


Evaluation of the ecological and environmental quality of the water from the Jequetepeque river in the San Juan - Chilete section of the department of Cajamarca.

Yoselin del Rosario Pastor Ortiz Ing¹, and Benyahamin Salazar-Chavez Ing², Marco Sánchez-Peña, Mg. Blgo¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. yoselin.pastor@upn.edu.pe, benyahamin@hotmail.com, marco.sanchez@upn.edu.pe, ²Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU), Cajamarca, Perú

Resumen—La presente investigación se centró en la realización del análisis de la calidad del agua del río Jequetepeque en el departamento de Cajamarca- Perú. El análisis contempló la evaluación de la calidad ecológica y ambiental del agua del río Jequetepeque en el tramo de San Juan - Chilete, donde se analizaron parámetros fisicoquímicos (nitratos, nitritos, fosfatos, pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, (DBO₅), fluoruros, cloruros, bromuros, sulfatos, sólidos disueltos totales y turbidez), microbiológicos (coliformes termotolerantes y totales), y el inventario de macroinvertebrados bentónicos para la aplicación de índices bióticos de calidad ambiental (BMWP/Col, BMWP/Bol y EPT) y el índice de calidad ambiental de la NSF de estados Unidos

Para la investigación se realizaron 4 muestreos, 2 en tiempo de lluvia y 2 en tiempo de estiaje, en el cual se recolectó un total de 28 muestras, en las cuales se aplicó el método de colecta de identificación y análisis de comunidades biológica del Ministerio del Ambiente para la colecta de macroinvertebrados bentónico y para la toma de muestra de agua se aplicó el protocolos y técnicas de muestreo del Laboratorio Regional del Agua, laboratorio de ensayos acreditado por el organismo peruano de acreditación (INACAL).

Adicionalmente, se analizó la relación que tienen estos parámetros con los resultados de los índices bióticos. El agua se caracterizó por tener un pH alcalino y los parámetros mostraron una tendencia de aumento de aguas arriba a aguas abajo. El pH y los coliformes termotolerantes no cumplieron con la normativa nacional peruana de calidad de agua estándares de calidad ambiental de agua DS 004-2017 del Ministerio del Ambiente peruano, en algunos puntos de muestreo (en su mayoría en la zona de Chilete), en ambas épocas (estiaje y lluvia). Se encontraron 3 clases, 11 órdenes y 30 familias de macroinvertebrados bentónicos. Los resultados finales en promedio de los índices y el ICA en época de estiaje y época de Lluvia respectivamente son BMWP/Col- 67 y 51; BMWP/Bol 61 y 47; EPT 4 y 4; y del ICA de la NSF 59 y 60. Se concluyó que, el agua se encuentra moderadamente contaminada, y existe una concordancia y relación entre los resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, índices bióticos y el ICA de la NSF. La principal fuente de contaminación en la zona es por contaminantes orgánico producto de las aguas residuales y residuos sólidos.

Palabras claves: parámetros fisicoquímicos y biológicos, macroinvertebrados, estado ecológico y ambiental, índices bióticos, índices ECA y ICA.

Abstract—The present research was focused on the analysis of the water quality of the Jequetepeque river in the department of Cajamarca, Peru. The analysis included the evaluation of the ecological and environmental water quality of the Jequetepeque river in the San Juan - Chilete section, where physicochemical parameters

were analyzed (nitrates, nitrites, phosphates, pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen (BOD₅), fluorides, chlorides, bromides, sulfates, total dissolved solids and turbidity), microbiological parameters (nitrates, nitrites, phosphates, pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen (BOD₅), fluorides, chlorides, bromides, sulfates, total dissolved solids and turbidity), microbiological (thermotolerant and total coliforms), and the inventory of benthic macroinvertebrates for the application of biotic environmental quality indexes (BMWP/Col, BMWP/Bol and EPT) and the United States NSF environmental quality index.

For the investigation, 4 samplings were carried out, 2 in time rain and 2 in dry season, in which a total of 28 samples were collected, in which the collection method of identification and analysis of biological communities of the Ministry of Environment for the collection of benthic macroinvertebrates and for the water sampling, the protocols and testing techniques of the Regional Water Laboratory, a testing laboratory accredited by the Peruvian accreditation body (INACAL), were applied.

Additionally, the relationship between these parameters and the results of the biotic indices was analyzed. The water was characterized by an alkaline pH and the parameters showed an increasing trend from upstream to downstream. The pH and thermotolerant coliforms did not comply with the Peruvian national water quality standards environmental water quality standards Ds 004-2017 of the Peruvian Ministry of the Environment, in some sampling points (mostly in the Chilete area), in both seasons (low water and rain). Three classes, 11 orders and 30 families of benthic macroinvertebrates were found. The final average results of the indexes and AQI in low water and rainy season respectively are BMWP/Col- 67 and 51; BMWP/Bol 61 and 47; EPT 4 and 4; and NSF AQI 59 and 60. It was concluded that the water is moderately contaminated, and there is a concordance and relationship between the results of the physicochemical and microbiological parameters, biotic indexes and the NSF AQI. The main source of contamination in the area is organic pollutants from wastewater and solid waste.

Keywords: physicochemical and biological parameters, macroinvertebrates, ecological and environmental status, biotic indices, ACE and ICA indices.

I. INTRODUCCIÓN

La información proporcionada se basa en trabajo de tesis titulado EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA Y AMBIENTAL DEL AGUA DEL RÍO JEQUETEPEQUE EN EL TRAMO DE SAN JUAN - CHILETE DEL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA EN EL AÑO 2017-2018. [1] Esta es la primera difusión del trabajo realizado en un medio de divulgación indexado.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

La contaminación del agua de los ríos a nivel mundial se da desde hace muchos años atrás, pero ahora en la actualidad a llegada a tal grado, que la salud de la fauna, flora y de los mismos seres humanos que viven aledaños a esta se puede ver afectada. Por eso de vital importancia el saber el estado ecológico del agua de los ríos para poder dar una solución, en la cual se equilibre la convivencia entre el ser humano y este recurso. [2]

En este trabajo se realizó la evaluación ecológica y ambiental del río Jequetepeque, el cual pertenece al departamento de Cajamarca en el tramo de San Juan a Chilite; el cual tiene un valioso ecosistema y es de gran importancia para los pobladores de la zona, ya que es fuente abastecedora de agua. Este río está afectada por factores antrópicos, como son la contaminación por residuos sólidos y aguas residuales, la cual puede traer como consecuente pérdida de biodiversidad y otras consecuencias que afectan directa e indirectamente a la población. [3] Una evaluación ecológica de la calidad del agua va más allá de lo puramente fisicoquímico, dando paso a una idea más global que integra todos los componentes del ecosistema acuático, tanto bióticos como abióticos en el seguimiento de la calidad de las aguas superficiales. En esta investigación se usó índices bióticos de calidad ambiental EPT, BMWP/Bol, BMWP/Col, además se evaluó concentraciones de coliformes termotolerantes y totales, nitratos, nitritos, fosfatos, pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fluoruros, cloruros, bromuros, sulfatos, sólidos disueltos totales; con los ECA Nacionales del DS 004-2017 MINAM y el ICA de la NSF.

Área de estudio:

La cuenca del río Jequetepeque, se clasifica según la normativa peruana como aguas de uso primario, poblacional y productivo. Está ubicada en la costa Norte del Perú, entre los paralelos $7^{\circ} 6'$ y $7^{\circ} 30'$ de Latitud Sur y los meridianos $78^{\circ} 30'$ y $79^{\circ} 40'$ Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Tal ubicación corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes y tiene un área total de 498.200 hectáreas, abarcando un total de 6 provincias y 30 distritos. El área total de la cuenca es de 4.377 km^2 . [4]

El río Jequetepeque tiene una longitud de 161.50 km y la dirección de su recorrido es de Este a Oeste correspondiente a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico. Los niveles altitudinales varían entre los 0 y 4.188 m.s.n.m, con rangos de precipitación anual de 0 a 1.100 mm. [4]

El río Jequetepeque en su recorrido recibe el aporte de más de 30 ríos secundarios y de varias quebradas menores, generando caudales entre $230.23 m^3 /seg$ (época de lluvia) y $0.168 m^3 /seg$ (época de estiaje). [5]

En este proyecto se recolectaron las muestras de agua, de la Cuenca Jequetepeque que pasan por los distritos de San Juan que se encuentra geográficamente en la zona 17M, con coordenadas que se muestran en la tabla 1 [4], Choropampa, a una altura de 1.682 m.s.n.m. [4], Magdalena, a una altura de

1.301 m.s.n.m. [4], y Chilite Se encuentra geográficamente en la zona 17M, a una altura de 850 m.s.n.m. [4].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Procedimientos de evaluación aplicados

Se aplicaron análisis fisicoquímicos (coliformes termotolerantes y totales, nitratos, nitritos, fosfatos, pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fluoruros, cloruros, bromuros, sulfatos, sólidos disueltos totales, turbidez) y biológicos, se utilizó los protocolos y técnicas de muestreo del Laboratorio Regional del Agua, laboratorio de ensayos acreditado por el organismo peruano de acreditación (INACAL), basados en el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de Agua (APHA. Además, se compararon con los ECA Nacionales y ICA de la NSF y se aplicó el Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: bentos (macroinvertebrados) del MINAM. Para su evaluación se aplicará los índices bióticos de calidad ambiental EPT, BMWP/Bol, BMWP/ Col para la evolución de la calidad ecológica y Ambiental.

Todos los análisis estadísticos de regresión lineal se hicieron con ayuda del programa estadístico IBM SPSS, su nombre originario correspondía al acrónimo de Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

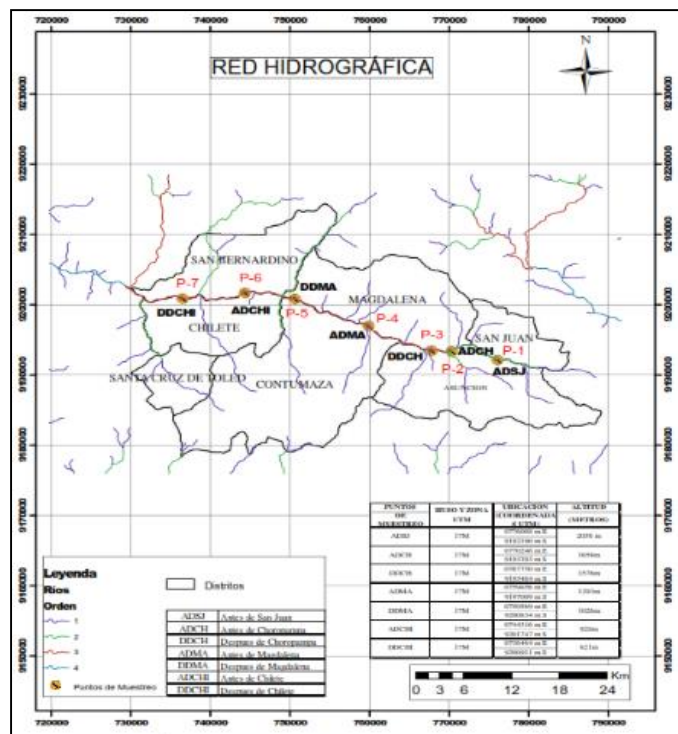


Figura 1: Ubicación de los puntos de muestreo

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO EN EL SISTEMA WGS 84

Código de la estación	Coordenadas UTM	Localidad
R- ADSJ	Este: 776008 Norte: 9192190 Altura: 2056 m.s.n.m	San Juan
R- ADCH	Este: 770246 Norte: 9193393 Altura: 1656 m.s.n.m	San Juan-Choropampa
R- DDCH	Este: 767750 Norte: 9193464 Altura: 2899 m.s.n.m	Choropampa
R- ADMA	Este: 759856 Norte: 9197009 Altura: 1293m.s.n.m	Magdalena
R- DDMA	Este: 750569 Norte: 9200834 Altura: 1026 m.s.n.m	Magdalena
R- ADCHI	Este: 744316 Norte: 9201747 Altura: 928 m.s.n.m	Chilite
R- DDCHI	Este: 744316 Norte: 9201747 Altura: 928 m.s.n.m	Chilite

TABLA 2. TODOS LOS PARÁMETROS ANALISADOS Y CARACTERÍSTICAS.

Parámetros fisicoquímicos	Parámetros microbiológicos	Indicadores biológicos	Frecuencia
DBO ₅ , oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros, fluoruros, bromuro, fosfatos sólidos disueltos totales, conductividad, temperatura, turbidez, pH	Coliformes termotolerantes. Coliformes totales	Macroinvertebrados bentónicos. Que son de orden coleoptera, díptera, hemíptera, megaloptera, trichoptera, plecoptera, ephemeroptera, odonata, gasterópoda, haplotaxida	Cada muestreo será mensual, se realizarán 4: dos en épocas de estiaje y dos en épocas de lluvias.
Para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se utilizarán los protocolos y técnicas de muestreo del Laboratorio Regional del Agua-Cajamarca. Además, se compararán ECA Nacionales y ICA de la NSF.		Se utilizará los Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: bentos (macroinvertebrados) del MINAM. Para su evaluación se aplicará los índices bióticos de calidad ambiental EPT, BMWP/ Bol, BMWP/ Col. Estos Resultados están corroborados por el Mg. Blgo. Marco Sánchez Peña	

B. Toma de muestras par análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Se estableció la ubicación de los puntos de monitoreo en aguas arriba y aguas debajo de los distritos ya mencionados, están georeferenciados y descritas las diferentes características de su entorno, al igual que se tomaron vistas fotográficas de cada uno de los puntos. Para la toma de muestras para análisis de parámetros fisicoquímicos se usaron frascos de plásticos de boca ancha, limpios y esterilizados, el volumen requerido dependerá del parámetro que se analizó, se tuvieron que enjuagar los frascos con el agua antes de recolectar la muestra con el propósito de eliminar posibles sustancias, se agito y desecho el agua de lavado corriente abajo, se realizó la toma de muestras directamente del cuerpo de agua y se tuvo en cuenta que las muestras se toman contra corriente y colocando el frasco con un ángulo apropiado para el ingreso de agua; en el parámetro de DBO₅, se llenó la totalidad del frasco evitando burbujas de aire; considerando las instrucciones generales de Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se rotularon los frascos y cubrimos la etiqueta con cinta adhesiva transparente y las muestras fueron colocadas en cooler con refrigerante. [6]

Para los parámetros microbiológicos, coliformes totales y termotolerantes se uso frascos de vidrio esterilizados, preservadas, a 4°C y se llevó a laboratorio antes de las 24 horas, siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua. [6]

C. Análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos con los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales (ECAS) y Índice de calidad del agua (ICA) de la NSF

Las muestras se analizaron en 4 campañas, fueron 2 en tiempo de estiaje y 2 en tiempo de lluvia, cada una con 7 muestras llegando a un total de 28 muestras, los resultados fisicoquímicos y biológicos para cada una de las muestras analizadas se trabajó y se hizo el análisis estadístico de regresión lineal con la ayuda del programa estadístico IBM SPSS, su nombre originario correspondía al acrónimo de Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Los resultados se compararon con la norma DS 004-2017-MINAM: Estándares De Calidad Ambiental Nacional (ECAS) específicamente con la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), estos fijan valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente que tiene propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental. El pH y los coliformes termotolerantes superaron la normativa mencionada.

Con el programa estadístico IBM SPSS, se analizó cada uno de los parámetros y biológicos antes mencionados en la Tabla 2.[7] Para el Índice de calidad del agua (ICA) de la NSF, fue establecido por medio del uso de la técnica de investigación DelpHi de la “Rand Corporation’s”, tiene la característica de ser un índice multiparámetro y se basa en tres estudios; El NSF usó una suma lineal ponderada. El resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente.

[9] Se sacó un promedio y relación con la tabla la tabla de datos Rango de calidad de agua según ICA-NSF, cual permitió correlacionar los resultados obtenidos.

D. Macroinvertebrados bentónicos

Para la colecta de macroinvertebrados bentónicos, se aplicó el método de colecta de identificación y análisis de comunidades biológica del Ministerio del Ambiente.[10] En cual consiste en utilizar una red tipo D-net con un ojo de malla de 500 µm aproximadamente base es de 30cm y muestreando 1m de largo; su forma triangular hizo que se adapte mejor a las diferentes orillas. El material que se recolecto se lavó para retirar el exceso de arena en las bandejas luego se llevó a unos recipientes de plástico correctamente rotulados y se colocó alcohol al 70% para ser examinado posteriormente en el laboratorio, estos resultados fueron corroborados por el Mg. Blgo. Marco Sánchez Peña. [1]

E. Análisis índices bióticos de calidad ambiental BMWP/Col.

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) es un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores, el cual se aplicó en esta investigación, se necesita llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Y la suma de los puntajes de todas las familias nos indica la calidad de agua: <15 aguas fuertemente contaminadas, entre 16-35 aguas muy contaminadas, 36-60 moderadamente contaminadas, 61-100 ligeramente contaminadas, 100-150 limpias a muy limpias. [11]

F. Análisis índices bióticos de calidad ambiental BMWP/Bol.

Este es un método que se aplicó a los resultados obtenidos de la identificación de macroinvertebrados a nivel de familia. El puntaje asignado va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia a la contaminación, se realiza la sumatoria y el total es el puntaje obtenido en este índice, se compara con la tabla de la clase de calidad de agua, significado y color según el índice BMWP/Bol, que van desde aguas muy contaminadas a limpias. Se diferencia de la BMWP/ Col porque la puntuacion para unas clases y ordenes es diferente.[12]

G. Análisis índice biótico de calidad ambiental EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera).

En este índice se evaluaron de las diferentes muestras de macroinvertebrados las tres órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que son indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Se obtiene contando el número de taxa de estos órdenes presentes en la muestra. El valor que se obtuvo se compara en un cuadro de calidad de agua Tabla Clasificación de la Calidad del Agua según el EPT para saber es estado del agua según el índice.[13]

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Los resultados recolectados de los diferentes muestreos, de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados y comparados con los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales (ECAS) categoría 3 y Índice de calidad del agua (ICA) de la NSF de las 4 campañas son los siguientes:

TABLA 3

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE CAMPAÑA N°1- ÉPOCA DE ESTIAJE

ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°1									
Código de la muestra		ADSI	ADCH	DDCH	ADMA	DDMA	ADCHI	DDCHI	
Matriz de Agua		NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción		Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra		Antes de San Juan	Antes de Choropampa	Después de Choropampa	Antes de Magdalena	Después de Magdalena	Antes de Chilete	Después de Chilete	
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Fluoruro (F^{-})	mg/L	0,038	<LCM	0,115	0,119	0,099	0,107	0,161	0,147
Cloruro (Cl^{-})	mg/L	0,065	0,99	1,877	2,912	3,301	4,902	6,651	9,294
Nitrato (NO_3^{-})	mg/L	0,05	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,079
Bromuro (Br^{-})	mg/L	0,035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO_3^{-})	mg/L	0,064	<LCM	0,334	0,375	0,099	0,389	1,427	3,189
Sulfato (SO_4^{2-})	mg/L	0,07	15,49	24,59	33,92	48,06	66,03	76,7	84,48
Fosfato (PO_4^{2-})	mg/L	0,032	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Turbidez	NTU	0,09	2,19	8,02	41	7,45	11,4	3,16	5,04
pH a 25°C	pH	NA	8,42	8,35	8,26	8,32	8,3	8,33	8,45
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	319	332	339	369	399	483	505,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2,5	245,5	239,5	273	245	269	272	286
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	2,6	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Oxígeno Disuelto (O_2)	mg/L	NA	6,93	7,11	7,38	6,99	7,04	6,85	6,86
ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS									
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Coliformes Totales	NMP/100mL	1,8	350	2200	5400	700	350	9200	16000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1,8	130	540	110	260	240	94	3500

TABLA 4

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°2 - ÉPOCA DE ESTIAJE

ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°2									
Código de la muestra		ADSI	ADCH	DDCH	ADMA	DDMA	ADCHI	DDCHI	
Matriz de Agua		NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción		Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra		Antes de San Juan	Antes de Choropampa	Después de Choropampa	Antes de Magdalena	Después de Magdalena	Antes de Chilete	Después de Chilete	
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Fluoruro (F^{-})	mg/L	0,038	0,113	0,227	0,235	0,18	0,179	0,147	0,157
Cloruro (Cl^{-})	mg/L	0,065	3,056	4,686	5,159	9,029	13,26	15,16	17,35
Nitrato (NO_3^{-})	mg/L	0,050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,109
Bromuro (Br^{-})	mg/L	0,035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO_3^{-})	mg/L	0,064	<LCM	1,282	1,201	0,688	2,214	4,988	4,236
Sulfato (SO_4^{2-})	mg/L	0,070	25,17	49,88	62,36	95,97	117,3	113,6	130,2
Fosfato (PO_4^{2-})	mg/L	0,032	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Turbidez	NTU	0,090	1,67	2,22	2,72	1,77	1,25	2,22	12
pH a 25°C	pH	NA	8,54	8,44	8,51	8,51	8,4	7,9	8,09
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	349	415	442	518	559	665	612,5
ENSAYOS QUÍMICOS									
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Coliformes Totales	NMP/100mL	1,8	170	350	1600	170	130	540	350
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1,8	79	130	94	58	34	79	170

TABLA 5

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°1 - ÉPOCA DE LLUVIA

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°3									
Código de la muestra		ADSI	ADCH	DDCH	ADMA	DDMA	ADCHI	DDCHI	
Matriz de Agua		NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	
Descripción		Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	
Localización de la Muestra		Antes de San Juan	Antes de Choropampa	Después de Choropampa	Antes de Magdalena	Después de Magdalena	Antes de Chilete	Después de Chilete	
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	0.072	0.093	0.074	0.065	0.084	0.079	0.091
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	0.526	0.809	0.956	0.908	1.31	1.449	1.794
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	0.606	0.647	0.672	0.834	0.856	0.596
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	10.76	12.18	14.73	15.95	21.99	22.93	24.18
Fosfato (PO ₄ ²⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Turbidez	NTU	0.090	8.6	18.2	21.8	71.6	58.9	63.6	47.1
pH a 25°C	pH	NA	8.23	8.44	8.43	8.33	8.35	8.31	8.17
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	316.5	324	309	243	293	297.5	301.5
ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS									
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	9200	5400	5400	540	5400	5400	92000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	120	220	130	240	1700	220	2200

TABLA 6

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°2 - ÉPOCA DE LLUVIA

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DE LA CAMPAÑA N°4									
Código de la muestra		ADSI	ADCH	DDCH	ADMA	DDMA	ADCHI	DDCHI	
Matriz de Agua		NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	
Descripción		Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	
Localización de la Muestra		Antes de San Juan	Antes de Choropampa	Después de Choropampa	Antes de Magdalena	Después de Magdalena	Antes de Chilete	Después de Chilete	
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.04	0.082	0.109	0.099	0.102	0.117	0.107	0.117
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.07	0.938	0.997	1.284	1.266	1.846	2.01	2.759
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.04	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.06	0.602	0.725	0.718	0.341	0.338	0.36	0.697
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	17.06	15.57	19.35	22.03	30.28	32.65	35.44
Fosfato (PO ₄ ²⁻)	mg/L	0.03	0.140	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.091	0.162
Turbidez	NTU	0.090	3.20	3.50	6.65	10.37	4.54	4.77	4.13
pH a 25°C	pH	NA	8.47	8.42	8.36	8.49	8.51	8.54	8.52
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	298.8	308.5	296.9	262.4	284.7	293.6	301.0
Sólidos Disueltos Total	mg/L	2.5	190.0	177.0	185.0	159.0	175.5	173.5	195.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2.6	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Oxígeno Disuelto (O ₂)	mg/L	NA	6.98	6.78	7.04	7.4	7.41	7.18	7.12
ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS									
Parámetro	Unidad	LCM	RESULTADOS						
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	920	540	540	540	9200	3500	16000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	170	110	33	140	350	110	3500

LCM: Límite de cuantificación del método, ECA: Estándar de calidad ambiental.

- Los Fluoruros (F⁻), Cloruros (Cl⁻), Nitritos (NO₂⁻), Bromuros (Br⁻), Nitratos (NO₃⁻) y Nitritos (NO₂⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Fosfato (PO₄²⁻), (DBO₅) y Oxígeno disuelto; estos parámetros van en aumento desde la primera estación de muestreo hasta la última, pero los valores no pasaron el estándar de calidad ambiental, no representan un impacto

ambiental significativo, pero si se evidencia que la contaminación aumenta en cada punto de muestreo, posiblemente por los contaminantes que recibe el río por cada centro poblado, aguas residuales y residuos sólidos. Por otro lado, para el caso de turbidez no hay un valor establecido por los estándares de calidad ambiental nacionales para esta categoría de aguas, observar que la mayoría de los valores de turbidez menores a 10 NTU. El valor más bajo registrado es de 1.25 NTU.

- pH: los resultados de pH oscilan entre 7.9 y 8.54, los cuales, en su gran mayoría están dentro de los valores establecidos por el estándar de calidad ambiental nacional (6,5 a 8,5), Los puntos de muestreo que no cumplieron con el ECA D2 (riego de vegetales, 6.5 a 8.4) son: en la campaña N°1, los puntos ADSJ y DDCHI; en la campaña N°2, los puntos ADSJ, ADCH, DDCH, ADMA; en la campaña N°3, los puntos, ADCH, DDCH; y en el muestreo N°4, los puntos ADSJ, ADCH, ADMA, DDMA, ADCHI, DDCHI. En este caso la diferencia entre los resultados y el ECA nacional, ya son un poco mayores, desde 0.02 a 0.14. Aun así, podemos concluir que el impacto es mínimo.
- Conductividad: En los resultados de conductividad podemos observar que los valores oscilan entre 243 uS/cm y 665 uS/cm, además se nota que van aumentando de aguas arriba (punto de muestreo ADSJ) hacia aguas abajo (punto de muestreo DDCHI), en las campañas N°1 y N°2.
- Sólidos disueltos totales: En este caso no hay un valor puesto por el estándar de calidad ambiental nacional (ECA) para sólidos disueltos totales, que los valores de sólidos totales disueltos oscilan entre 159 (mg/L) y 286 (mg/L) y concuerdan con los resultados de la conductividad, ya que, a mayor conductividad, mayores sólidos disueltos y viceversa.
- Coliformes totales: En este caso no hay un valor puesto por el estándar de calidad ambiental nacional (ECA) para coliformes totales.
- Coliformes termotolerantes: Al observar que los valores de coliformes termotolerantes oscilan entre 33 NPL/100mL y 3500 NPL/100mL. Además, claramente se ve que en el último punto de muestreo (DDCHI) se encuentran los valores más altos.

B. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (NSF).

En índice de calidad del agua de la NSF se realizó en dos campañas, una en la época de estiaje (campaña N°1) y una en la época de lluvia (campaña N°4). Se realizó en cada punto de muestreo de estas campañas, todos los resultados son de un rango de calidad del agua regular ya que están entre 51 a 70. En ambas épocas los valores obtenidos del ICA de la NSF son muy similares, evidenciando que si existe una contaminación moderada en la zona de estudio.

TABLA 7

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (NSF).

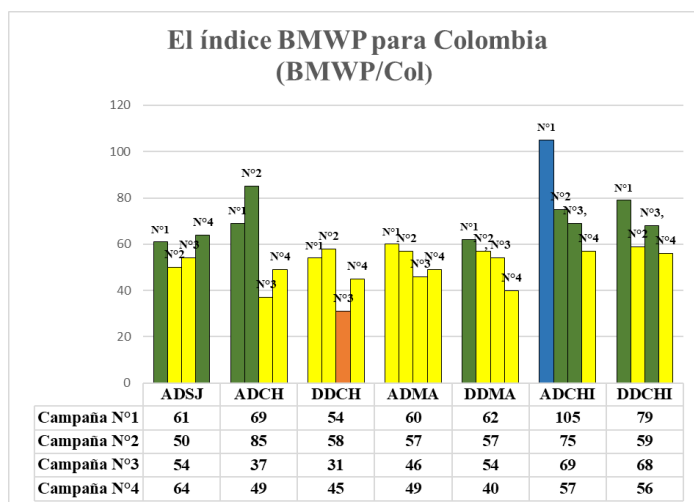
Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF)		
Puntos/Estaciones/Época	Campaña N°1/ Estiaje	Campaña N°4/ Lluvia
ADSJ	61	60
ADCH	58	61
DDCH	58	63
ADMA	59	60
DDMA	59	59
ADCHI	61	61
DDCHI	54	56

C. RESULTADO DEL ÍNDICE BMWP PARA COLOMBIA (BMWP/Col).

Podemos observar que, en los resultados del índice BMWP para Colombia (BMWP/Col), de los 28 puntos de muestreo, 1 tiene una calidad crítica, 17 tienen una calidad dudosa, 9 tienen una calidad aceptable y 1 punto tiene calidad buena. Además, en la época de estiaje se presentan valores más altos (mejor calidad del agua) que, en la época de lluvia, podemos relacionar esto con el caudal. Concluimos que según el índice BMWP la calidad del agua es moderadamente contaminada, y los impactos son un poco significativos.

GRÁFICO 1

RESULTADO DEL ÍNDICE DEL ÍNDICE BMWP PARA COLOMBIA (BMWP/Col).



D. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y EL ÍNDICE DE BMWP/COL, EN TIEMPO DE LLUVIA Y ESTIAJE.

TABLA 8

ANÁLISIS DE SULFATOS, FLUORUROS, NITRATOS, CLORUROS, OXÍGENO DISUELTO, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, PH, CONDUCTIVIDAD Y TURBIDEZ CON EL ÍNDICE BMWP/COL A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN LINEAL EN TIEMPO DE ESTIAJE.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	.	.

a. Predictores: (Constante), Sulfato, Turbidez, Fluoruro, pH, OD, Sólidos Disueltos totales

TABLA 9.

ANÁLISIS DE SULFATOS, FLUORUROS, NITRATOS, CLORUROS, OXÍGENO DISUELTO, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, PH, CONDUCTIVIDAD Y TURBIDEZ CON EL ÍNDICE BMWP/COL A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN LINEAL EN TIEMPO DE LLUVIA.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	.	.

a. Predictores: (Constante), Sulfato, Sólidos Disueltos totales, pH, OD, Fluoruro, Conductividad

Como podemos ver en la tabla de datos 8 y 9 el valor de R, de es 1 lo que significa que la relación de los parámetros fisicoquímicos (sulfatos, fluoruros, nitratos, cloruros, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, pH, conductividad y turbidez) con el índice BMWP/Col es bastante alta y tienen relación con los resultados del índice.

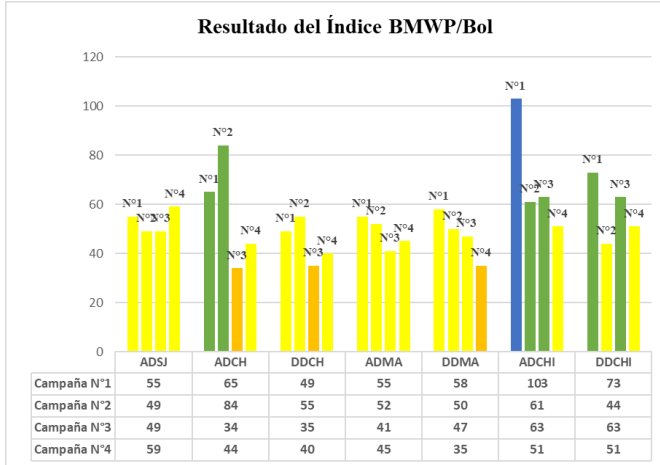
E. RESULTADO DEL ÍNDICE BMWP/BOL.

Observamos que en los resultados del índice BMWP/Bol, de los 28 puntos de muestreo, 3 son de calidad crítica, 18 son de calidad dudosa (aguas moderadamente contaminadas), 6 son de calidad aceptable y 1 de calidad buena. Podemos concluir que la calidad del agua según el índice BMWP/Bol es dudosa (aguas moderadamente contaminadas) y los impactos son un poco significativos; además los valores más altos se presentan en la época de estiaje y los valores que tienen una calidad crítica se registraron en la época de lluvia. En promedio las 7 estaciones presentaron una calidad de regular a buena, siendo la estación con peor calidad DDCH y la de mayor

calidad ADCHI, esto posiblemente por la contaminación que existe en cada estación por el vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos.

GRÁFICO 2

RESULTADO DEL ÍNDICE DEL ÍNDICE BMWP PARA COLOMBIA (BMWP/COL).



F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y EL ÍNDICE DE BMWP/BOL, EN TIEMPO DE LLUVIA Y ESTIAJE.

TABLA 10.

ANÁLISIS DE SULFATOS, FLUORUROS, NITRATOS, CLORUROS, OXÍGENO DISUELTO, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, PH, CONDUCTIVIDAD Y TURBIDEZ CON EL ÍNDICE BMWP/BOL A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN LINEAL EN TIEMPO DE ESTIAJE.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	.	.

a. Predictores: (Constante), Sulfato, Turbidez, Fluoruro, pH, Nitrito, Sólidos Disueltos totales

TABLA 11.

ANÁLISIS DE SULFATOS, FLUORUROS, NITRATOS, CLORUROS, OXÍGENO DISUELTO, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, PH, CONDUCTIVIDAD Y TURBIDEZ CON EL ÍNDICE BMWP/BOL A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN LINEAL EN TIEMPO DE LLUVIA

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	.	.

a. Predictores: (Constante), Sulfato, Sólidos Disueltos totales, pH, OD, Fluoruro, Conductividad

Como podemos ver en la tabla de datos 10 y 11, el valor de R es de 1 lo que significa que la relación de los parámetros

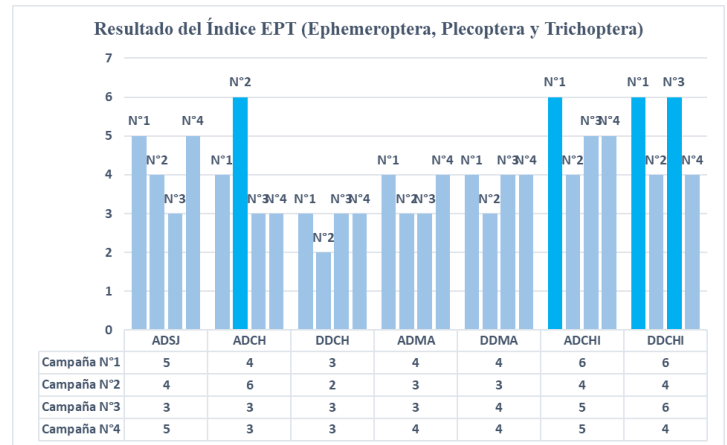
físicoquímicos (sulfatos, fluoruros, nitratos, cloruros, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, pH, conductividad y turbidez) con el índice BMWP/Bol es bastante alta y tienen relación con los resultados del índice.

G. RESULTADO DEL ÍNDICE EPT (EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA Y TRICHOPTERA

Según el resultado del índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), de los 28 puntos de muestreo, 24 son de calidad moderadamente impactada y 4 levemente impactada, podemos concluir que según este índice la calidad del agua es moderadamente impactada. Además, se ve que hay una pequeña diferencia entre la época de lluvia y la época de estiaje, siendo la época de estiaje la que tiene los valores más altos.

GRÁFICO 3

RESULTADOS DEL ÍNDICE EPT (EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA Y TRICHOPTERA).



H. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y EL ÍNDICE EPT, EN TIEMPO DE LLUVIA Y ESTIAJE.

TABLA 12.

ANÁLISIS DE SULFATOS, FLUORUROS, NITRATOS, CLORUROS, OXÍGENO DISUELTO, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, PH, CONDUCTIVIDAD Y TURBIDEZ CON EL ÍNDICE EPT A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN LINEAL

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	.	.

a. Predictores: (Constante), Sulfato, Turbidez, Fluoruro, pH, Nitrito, Sólidos Disueltos totales

TABLA 13

ANÁLISIS DE SULFATOS, FLUORUROS, NITRATOS, CLORUROS, OXÍGENO DISUELTO, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, PH, CONDUCTIVIDAD Y TURBIDEZ CON EL ÍNDICE EPT A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN LÍNEA EN TIEMPO DE LLUVIA

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000		

a. Predictores: (Constante), Sulfato, Sólidos Disueltos totales, pH, OD, Fluoruro, Conductividad

Como podemos ver en la tabla de datos 12 y 13 el valor de R es de 1 lo que significa que la relación de los parámetros fisicoquímicos (sulfatos, fluoruros, nitratos, cloruros, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, pH, conductividad y turbidez) con el índice EPT es bastante alta y tienen relación con los resultados del índice.

I. RESULTADOS PROMEDIO DE LOS ÍNDICES BIÓTICOS Y EL ICA DE LA NSF EN LAS DOS ÉPOCAS

Podemos observar que existe concordancia y relación entre los índices bióticos (BMWP/Col, BMWP/Bol y el EPT) y el ICA de la NSF; lo que nos indica que la calidad del agua es regular y se encuentran moderadamente contaminada.

TABLA 14

RESULTADOS PROMEDIO DE LOS ÍNDICES BIÓTICOS Y EL ICA DE LA NSF EN LAS DOS ÉPOCAS

Resultados promedio de los índices bióticos y el ICA de la NSF en las dos épocas							
Índice BMWP/Col		Índice BMWP/Bol		Índice EPT		ICA de la NSF	
Época de estiaje	Época de lluvia	Época de estiaje	Época de lluvia	Época de estiaje	Época de lluvia	Época de estiaje	Época de lluvia
67	51	61	47	4	4	59	60
Aguas ligeramente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas ligeramente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas moderadamente impactada	Aguas moderadamente impactada	Calidad regular	Calidad regular

Al evaluar la calidad ecológica y ambiental a través de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, índices bióticos y el índice de la calidad del agua de la NSF se concluye que, en las aguas del río Jequetepeque en el tramo de San Juan a Chilete existe una contaminación moderada. Esto significa que, la población aledaña al río Jequetepeque si tiene impactos negativos sobre las aguas de este río y va aumentando gradualmente de aguas arriba a aguas abajo, siendo los dos últimos puntos de muestreo (zona de Chilete) los más contaminados, las fuentes de contaminación son principalmente por aguas residuales y residuos sólidos.

Se realizó con éxito la caracterización de macroinvertebrados bentónicos, resaltando que en la época de estiaje se encontraron en mayor abundancia, que, en la época de lluvia, esto se debe a que en la época de lluvia había mayor caudal y su recolección fue un poco más complicada. Se encontraron 3 clases, 11 órdenes y 30 familias, siendo las órdenes más representativas Trichoptera, Coleoptera, Diptera y Ephemeroptera.

Los índices bióticos de calidad ambiental se aplicaron con éxito y sus resultados promedio son: del índice EPT en ambas épocas (estiaje y lluvia) es 4, lo cual nos indica que la calidad del agua está moderadamente impactada; del índice BMWP/Bol sus resultados nos indica que en el agua en la época de estiaje se encuentra ligeramente contaminada (61) y en la época de lluvia moderadamente contaminada (47); en el índice BMWP/Col en la época de estiaje ligeramente contaminadas (67) y en la época de lluvia moderadamente contaminadas (51). En conclusión, los índices bióticos de calidad ambiental (EPT, BMWP/Bol y BMWP/Col) nos indican que la calidad del agua del río Jequetepeque, en el tramo de San Juan - Chilete se encuentran moderadamente impactadas.

A demás se determinó que los parámetros fisicoquímicos analizados, la mayoría se encontraron en pocas cantidades y cumplieron con el ECA nacional. El pH y los coliformes termotolerantes no cumplieron con esta normativa (ECA), en algunos puntos de muestreo (en su mayoría en la zona de Chilete), en ambas épocas (estiaje y lluvia). Además, al calcular el ICA de la NSF podemos concluir que la calidad del agua del río Jequetepeque en el tramo de San Juan - Chilete es de calidad regular y esto significa que, si existe contaminación en las aguas del río en este tramo. Asimismo, al relacionar los parámetros fisicoquímicos con los índices bióticos (EPT, BMWP/Bol y BMWP/Col) a través de una regresión lineal, se concluyó que los parámetros que influyen directamente son: sulfato, fluoruro, nitratos, turbidez pH, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y conductividad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la Universidad Privada del Norte (UPN), al Laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional de Cajamarca y al Laboratorio Regional de Aguas- Cajamarca por las facilidades prestadas para el desarrollo del trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Salazar Chávez, B. & Pastor Ortíz, Y. (2019). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA Y AMBIENTAL DEL AGUA DEL RÍO JEQUETEPEQUE EN EL TRAMO DE SAN JUAN - CHILETE DEL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA EN EL AÑO 2017-2018. UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO.
- [2] Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Naciones Unidas*. Obtenido de ONU: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- [3] Padilla, A. M. G. (2016). Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú. *REBIOL*, 35(2), 5-18.
- [4] Autoridad Nacional del Agua. (Diciembre de 2015). Autoridad Nacional del Agua. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de Sitio web de la Autoridad Nacional del Agua: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/erh-jequetepeque_2015_subterraneeas.pdf

- [5] Miñope, C. V. (2021). Percepción de la problemática de la cuenca del río Jequetepeque. *Xilema*, 31(1), 57-74.
- [6] INEI. (2007). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- [7] DIGESA MINSA. (11 de septiembre de 2007). Protocolo Monitoreo Calidad RecursosHidricos Superficiales. Obtenido de Protocolo Monitoreo Calidad RecursosHidricos Superficiales: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)
- [8] MINAM. (2008). Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Obtenido de Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua: http://www.ana.gob.pe/media/664662/ds_002_2008_minam.pdf
- [9] Laurente, J. A. (15 de abril de 2015). UNAS.COM. Obtenido de https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PPP2015.pdf
- [10] MINAM. (2014). Métodos de colecta, identificación y Analisis de la comunidad Biologica . Obtenido de Métodos de colecta, identificación y Analisis de la comunidad Biologica : http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/1943/OBINAM_DGDB_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [11] Pérez, G. R. (6 de Abril de 2016). Scielo. Recuperado el 22 de Julio de 2017, de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf>M. King, B. Zhu, and S. Tang, "Optimal path planning," *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [12] Zamora, J. A., & Ortuño, C. (2012). Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática Mediante el Índice BMWP/Bol. Bolivia: Personal de la Unidad de Gestión Ambiental y Calidad del Agua – VRHR y del ULRA de la UMSS
- [13] Marcelo, S., & Pérez, L. (Diciembre de 2007). *bdigital.zamorano*. Obtenido de *bdigital.zamorano* web site : <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/524/1/IAD-2007-T001.pdf>