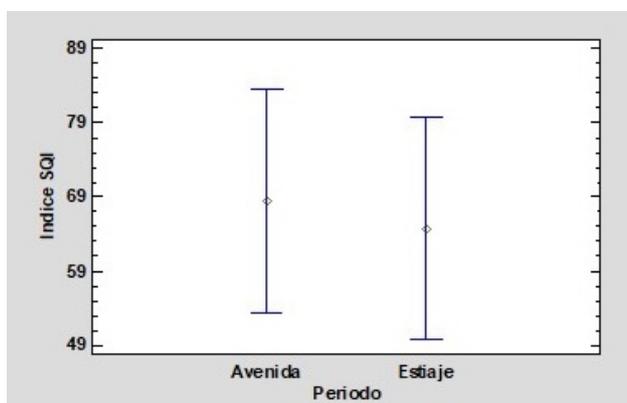


Fig. 2. Medias e intervalos LSD del 90 por ciento.

CONCLUSIONES

Los periodos de avenida y estiaje no influyen significativamente en la calidad del agua con relación a metales en los ríos evaluados, dado que el p valor es de 0,8042, encontrándose por encima del 0,1.

No existe una tendencia definida en la mejora o deterioro de la calidad de agua, debido a que estas fueron diferentes en las tres áreas estudiadas, como en el caso de la subcuenca Tablachaca, en la cual hubo una mejora del valor de 71,8 en la época de estiaje a 94,8 en la época de avenida, caso contrario con los resultados de la cuenca de Moche, con un deterioro del valor de 61,6 en época de estiaje a 49,2 en la época de avenida. En el caso de la cuenca de Santa el valor promedio del Índice SQI se mantuvo casi estable con valores de 60,7 y 61,3 en época de estiaje y avenida respectivamente.

El gráfico de medias e intervalos LSD del 90 por ciento indica que existe concurrencia en el Índice SQI entre los gráficos de ambos periodos, por lo que estos no influyen significativamente en la calidad del agua con relación a metales.

De la revisión de los informes de monitoreos de la ANA, se han mantenido constante la cantidad de fuentes contaminantes y vertimientos autorizados a los ríos materia de estudio en ambos periodos. Por lo que se deben estudiar otras posibles variables que puedan influir en su calidad, estas variables podrían ser descargas clandestinas no declaradas, influencia de sedimentos de los lechos de los ríos en el agua superficial, variación estacional en la concentración de metales de las fuentes o vertimientos autorizados a los ríos, bioacumulación de metales, entre otros.

Los valores promedios del Índice SQI oscilan entre el 49,2 (marginal) hasta el 94.8 (bueno), por lo que no se verifica que la calidad del agua de los ríos materia de análisis presenten clasificaciones extremas (deficientes o excelentes).

Es necesario ampliar el estudio y evaluar otras fuentes de contaminación de los ríos, que podrían estar afectando la calidad del agua.

Se recomienda realizar estudios similares en las cuencas hidrográficas de la sierra y selva del Perú, dado que en estas zonas geográficas se realizan con mucha más intensidad actividades mineras y de hidrocarburos. Por lo que sería importante evaluar la influencia de las lluvias en estas zonas. Dado que en general los mayores valores de precipitaciones se dan en la parte baja (llano amazónico) y en bajas latitudes (norte) de la vertiente del atlántico y las menores lluvias se observan en la vertiente del Pacífico cerca al Océano Pacífico y en bajas latitudes [10].

REFERENCIAS

- [1] H. Beltran, «Distribución y riqueza de Asteráceas en las cuencas hidrográficas del departamento de Lima, Peru,» *ArnaldoA*, vol. 25, nº 3, pp. 799-828, 2018.
- [2] R. De Oliveira y R. V. Marins, «Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: revisão,» *Revista Virtual de Química*, vol. 3, nº 2, pp. 88-102, 2011.
- [3] J. L. Loayza, «NARRATIVAS TRANSMEDIA PARA CONCIENTIZAR SOBRE LA CONTAMINACIÓN MINERA DE RÍOS DEL ECUADOR Una revisión para la conciencia ambiental,» *Revista Internacional De Cultura Visual*, pp. 1-8, 2022.
- [4] J. J. Baños Baños, C. Bojórquez Sánchez, M. E. Bergés Tiznado, F. Páez Osuna y Y. E. Torres Rojas, «Distribución y niveles de metales pesados (Cd y Zn) en tejidos de la sierra del Pacífico Scomberomorus sierra de la Bahía de Mazatlán,» 2017.
- [5] A. Magdaleno, M. Paz, J. Mantovano, L. De Cabo, S. Bollani, C. Chagas, L. Núñez, K. Tornello y J. Moretton, «Evaluación del impacto de las actividades rurales en la calidad del agua de la microcuenca del arroyo Burgos (San Pedro, Provincia de Buenos Aires),» *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, vol. 20, nº 2, pp. 239-250, 2018.
- [6] B. K. Robles Alvino, *Caracterización físico-químico y bacteriológico en la determinación de la calidad del agua de consumo humano de la ciudad de Ninacaca en Abril – Julio del 2019*, 2019.
- [7] M. d. Ambiente, *Aprueban Estandares de Calidad Ambiental para Agua*, Lima: El Peruano, 2008.
- [8] L. Grapentine, C. Marvin y S. Painter, «Initial Development and Evaluation of a Sediment Quality Index for the Great Lakes Region,» *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, vol. 8, nº 7, pp. 1549-1567, 2002.
- [9] Autoridad Nacional del Agua, «Repositorio Digital de Recursos Hídricos,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.ana.gob.pe/>. [Último acceso: 26 junio 2023].
- [10] W. Lavado-Casimiro y J. C. Espinoza, «Impactos de El Niño y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007),» *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 29, nº 2, pp. 171-182, 2014.

LOS AUTORES



Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel, Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales. Con experiencia laboral en el sector privado de 9 años y 2 años en el sector público. Docente de la escuela de Ingeniería Ambiental en la Universidad nacional José María Arguedas y Fiscalizador en el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.



Jonathan Alfonso Chau Lam, Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, Auditor Líder en distintos sistemas de gestión para Organismos de Certificación de Sistemas de Gestión, Auditor reconocido por el MTPE, con experiencia laboral en distintos sectores como: construcción, minería, industrias, alimentos, turismo, entre otros. Docente en Magna Institución de Especialización Profesional S.A.C. y Consultor independiente.