

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Determinación de la calidad de agua de las cuencas de los ríos Chillón,
Rímac y Lurín mediante indicadores químicos y biológicos**

MIANGGELLA LIZETH PACHERRES PINTO

Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Biología

Director de Tesis: Mg. Juan Carlos Ramos Gorbeña

Lima. Perú

2019

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Determinación de la calidad de agua de las cuencas de los ríos Chillón,
Rímac y Lurín mediante indicadores químicos y biológicos**

MIANGGELLA LIZETH PACHERRES PINTO

Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Biología

Director de Tesis: Mg. Juan Carlos Ramos Gorbeña

Lima. Perú

2019

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo incondicional, por comprenderme y motivarme a siempre seguir adelante.

A dos seres muy especiales a mi abuela Angela por sus consejos y chimi por su compañía sé que hoy en día no pueden estar a mi lado, pero sé que desde el cielo me están cuidando y guiando en mi camino.

A mi director de tesis Mg. Juan Carlos Ramos Gorbeña, por su apoyo y motivación durante todo el desarrollo de la tesis.

A mis hermanos, mi primo y mi tía Janeth por apoyarme, molestarme y darme aliento a seguir en este importante paso de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre por motivarme a realizar mi tesis, a mi padre que me llevó a recolectar algunas de mis muestras, y a mi tía que me ayudo cuando me faltaba alguna cosa para la realización mi tesis.

A mis amigas Raisa y Colleen que me ayudaron incondicionalmente mientras procesaba mis muestras en el laboratorio y a Nancy quien también me ayudo en el muestreo y se convirtió en una muy buena amiga.

A mi director de tesis Mg. Juan Carlos Ramos Gorbeña, por su apoyo, consejos, guía y dedicación que da a todos sus tesisas.

ÍNDICE

		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
	1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
	1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
	1.3 OBJETIVOS	6
	1.3.1 OBJETIVO GENERAL	6
	1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
2	MARCO TEÓRICO	7
	2.1 Estrés hídrico del agua	8
	2.2 Estándares de calidad del agua: Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua	10
	2.2.1 Agua potable	11
	2.2.2 Aguas residuales	11
	2.2.3 Indicadores biológicos	12
	2.3 Prueba de sensibilidad antimicrobiana	13
3	ANTECEDENTES	13
4	HIPÓTESIS	18
	4.1 HIPÓTESIS GENERAL	18
	4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	18
5	MATERIALES Y METODOS	19
	5.1 Lugar de ejecución	19
	5.2 Tipo y diseño de investigación	19
	5.3 Variables	19
	5.4 Operacionalización de las variables	20
	5.5 Muestreo	21

5.6	Procedimientos y análisis de datos	21
5.6.1	Procedimientos	21
5.6.2	Análisis de datos	35
5.7	Aspecto ético	35
6	RESULTADOS	36
6.1	Condiciones físico química de las muestras de agua de los Rímac, Lurín y Chillón	37
6.2	Parámetros microbiológicos	49
7	DISCUSIÓN	57
8	CONCLUSIONES	63
9	RECOMENDACIONES	64
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
11	ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla1. Operacionalización de las variables.	20
Tabla2. Estaciones de muestreo.	27
Tabla3. Georeferenciación de las estaciones de muestreo en los ríos Lurín, Rímac y Chillón.	36
Tabla4. Valores fisicoquímicos de temperatura y pH examinados in situ en las estaciones de muestreo para los ríos Rímac, Lurín y Chillón.	38
Tabla 5. Valores de los parámetros físicos de Conductividad y solidos disueltos totales examinados in situ en las estaciones de muestreo para los ríos Rímac, Lurín y Chillón.	39
Tabla 6. Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	41
Tabla 7. Límites de concentración establecidos por ECA para agua DS-004-2017 MINAM para los metales pesados evaluados.	45
Tabla8. Concentración de metales pesados y sus límites de detección para el laboratorio donde se analizó por el método ICP- MS.	46
Tabla 9. Número de cepas encontradas en los ríos Rímac, Chillón y Lurín.	51
Tabla 10. Detalle de los discos de antibiótico, zona de diámetro de inhibición según Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI).	52
Tabla 11. Susceptibilidad antimicrobiana en cepas de <i>Vibrio Cholerae</i> aisladas de las estaciones de muestreo ubicadas en los ríos Rímac, Lurín y Chillón.	52
Tabla 12. Concentración de Huevos de helminto.	55
Tabla 13. Concentración de larvas helmintos.	56
Tabla 14. Categoría de las estaciones de los ríos y las estaciones de muestreo según el DS N° 004-2017-MINAM.	57
Tabla 15. Parámetros mínimos recomendados para monitoreo de aguas superficiales.	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) para el río Chillón.	42
Gráfico 2. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) para el río Rímac.	43
Gráfico 3. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) para el río Lurín.	44
Gráfico 4. Concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo en el río Lurín.	47
Gráfico 5. Concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo en el río Chillón.	48
Gráfico 6. Concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo en el río Rímac.	49
Gráfico 7. Porcentaje de aislamientos de <i>V. cholerae</i> resistentes a antibióticos.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Rímac. Fuente: Autoridad Nacional el agua (ANA). (2010). Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín. Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac.	22
Figura 2. Mapa de la cuenca del río Chillón. Fuente: Ministerio de Salud. Dirección nacional de salud ambiental. Río Chillón – 2009.	23
Figura 3. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Lurín. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2016) Vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Rímac, Chillón, Lurín y parte alta del Mantaro.	24
Figura 4. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. Clasificados” aplicando el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N°004-2017-MINAM). Ministerio de Agricultura y Riego. Autoridad Nacional del Agua.	25
Figura 5. Clasificación por tramo de los ríos Chillón, Rímac y Lurín según los Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N°004-2017-MINAM).	26
Figura 6. Estaciones de muestreo del río Chillón.	28
Figura 7. Estaciones de muestreo del río Lurín.	29
Figura 8. Estaciones de muestreo del río Rímac.	30
Figura9. Toma de muestra de agua y medida <i>in situ</i> de los parámetros físicos.	73
Figura10. Estación de muestreo RL01 en el río Lurín, antes del Centro Poblado de Chontay.	73
Figura11. Estación de muestreo RL02 en el río Lurín, Puente Cieneguilla.	74
Figura12. Estación de muestreo RL03 en el río Lurín, 30 m antes del vertimiento de la PTAR Manchay.	74
Figura13. Estación de muestreo RL04 en el río Lurín, 100 m aguas abajo del Camal de equinos Casa Blanca.	75
Figura14. Estación de muestreo RL05 en el río Lurín, cruce con Panamericana Sur.	75
Figura15. Estación de muestreo RR01 en el río Rímac, en el Club de Sub Oficiales CERTSE FAP.	76
Figura16. Estación de muestreo RR02 en el río Rímac, 100 m aguas arriba del Centro de Esparcimiento Valle del Sol.	76

Figura17. Estación de muestreo RR03 en el río Rímac, puente peatonal Carapongo.	77
Figura18. Estación de muestreo RR04 en el río Rímac, 300 m aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable de Huachipa.	77
Figura19. Estación de muestreo RR05 en el río Rímac, aproximadamente 400 m aguas arriba de la vía expresa Faucett.	78
Figura20. Estación de muestreo RC01 en el río Chillón, a 10 km del puente Magdalena.	78
Figura21. Estación de muestreo RC02 en el río Chillón, antes de la planta SEDAPAL.	79
Figura22. Estación de muestreo RC03 en el río Chillón, Puente Chillón Panamericana Norte.	79
Figura23. Estación de muestreo RC04 en el río Chillón, 800 m aproximadamente aguas abajo del Puente Chillón.	80
Figura24. Estación de muestreo RC05 en el río Chillón, puente en Av. Chillón intersección con San Diego de Alcalá.	80
Figura25. Pre- enriquecimiento de las muestras con agua peptonada alcalina.	80
Figura26. Cambio de color en agar TCBS para <i>Vibrio cholerae</i> , se observa las colonias amarillas típicas de esta especie.	81
Figura27. Selección de colonias representativas que fueron colocadas en el cepario para las posteriores pruebas bioquímicas.	81
Figura28. Pruebas bioquímicas LIA y TSI.	82
Figura29. Prueba bioquímica de oxidasa da coloración azul si es positiva.	82
Figura30. Prueba bioquímica del desoxicolato de sodio, resulta positiva si se forma el hilo mucoide.	82
Figura31. Formación de halos de inhibición en las pruebas de susceptibilidad antimicrobiana de <i>Vibrio cholerae</i> a los antibióticos cloranfenicol, tetraciclina, trimetoprima/ sulfametoxazol, doxiciclina, furazolidona y eritromicina.	83
Figura32. Filtración de las muestras de agua en papel Whatman y su posterior observación en el microscopio.	83
Figura33. Huevo de <i>Ascaris</i> spp. infértil (Lado izquierdo), huevos de <i>Ancylostoma</i> spp. (Los dos a la derecha).	84
Figura34. Huevo (Izquierda) y larva (Derecha) de la Familia Chironomidae.	84

RESUMEN

El agua es un elemento importante para los ecosistemas naturales y para el desarrollo de diferentes actividades antropogénicas. Los ríos Lurín, Chillón y Rímac son los principales abastecedores de agua potable en la ciudad de Lima y Callao, abasteciendo aproximadamente a 9.6 millones de habitantes, por lo cual es importante conocer en qué condiciones se encuentra este recurso hídrico. La actividad industrial, minera y antropogénica ha venido contaminando estos ríos y esto puede ser perjudicial para los seres vivos que viven en sus márgenes o dentro de sus aguas o también para aquellos que consumen o tienen contacto frecuente con este recurso, ya que puede acumularse y permanecer allí a través del tiempo.

La contaminación puede ser generada por metales pesados, bacterias patógenas y parásitos encontrados en estas aguas, lo que ocasiona problemas en la salud a nivel del sistema respiratorio, nervioso y cardiovascular, sistema digestivo, anemia, infertilidad, abortos y crecimiento retardado de los niños. La población más propensa es aquella con bajos recursos, esto se debe a que no cuentan con los medios necesarios para adquirir agua potable de buena calidad.

Una de las bacterias patógenas que se puede encontrar en el agua, pero es más conocido por encontrarse en aguas de mar es el *Vibrio cholerae* que puede causar enfermedades diarreicas agudas. Los parásitos helmintos son indicadores microbiológicos de aguas residuales debido a su resistencia a las diferentes condiciones ambientales y generan infecciones entéricas, desnutrición, anemia y predisposición a otras enfermedades tanto para humanos como animales. Es por ello, que el objetivo del estudio fue determinar de la calidad de agua de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín mediante los indicadores químicos de las concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo y los indicadores biológicos, presencia de huevos de helminto y presencia de *Vibrio cholerae* durante los meses de abril, mayo y junio del año 2019.

Se establecieron 5 estaciones de muestreo en cada uno de los ríos Lurín, Chillón y Rímac y se recolectó 105 muestras de agua. En las que se analizaron la concentración de los metales pesados Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el parámetro de ausencia /presencia de *Vibrio cholerae*, la cantidad de huevos de helminto y la medición de parámetros físicos de temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales que fueron medidos *in situ*.

Encontrándose que el río Rímac que las concentraciones de Plomo en la estación RR03 y para el Cadmio en las estaciones RR1, RR03, RR04 y RR05 se encontraron sobrepasando los límites de los ECA para agua. En el río Chillón las concentraciones de Cadmio y Cobre en las estaciones RC03 y de Plomo en la estación RC04 no cumplen con lo establecido en los ECA para agua y con respecto al río Lurín el Cadmio de las estaciones RL02, RL04 y RL05 y también en la estación RL04 la concentración de Plomo exceden lo normado por los ECA para agua. Para los parámetros microbiológicos se encontró una cepa de *Vibrio cholerae* en el río Rímac, 8 cepas para el río Chillón y 18 cepas para el río Lurín. Y con lo que respecta a los huevos de helminto en las estaciones RC03 y RC04 se encontraron del género *Ancylostoma* spp. en cantidades de 2 y 1 respectivamente. En el caso del Río Lurín se encontró 1 *Ancylostoma* spp. en la estación RL02 y para el río Rímac en la estación RR03 fue 1 *Ascaris* spp. (Infértil).

Concluyendo que existe contaminación de ciertos metales en algunas estaciones de muestreo debido a que sobrepasan no tan abruptamente los estándares de los ECA para agua, también se debe tener cuidado a la salud pública ya que se encontraron cepas de *V. cholerae* cuando las normas estipulan la ausencia de estas para las estaciones de muestreo con categoría 1A2. Asimismo, para los huevos de helmintos en la estación RC03 puede significar un riesgo epidemiológico ya que sobrepaso los límites de los ECA- agua.

Palabras clave: Agua superficial, metales pesados, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, huevos de helmintos, *Vibrio cholerae*, ECA- agua.

ABSTRACT

Water is an important element for natural ecosystems and for the development of different anthropogenic activities. The rivers Lurín, Chillón and Rímac are the main providers of drinking water in the city of Lima and Callao, supplying approximately 9.6 million inhabitants, so it is important to know in what conditions this water resource is. Industrial, mining and anthropogenic activity has been contaminating these rivers and this can be detrimental to living things that live on its banks or within its waters or also for those who consume or have frequent contact with this resource, as it can accumulate and stay there over time.

The contamination can be generated by heavy metals, pathogenic bacteria and parasites found in these waters, which causes health problems at the level of the respiratory, nervous and cardiovascular system, digestive system, anemia, infertility, abortions and delayed growth of children. The most prone population is that with low resources, this is because they do not have the necessary means to acquire good quality drinking water.

One of the pathogenic bacteria that can be found in water, but is best known for being in seawater is *Vibrio cholerae* that can cause acute diarrheal diseases. Helminth parasites are microbiological indicators of wastewater due to their resistance to different environmental conditions and generate enteric infections, malnutrition, anemia and predisposition to other diseases for both humans and animals. For this reason, the objective of the study was to determine the water quality of the Chillón, Rímac and Lurín river basins by means of the chemical indicators of the concentrations of Cadmium, Copper, Mercury and Lead and the biological indicators, presence of eggs of helminth and presence of *Vibrio cholerae* during the months of April, May and June of the year 2019.

Five sampling stations were established in each of the Lurín, Chillón and Rímac rivers and 105 water samples were collected. In which the concentration of heavy metals Cadmium, Copper, Mercury and Lead, the biochemical oxygen demand (BOD5), the absence / presence parameter of *Vibrio cholerae*, the amount of helminth eggs and the measurement of physical parameters were analyzed of temperature, pH, electrical conductivity and total dissolved solids that were measured in situ.

Finding that the Rimac River that the concentrations of Lead in station RR03 and for Cadmium in stations RR1, RR03, RR04 and RR05 were found exceeding the ECA limits for water. In the Chillón river the concentrations of Cadmium and Copper in the RC03 and Lead stations in the RC04 station do not comply with the provisions in the ECA for water and with respect to the Lurín river the Cadmium of the stations RL02, RL04 and RL05 and also in

Station RL04 Lead concentration exceeds what is regulated by the ECA for water. For the microbiological parameters, a *Vibrio cholerae* strain was found in the Rímac river, 8 strains for the Chillón river and 18 strains for the Lurín river. And with regard to helminth eggs at stations RC03 and RC04 they were found of the genus *Ancylostoma* spp. in quantities of 2 and 1 respectively. In the case of the Lurín River, 1 *Ancylostoma* spp. at station RL02 and for the Rímac river at station RR03 it was 1 *Ascaris* spp. (Infertile).

Concluding that there is contamination of certain metals in some sampling stations because they do not exceed the ECA standards for water not so abruptly, care should also be taken to public health and that strains of *V. cholerae* were found when the regulations stipulate absence of these for sampling stations with category 1A2. Likewise, for helminth eggs in station RC03 it can mean an epidemiological risk since it exceeds the limits of the ECA-water.

Keywords: Surface water, heavy metals, Cadmium, Copper, Mercury, Lead, helminth eggs, *Vibrio cholerae*, ECA-water.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el factor abiótico fundamental en la tierra, ya que con ella se desarrollan las comunidades. Para la prosperidad de los grupos humanos y ecosistemas se requiere de agua limpia y en buen estado.

Este elemento se encuentra recubriendo nuestro planeta en un 71% y de la misma manera se haya en porcentajes similares dentro de los organismos permitiéndoles realizar procesos metabólicos, interviene en la fotosíntesis de las plantas y es el hábitat de muchas especies hidrobiológicas. También es importante para los ecosistemas naturales y la regulación del clima, este factor es vulnerable ante los cambios climáticos, esto puede observarse en las desglaciaciones, sequias, inundaciones, aumento o disminución en el caudal de los ríos que ocurren en el planeta. Otra preocupación a parte de la disminución del agua es la contaminación de la misma por las descargas municipales, industriales, actividades agropecuarias y de la intensa actividad minera. Como consecuencia ante estos problemas tendremos una disminución en el agua disponible para riego y producción de alimentos, amenazas para la salud humana y la calidad de vida debido a la contaminación por patógenos y sustancias químicas tóxicas que también alteran negativamente el ecosistema.

La actividad industrial y minera son las principales fuentes de ingreso económico para muchos países que consiste en la transformación y manufactura y, la extracción de minerales metálicos y no metálicos con fines industriales, debido a que hoy en día el uso de los metales abarca muchas de las aplicaciones en la vida diaria, desde la fabricación de artefactos, maquinaria hasta la de textiles.

En el Perú las exportaciones son importantes debido a que se realiza a países con economías industrializadas, generando empleo, una mejor infraestructura y riqueza en la producción total del país. La minería intensiva es invasora en cuanto al ambiente lo que produce gran contaminación en especial en las fuentes de agua dulce; en consecuencia, cada año se generan abundantes volúmenes de vertimientos que dan a parar a los ríos, canchas de relaves y canales.

En nuestro país el sector agrario, también se ha desarrollado de manera intensa, consumiendo grandes volúmenes superiores al 80% del agua disponible. A su vez otro gran problema es generado por las municipalidades debido a las descargas de aguas residuales que en su mayoría son materia orgánica y microorganismos fecales (bacterias, virus, protozoarios y helmintos) que se desechan a cuerpos naturales de agua, terrenos deshabitados o utilizadas para el riego de los

cultivos; sin un previo tratamiento o son vertidas a las redes de alcantarillado para ser procesadas por entidades prestadoras de servicio de saneamiento.

Las ciudades de Lima y Callao son abastecidas hídricamente de fuentes superficiales y subterráneas provenientes de los ríos: Rímac, Chillón y Lurín. Los cuales presentan contaminación que producen cambios físicos o químicos que afectan a los seres vivos pueden acumularse y permanecer allí a través del tiempo. Se percibe los cambios en el color, olor, temperatura, turbidez y también cuando aparecen indicadores de degradación; consecuentemente se afecta los recursos hidrobiológicos y forestales que están en sus aguas y en los márgenes de los ríos. También la salud pública se ve afectada al consumir las aguas de estos cuerpos naturales de manera directa o indirecta, existen diversos patógenos y parásitos en ellas de los cuales podemos destacar a *Vibrio spp* como un indicador de cambio climático, debido a que aparece cuando la temperatura se eleva y existe un aumento en la salinidad en las aguas; puede causar enfermedades diarreicas agudas. Por otro lado, los parásitos helmintos son indicadores microbiológicos de aguas residuales debido a su resistencia a las diferentes condiciones ambientales y generan infecciones entéricas tanto para humanos como animales.

Por ello, para proteger el ambiente como la salud pública se han generado una serie de parámetros que estipulan cuales serán los niveles de contaminación permisibles, por metales pesados y por diversos patógenos que pueden ser encontrados en este recurso, también llamados estándares de calidad ambiental (ECA) aprobado, mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, donde se define cuatro categorías, nueve subcategorías y diecisiete ítems donde establece valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA para agua.

Basados en los ECA, el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de agua de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín mediante indicadores químicos y biológicos.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Perú es uno de los países con mayor cantidad de agua superficial disponible, pese a esto su calidad es crítica y tiene gran probabilidad de escasez para el año 2040, esto es alarmante debido a que nuestro país es el octavo a nivel mundial con mayor disposición de recursos hídricos, pese a esto el agua progresivamente escasea por diferentes factores como la deforestación, el inadecuado uso del agua y el calentamiento global. Contamos con 159 cuencas hidrográficas por las que escurren 1 935 621 hm³ /año de metros cúbicos al año (MMC). Así

mismo, cuenta con 12,200 lagunas en la sierra y más de 1,007 ríos, según datos del Ministerio del Ambiente. (MINAN, 2017).

La deforestación de las cuencas, las periódicas sequías y el uso intensivo de las aguas de los ríos para actividades industriales, mineras, de generación eléctrica, agrícolas y para el abastecimiento humano, van desarrollando una gran dificultad para abastecer a la creciente demanda debido al crecimiento demográfico. La demanda de agua potable en Lima y Callao en el año 2003 fue aproximadamente 1.61 m³/s existiendo un 7% de déficit en abastecer a la población urbana, esto se ha incrementado a través de los años. (SEDAPAL, 2005).

La actividad industrial, minera y antropogénica existentes en las cuencas de los ríos Chillón, Lurín y Rímac realizan un inadecuado control de sus residuos, emisiones y liberaciones, debido a que en muchos casos estos vertimientos son liberados directamente a los ríos contaminando sus aguas, las cuales son usadas para la actividad recreativa, agricultura y el consumo, generando un gran impacto en el ambiente y la salud (Coelho y Teixeira, 2011). La autoridad Nacional del Agua (ANA) emite informes de monitoreo ambiental de las tres cuencas mencionadas donde indican las principales fuentes contaminantes para cada uno. En el río Rímac presenta 722 fuentes contaminantes de las cuales podemos resaltar que la mayor contaminación se produce por las tuberías conectadas directamente al cauce (302), por otro lado, en el río Lurín solo se han notificado 48 fuentes contaminantes provenientes de vertimientos agua residuales domésticas e industriales y por último el río Chillón con 56 fuentes de contaminación identificadas en las que podemos resaltar los vertimientos de aguas industriales sin autorización con una cantidad de 31. (ANA, 2013,20014, 2015).

La contaminación generada por los metales pesados y los patógenos encontrados en estas aguas ocasiona problemas de salud a nivel del sistema respiratorio, nervioso y cardiovascular, sistema digestivo, anemia, infertilidad, abortos y crecimiento retardado de los niños, las personas con bajos recursos son las más afectadas por estas enfermedades, debido a que no poseen los medios necesarios para adquirir agua en buenas condiciones (Velásquez, 2018). La mayor parte de los parásitos intestinales se transmiten por el agua y los alimentos, ya que estos quedan en el hogar, agua para beber directamente o recreativa o también los cultivos regados con estas aguas contaminadas, es de gran alarma el cuidado del agua ya que se estima que el 4% del total de muertes en el mundo se deben a problemas relacionados al agua, desagüe e higiene. (Prüs, *et al*; 2002). En el caso del *Vibrio spp.* aunque la mayoría no es patógena, existen informes de cuadros de gastroenteritis con diversos tipos de gravedad (Luo, *et al*; 2013), mientras para el caso de los helmintos producen diversas afecciones como diarrea, desnutrición, anemia y predisposición a

otras enfermedades (Valbuena, *et al*; 2002). Los helmintos significan un gran riesgo a la salud pública, debido a que presenta una dosis mínima infectiva y poseen gran resistencia a diversas alteraciones ambientales (cambios de temperatura, pH, humedad, entre otros). (Maya, *et al.*, 2012).

Por ello, el mayor problema radica en la inadecuada información de la normativa establecida para el control de la calidad del recurso hídrico. Pese a que el 1° de abril de 2009 entró en vigencia la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, siendo la Autoridad Nacional del Agua (ANA) la máxima autoridad de Gestión de los Recursos Hídricos, que se encarga de vigilar y fiscalizar, así asegurar la preservación y conservación de las fuentes naturales de agua. Asimismo, en el año 2017 mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se ratifica los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, donde se dan los valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a su toxicidad la presencia de metales pesados en aguas de ríos representa un serio problema de salud para los moradores de las poblaciones que se sirven de dichas fuentes de agua, lo cual implica elevar los gastos en tratamientos médicos, disminución de la capacidad productiva de los moradores y desde luego repercusiones económicas a nivel local y nacional. Existen estudios actuales que muestran valores de 400 a 1000 veces más de Plomo (Pb) se encuentra en nuestros huesos, debido a la contaminación por este los alimentos y productos agroindustriales. En el caso de animales la toxicidad de este metal afecta los gametos y la sangre materna, lo que ocasiona que se disminuya el tiempo de gestación y el peso de las crías al nacer. (Tavakoly, *et al*, 2011). Por razones como está la contaminación por metales pesados como Plomo, Cadmio, Mercurio y Cobre es alarmante, ya que también afecta al sistema nervioso central, lo cual se traduce en retraso mental. Esto tiene particular importancia sobre todo en la población infantil y adolescente pues está asociado al desarrollo de la capacidad intelectual de la población riverense afectada. El conocimiento pues de los niveles de contaminación por metales pesados permitiría la toma de decisiones adecuadas en el campo de la salud pública, el ambiente y en general en el plano social repercutiendo positivamente en la realidad nacional peruana.

Así mismo, la presencia de agentes microbiológicos como *Vibrio cholerae* y huevos de helmintos como indicadores de calidad normados por los Estándares de Calidad Ambiental – ECA’S establecidas por el MINAM. Estos agentes biológicos pueden provocar desequilibrios en la salud de la población que se abastece de las fuentes de agua de manera directa o por los vegetales y hortalizas que son regados y posteriormente comercializados en los mercados de Lima.

Con el fin de fiscalizar la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente en un periodo de tiempo se hace uso de los monitoreos ambientales. Que consisten en realizar complejas evaluaciones integrales de calidad ambiental, de manera que se identifiquen las fuentes contaminantes teniendo como finalidad medir su disposición temporal y espacial, y evaluar los efectos que generan sobre el agua, aire, suelo, flora y fauna. Estas son ejercidas por la Entidad de Fiscalización Ambiental (EFA), que son entidades públicas a nivel nacional, regional o local. Asimismo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) por medio de la Subdirección de Seguimiento de Entidades de Fiscalización Ambiental y de las Oficinas Desconcentradas a nivel nacional, se encarga de hacer supervisiones regulares y especiales de tal manera que verifica el cumplimiento de los ECA.

El mayor suministro de agua para la ciudad de Lima proviene de tres ríos principales, Rímac, Chillón y Lurín; estos presentan niveles de contaminación alta debido al inadecuado manejo de los vertimientos producidos por las actividades industrial, minera y domestica que se ubican en los márgenes de los ríos. Con estas aguas son regados los vegetales, los animales beben o tienen contacto con la misma y a la población que utiliza de esta agua tanto para consumo como para uso recreacional. Al final estas aguas desembocan en el Océano Pacífico a lo largo del Litoral de Lima. Por ello es de suma importancia el cuidado que se debe dar a estos suministros de agua con el fin de conservar la biodiversidad y resguardar la salud pública. (Londoño, et al, 2016).

Por ello esta investigación busca evaluar la calidad del agua de estas cuencas hidrográficas y de esta manera comparar los parámetros analizados con lo establecido en los ECAS. De tal manera que se generen reportes de alerta para la población y la autoridad competente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la calidad de agua de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín mediante indicadores químicos y biológicos durante los meses de abril, mayo y junio del 2019.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la presencia de Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Mercurio (Hg) como parámetros de calidad en agua de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín.
- Evaluar la presencia de huevos de helminto en el agua de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín.
- Evaluar la presencia de *Vibrio cholerae* en el agua de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín.
- Relacionar los parámetros de calidad y fisicoquímicos ubicados en informes y trabajos de años anteriores hasta la actualidad, de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín.
- Evaluar la resistencia antimicrobiana de *Vibrio cholerae* como indicador biológico mediante la prueba de sensibilidad a cloranfenicol, tetraciclina, trimetoprima/sulfametoxazol, doxiciclina, furazolidona y eritromicina.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es el recurso renovable finito más importantes de la tierra, cubre el 71% de la superficie terrestre. El 97.5% de este elemento está en los océanos como agua salada. Solo 2.5% como agua dulce; de esta agua dulce el 80% se encuentra en los glaciares, nieve y hielo de los cascos polares. El 19% abarcado por agua subterránea y 1% de agua accesible rápidamente. El agua alberga diferentes tipos de procesos atmosféricos desde la circulación en los océanos hasta la termorregulación del planeta; procesos que son intercambiados por evaporación y precipitación entre la atmosfera - el océano y entre la atmosfera - la tierra, proceso denominado ciclo del agua.

Este ciclo necesita de energía solar para la realización de los diferentes procesos, tales como la evaporación, precipitación y escorrentía que permiten la movilidad del agua de un lugar a otro. Su distribución es variable pese a que es un ciclo cerrado, esto quiere decir que la cantidad de agua no ha cambiado a través de los años.

El agua es primordial para el desarrollo de la vida en este planeta, debido a que todos los organismos vivos están compuestos de una gran proporción de agua, los insectos con un 45%, 70% en mamíferos y en otros como las medusas 95% (Hernández, 2010). Además; interviene de manera fundamental en el proceso de fotosíntesis de organismos vegetales, además ser el hábitat de muchos organismos.

En la actualidad los países industrializados utilizan 10 veces más cantidad de agua consumiendo más de lo que estará disponible de aquí a 20 años lo cual se refleja en la contaminación y uso indebido de reservorios de agua; dejando a millones de personas sin acceso a ella. Afectando la cantidad de consumo de agua potable, la cual es 127 litros diarios por persona según la WWF. Estos problemas de escasez generados por el incremento de la competencia, conflictos de los usuarios, la baja calidad y fiabilidad del servicio se conocen como estrés hídrico que ocurre mayormente en áreas donde las actividades agrícolas o industriales son intensas; existe información mundial que el 80 % de las aguas residuales sin ningún tratamiento son descargadas en ríos, arroyos y océanos generando el desgaste de los recursos de agua dulce y que el 70% de agua es consumida por el uso de técnicas de riego inapropiadas (Baeza, 2018). La calidad de este recurso se perjudica provocando problemas de salud y tiene influencia negativa sobre los ecosistemas.

Es por esto que a nivel mundial muchos países están implementando estrategias, normas, información educativa, información tecnológica, entre otros con el fin de tratar el problema de falta de agua. Entre estos se incluyen métodos desarrollados por Footprint Network y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible con el fin de rastrear la cantidad de agua que utilizan las empresas; también la Alianza para la Administración del Agua está creando estándares de administración del agua con el fin de certificación. De la misma manera varias empresas asociadas a diversas ONG y grupos de expertos evalúan los riesgos para el ambiente y las comunidades locales (Lloyd's, 2010).

2.1. Estrés hídrico del agua

Según cifras de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) nuestro país almacena en sus reservas 3 mil millones de m³, esta cantidad se desfavorece frente a los 30 mil millones de m³ de agua que demanda el país. Estos valores de demanda aumentan a medida que incrementa la población, se promueve la agricultura con proyectos Agroexportadores y la expansión industrial. Los mayores problemas de estrés hídrico en el Perú se ven más en escasez económica debido a las ineficientes e insuficientes infraestructuras que permitan su potabilización, llevarla a los hogares, garantizar la calidad de las fuentes naturales y el tratamiento de las aguas residuales. Es resaltante que solo en la ciudad de Lima se encuentre el 70% de la población y que cada habitante de la ciudad de Lima consume 251 litros de agua; estas cifras son alarmantes, ya que en un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) muestra que las principales cuencas que abastecen a la ciudad de Lima se encuentran en estado crítico de escasez y contaminación. Los ríos Chillón y Rímac presentan una disponibilidad hídrica menor a 1.000 m³/año/hab y 1.000-1.700 m³/año/hab para la cuenca de Lurín.

Ante estos problemas el Perú está ejecutando grandes obras a largo plazo como trasvases de agua de la olla amazónica, que pasan por los ríos de los Andes hacia la costa, entre ellos el proyecto Olmos en la cuenca del Rímac, y Majes-Siguas en Arequipa. También se han elaborado leyes como la Ley 30215 de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE). Uno de estos mecanismos es el almacenamiento de agua en época de lluvia que es liberada de manera lenta en época seca o de estiaje.

Los ríos Rímac, Chillón y Lurín presentan una baja calidad y volumen de sus aguas debido a los diversos problemas de contaminación que enfrentan a lo largo de su curso, la tala de bosques, sobrepastoreo, quema de pastizales, desagües de las industrias, los relaves mineros y los desechos municipales generan una alarma debido a la degradación de estas fuentes, lo que

provocaría sequías, inundaciones y huaycos. También, es perjudicial para la salud pública como para la flora y fauna acuática o de sus alrededores, porque los componentes tóxicos pueden acumularse en los organismos permanecer en el ambiente por años y a su vez los agentes patógenos que se pueden encontrar en estas aguas podrían generar enfermedades debido a que este recurso puede utilizarse como fuente de riego, consumo para los animales o consumo o uso directo para los pobladores.

La enfermedad que tiene mayor vinculación ante la insegura calidad del agua es la diarrea, que es la tercera causa de muerte entre los niños menores de 5 años a nivel mundial, debido al poco acceso para adquirir agua segura. Asimismo, entre las enfermedades que aquejan debido a la falta de salubridad del agua son: malaria, dengue, leptospirosis, cólera, hepatitis virales A y E entre otras.

La población que usa el agua para actividades recreativas también está expuesta a contraer enfermedades por la falta de controles obligatorios de la calidad del agua. La calidad de este recurso depende del uso que se le da, ya que el agua para consumo humano no tiene los mismos parámetros como para su uso en actividades recreativas. Esta agua debe ser libre de contaminantes químicos tóxicos. Aunque, los requerimientos sanitarios cambian dependiendo el caso en que se use y su grado de exposición.

Todas estas circunstancias comprometen la calidad, la salud pública y la cantidad de este recurso, la salubridad de las personas, del ganado, la producción agrícola y la protección del ambiente; y debido a estos factores existe un marco normativo. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el marco de sus funciones establecidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 clasificó los diversos cuerpos naturales de agua (ríos, lagos y lagunas) del territorio nacional, considerando los alcances de los artículos 901 (del recurso agua continental) y 1142 (del agua para consumo humano) de la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 (2005) según el artículo 31°, para la gestión ambiental en el Perú; la cual establece los principios y normas básicas para asegurar el adecuado uso, para poder obtener a un ambiente saludable, equilibrado y apto para el desarrollo de la vida; a su vez existen los Estándares de calidad ambiental (ECA) que son las medidas que establecen los niveles de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”.

2.2. Estándares de Calidad del Agua: Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Las actuales modificaciones de los ECA para agua se establecen en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Bajo este ámbito se ha establecido la Clasificación de Cuerpos de Agua Continental Superficial en el ámbito de las unidades hidrográficas del Perú. Decreta las siguientes categorías:

Categoría 1: Población y Recreacional.

- a) Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
 - A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
 - A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
 - A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
- b) Aguas superficiales destinadas para recreación.
 - B1. Contacto primario.
 - B2. Contacto Secundario.

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

- C1. Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.
- C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.
- C3. Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.
- C4. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.

Categoría 3: Riego de vegetales y Bebida de Animales.

- D1. Riego de vegetales.
 - Agua para riego no restringido (Contacto directo).
 - Agua para riego restringido (Contacto no directo).
- D2. Bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

- E1. Lagunas y lagos.
- E2. Ríos.
 - Ríos de la costa y sierra.
 - Ríos de la selva.

- E3. Ecosistemas costeros y marinos.

- Estuarios
- Marinos

2.2.1. Agua Potable

El Ministerio de Salud (MINS) en el año 2011 estableció: El DS N° 031-2010-SA, reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, donde se establece los límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos; lo que garantiza la inocuidad de esta con el fin de proteger la salud de la población.

Asimismo, se ha creado La política Nacional de Saneamiento (PNS), que tiene como función “Alcanzar el acceso universal, sostenible y de calidad de los servicios de saneamiento”. Consecuentemente, el Plan Nacional de Saneamiento 2017-2021, aprobado mediante el Decreto Supremo N°018-2017-VIVIENDA tiene la finalidad de reducir las brechas de cobertura de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales a nivel nacional.

2.2.2. Aguas Residuales

Son aquellas aguas que presentan cambios debido a las actividades antropogénicas y poseen una baja calidad por lo que necesitan de un tratamiento previo, antes de ser reusadas, echadas a un cuerpo natural de agua o al sistema de drenaje. La problemática de estas aguas es la escasez del servicio y la baja calidad que brindan las Entidades Prestadoras de Servicios de saneamiento. (EPS Saneamiento). (OEFA, 2014) Se clasifican en:

- Aguas residuales industriales: Proviene del desarrollo de producción, entre ellas tenemos a las provenientes de las actividades agrícola, minera, energética, agroindustrial, etc.
- Aguas residuales domésticas: Proviene de los hogares y centros comerciales.
- Aguas residuales municipales: Proviene de la mezcla entre aguas residuales domésticas y aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial tratadas previamente.

2.2.3. Indicadores biológicos

El monitoreo de los cuerpos de agua es importante para la gestión del recurso por que nos permite vigilar las condiciones en las que se encuentra para ello, existen indicadores de tipo fisicoquímico y biológico. Los indicadores biológicos, son básicamente organismos puntuales, sensibles y selectos que indican una visión en el tiempo permitiendo una evaluación y predicción de las alteraciones ambientales antes que el daño ya no se pueda revertir.

Los ríos presentan diversos agentes microbianos que es necesario conocer para poder distinguir entre los patógenos y no patógenos de tal manera que se definan los posibles indicadores microbiológicos de calidad y así poder establecer la seguridad microbiana de los sistemas acuáticos (Marchand, 2002).

- *Vibrio Cholerae*

Es un bacilo curvo, móvil, oxidasa positiva, gramnegativo que fermentan sacarosa y glucosa y además no producen gas. Habita en el ambiente acuático y tiene preferencias por niveles moderados de salinidad, pero también puede estar en agua dulce y las diferentes temperaturas que modulan su ciclo de vida. Causa infección en humanos que son de gran importancia para la salud pública, causa el cólera, una enfermedad epidémica no contagiosa que se caracteriza por que los infectados presentan una sintomatología de intensa diarrea acuosa producida por una toxina colérica que coloniza el intestino delgado en el hombre. (Morris, 2003).

Esta bacteria causó gran alarma en el siglo XX donde se registraron la mayor cantidad de brotes en países asiáticos. En los años 1991 y 1992 se manifestó una gran epidemia de cólera en el Perú y en esta se afectó a muchos países de América del sur.

En el 2009 se reportó un brote *V. parahaemolyticus* en el norte del Perú, esta cepa presentaba características genéticas distintas al clon pandémico y a las cepas identificadas anteriormente en nuestro país. (MINSa, 2009).

Actualmente el cólera sigue siendo una amenaza mundial para la salud pública y un indicador de inequidad y falta de desarrollo social ya que, se calculan 1,3 y 4 millones de casos de cólera por año en el mundo y entre 21 000 a 143 000 defunciones. (Ali *et al.*, 2012 & OMS, 2017).

El tratamiento del cólera se basa en restablecer los líquidos y sales perdidas por la diarrea. En el caso de las personas con deshidratación moderada, casi siempre se realiza mediante rehidratación oral. En casos severos, generalmente se requiere rehidratación intravenosa de un

volumen igual al 10% de su peso corporal lo más rápido posible (durante un período no mayor de 2 a 4 h y antibióticos siendo el fármaco de elección la doxiciclina administrada como una única dosis oral para adultos y en caso de embarazadas y niños se recomienda la tetraciclina.

- **Huevos de Helmintos**

Considerados como indicadores de contaminación fecal se han encontrado en diferentes tipos de agua y han tenido contacto con agricultores o consumidores al ser consumidos tanto por el riego de cultivos con esta agua contaminada o bebiendo dicha agua, de tal manera que les genere infecciones debido a que son agentes patógenos. (Jiménez, et al., 2007).

Estos huevos se encuentran en el ambiente y son de suma importancia en la salud pública por su dosis mínima infectiva y su gran resistencia a diferentes condiciones, como la temperatura, pH y la humedad, son resistentes a las desinfecciones con cloro. *Ascaris*, *Trichuris*, *Ancylostoma* e *Hymenolepis* son los géneros con mayor predominancia y según la Organización Mundial de la Salud (OMS), *Ascaris lumbricoides* ha causado 1.450 millones de infecciones en el mundo. Los síntomas más comunes son anemia, náuseas, oclusión de las vías biliares y obstrucción intestinal, ocasionando 3.000 muertes al año (WHO, 2006).

2.3. Prueba de sensibilidad antimicrobiana

Es un método estandarizado por el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) que se puede realizar por varios métodos. La más utilizada es la prueba de difusión en agar, en ella se mide la formación o no de un halo de inhibición que se produce por la acción de discos de antibióticos sobre un inóculo bacteriano puro. Los diámetros del halo son correlacionados con la Concentración Inhibitoria Mínima (CIM) para cepas que tienen una sensibilidad o resistencia conocida a distintos antibióticos.

3. ANTECEDENTES

GUILLÉN & QUEQUEJANA, 2003. En su investigación "Estudio del agua del río Chillón" eligieron 10 estaciones en el río Chillón en las cuales se muestreo una vez por mes. Determinaron que el agua del río es agua dura, debido a que presentó 200mg/L de CaCO₃ afectando sus características organolépticas; los valores se encuentran elevados para nitritos, conductividad, cloruros, mientras que para el oxígeno disuelto los valores de carga bacteriana son menores debido a la contaminación por desechos urbanos.

ALIAGA, 2005. En su investigación “Programa de monitoreo del río Rímac en la cuenca media y baja” determinó que existe contaminación química y biológica debido a las descargas de aguas residuales por las actividades mineras en su cuenca alta que también afectaría a la cuenca media por la misma corriente del río, asimismo en la cuenca baja los desagües domésticos e industriales. Por ello la concentración máxima de metales y bacterias sobrepasa los límites permitidos. Los parámetros de concentración de coliformes oscila entre 10^6 a 10^7 , Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O) en la cuenca baja es mayor de 15 mg. /L, el pH en la cuenca alta y media es mayor que 7, mientras que en la cuenca baja es menor de 8 y oxígeno disuelto para la cuenca media oscila entre 4,5 y 7 ppm, asimismo para la cuenca baja es menor que 4 ppm. Estos resultados muestran problemas en la calidad del recurso hídrico, lo que también afectaría la salud pública.

HUQ, et al. 2005. En su estudio “Detección de partículas parasitarias en aguas residuales domésticas y urbanas y evaluación de la eficiencia de eliminación en plantas de tratamiento de Teherán, Irán” aislaron huevos de helmintos y quistes de protozoos por litro de aguas residuales crudas urbanas de 1.2×10^1 - 2.9×10^1 y 9.6×10^2 a 1.9×10^3 , respectivamente. Para el caso de las aguas residuales crudas de animales de 1.6×10^3 a 4.9×10^3 y 3.1×10^4 a 6.0×10^4 , respectivamente. En la identificación se encontraron *anquilostomas*, *Hymenolepis* y *Rhabditis* (o probablemente *Strongyloides*), *Entamoeba*, *Isospora*, *Giardia*, *Chilomastix* y *Cryptosporidium*, mientras que en los mataderos *Trichuris*, *Trichostrongylus*, *Moniezia*, *Dicrocoelium*, *Fasciola*, *Entamoeba*, *Cryptosporidium*, *Eimeria* y *Giardia*. Concluyeron que la eficacia de la eliminación de los parásitos en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, cumple con la directriz parasitológica de la OMS (<1 nematodo por litro) requerida para el riego sin restricciones.

DÍAZ, 2010. En su investigación “Estudio comparativo de Índices de Calidad del Agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, Caso de Estudio Río Loa” contrastaron cuatro Índices de Calidad Ambiental: NSF WQI, ICA de México, Índices de contaminación (ICOs) de Colombia y CCME WQI; con el fin de evaluar el agua superficial del río Loa en Antofagasta.

REYES, 2012. En su investigación “Estudio de la contaminación de las aguas del río Chillón” evaluó las aguas superficiales y las actividades económicas que utilizan las aguas de este río y analizó los parámetros fisicoquímico y microbiológico en el periodo 2008-2010. Se determinó que la concentración de coliformes fecales y totales superan los Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el agua en la categoría 3 no es apta para riego de vegetales y bebida de

animales, esto indicó que esta agua no es apta para riego de vegetales y bebida de animales. En cuanto a los parámetros químicos el único que fue estable es el pH con un valor de 8, mientras que los valores de concentración para plomo, fierro, cromo, cobre fueron elevados. Existe una producción de dioxinas debido a gran cantidad de sustancias órgano cloradas y soda cáustica que son vertidas al río por industrias papeleras. También se reportaron enfermedades debido a la contaminación de la cuenca baja como: Diarreas, malaria, dengue, intoxicaciones severas e infecciones respiratorias.

AKOACHERE & MBUNTCHA, 2014. En su trabajo “Fuentes de agua como reservorios de las cepas *Vibrio cholerae* O1 y no O1 en Bepanda, Douala (Camerún): relación entre el aislamiento y los factores fisicoquímicos” aislaron Ochenta y siete muestras positivas para *V. cholerae* (27.4%). Lograron mayor porcentaje de aislamiento en los pozos. En épocas de lluvia hubo mayor número de aislamientos y con relación al aumento de pH las probabilidades de aislamiento eran mayor. Todos los aislamientos fueron sensibles a la ciprofloxacina y la ofloxacina. La resistencia a múltiples fármacos fue predominante entre los aislamientos de cepas.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2014. En su investigación “Diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos en el Perú 2000-2012” mediante la recopilación, sistematización y evaluación de datos que obtuvieron de diversas instituciones, de un total de 159 cuencas delimitadas en el país solo trabajaron con 59 (37%) que corresponden a la vertiente del Amazonas, Pacífico y Titicaca. Determinaron que, para las tres vertientes según las descargas de aguas residuales de la población, pasivos ambientales mineros, minería informal, minería formal y características naturales por la geología, los parámetros de Coliformes Termotolerantes y las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo exhibe niveles perjudiciales en cuanto a la calidad de los recursos hídricos para fines de riego y poblacionales exceptuando el parámetro cadmio para este fin. En cuanto a fines de la conservación del ambiente acuático el estado de afectación de la calidad, se tomaron los parámetros según la vertiente: Coliformes Termotolerantes, DBO₅ y plomo para la vertiente del Amazonas; DBO₅, cadmio, arsénico y plomo para la vertiente del Pacífico y pH, arsénico, cadmio, plomo y mercurio para la vertiente del Titicaca.

CASTILLO & MEDINA, 2014. En su investigación “Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Rímac (riego), de enero a agosto del 2011, en tres puntos de monitoreo” evaluó el índice de calidad según el ICA de la fundación nacional de sanidad de los Estados Unidos (WQI NSF) para aguas de riego. Determinaron que la calidad del agua para las

estaciones E-08 y E-09 era buena mientras que para la estación E-10 era media, debido a que muestra valores altos para los parámetros coliformes termotolerantes, fosfato y nitrato mientras que el DBO a su vez es bajo. Para los Índices de calidad del agua del consejo canadiense de ministros del medio ambiente (CCME WQI) concluyeron que, en épocas húmedas la calidad fue aceptable y en la época seca, se la calidad fue buena para las estaciones E-08 y E-09, mientras que para la estación E-10 observaron una calidad excelente. Encontró elevados los valores de plomo, cadmio, arsénico, sólidos totales, turbidez, hierro, manganeso, zinc, e incluso el cobre. Debido a descargas municipales se encontraron niveles altos de fosfato, nitrato, coliformes totales y termotolerantes.

BERMÚDEZ et al. 2016. En su trabajo “Pruebas de susceptibilidad de *Vibrio cholerae* a los antimicrobianos, una herramienta útil en el control de la enfermedad” indican la importancia de la prueba de susceptibilidad a los antimicrobianos debido a que la resistencia a estos fármacos ha aumentado en muchos lugares del mundo por ello, es importante conocer la sensibilidad a los antimicrobianos de *Vibrio cholerae* al inicio de la epidemia y monitorearla periódicamente. En la investigación determinaron la susceptibilidad antimicrobiana a 77 cepas de *V. cholerae* O1 Ogawa aislado de pacientes ingresados en el Hospital Pediátrico “José Luis Miranda”. Hubo una resistencia de 100% al ácido nalidíxico, 96.1% al trimetoprim/sulfametoxazol, 76.62% a la ampicilina y 3.89% a la tetraciclina. No se observó resistencia al cloranfenicol y a la ciprofloxacina.

RIVERA & GARCÍA 2017. En su estudio “Caracterización del agua de la quebrada Naranjal para la gestión del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano en la localidad Unión de Mamonaquihua-Cuñumbuqui, 2017”. Se basaron en los criterios descritos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y algunas pautas recomendadas por DIGESA. Analizaron los parámetros físico químicos y microbiológicos estaban influenciados por el tipo de suelo y las condiciones climáticas para la temperatura (22.2°C), pH (8.4), color verdadero (34 UC) y turbidez (40 UNT), los metales pesados estaban debajo de lo establecido en los ECAs no implicando un riesgo para la salud pública ni afectación a la fuente, los parámetros microbiológicos superaban los ECAS, Coliformes Termotolerantes (490 NMP/100 mL), *Escherichia Coli* (330 NMP/100 mL) y Organismos de vida libre (754 N° Organismo/L).

TAPIA, 2017. En su investigación “Impacto ambiental al recurso hídrico de la cuenca media del río Rímac a consecuencia de la minería, en el distrito Ricardo Palma, Chosica 2017” evaluó cuatro puntos de muestreo por el método de los ICA (Índice de Calidad de Agua) es de 53.6 que indica que el agua se encontró contaminada. Los parámetros físicos de la Demanda Bioquímica

de Oxígeno (DBO₅) en un 46.7% y con un pH de promedio 8.35 para los puntos de muestreo superan al D.S. 004-2017- MINAM. Asimismo, los impactos por químicos dilucidaron valores elevados en cuanto a Magnesio, Plomo, Aluminio, el Arsénico, Cobre Hierro, Litio, Magnesio y Zinc; sin embargo, los parámetros Selenio, Cromo, Mercurio, y Níquel mostraron valores dentro de lo establecido.

DÍAZ, P. 2018. En su tesis “Determinación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la quebrada Chupishiña, distrito de Rumisapa, provincia de Lamas y región San Martín” analizaron los diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua según el uso de riego de vegetales y bebida de animales basados en el D.S. N° 004-2017-MINAM categoría 3. Los parámetros de pH, conductividad eléctrica, temperatura cumplían con los ECA. El OD no cumplió el ECA. Todos los parámetros fisicoquímicos, cumplieron el estándar de calidad ambiental en la época de avenida (Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Zinc). En época de estiaje el mercurio no cumplió con los ECA. Los parámetros microbiológicos de Coliformes Termotolerantes y Escherichia coli), ninguno cumplió los ECA y solo cumplió los Huevos de Helmintos.

MENDOZA, 2018. En su investigación “Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú” estudiaron la calidad del agua en Sacsamarca, región Ayacucho para los meses de junio a setiembre del 2017 donde establecieron 8 estaciones de muestreo. Determinaron valores que no sobrepasan los límites permitidos para temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH, demanda química de oxígeno, sólidos totales, fosfatos, nitratos, sulfatos, y metales totales (arsénico, cadmio, calcio, cobre, hierro, magnesio, mercurio, plomo, potasio, sodio y zinc). Por otro lado, el parámetro de fosfatos en el puquial fue de 1,51 ppm y 0,13 ppm de arsénico en el río Caracha lo que indicó eutrofización y contaminación de aguas.

RABAAN, A. 2018. En su estudio “Cólera: una visión general con referencia a la epidemia de Yemen” indican que hay aproximadamente 2.9 millones de casos en 69 países endémicos anualmente, resultando en 95 000 muertes. El cólera está asociado con una infraestructura deficiente y la falta de acceso a saneamiento y una buena calidad de agua potable. La epidemia de cólera en Yemen estaba relacionada con la propagación de *V. cholerae* O1 (serotipo de Ogawa), y asociada con la guerra en curso. Estos hechos han devastado la infraestructura y los servicios de salud. La Organización Mundial de la Salud había estimado que 172286 casos sospechosos que surgieron entre el 27 de abril y el 19 de junio del 2017, incluidas 1170 muertes.

La terapia contra el cólera depende principalmente de la rehidratación, con la administración de antibióticos en infecciones más graves. Indican también que ha surgido resistencia a los antibióticos contra el cólera.

ABANA et al. 2019. En su trabajo “Investigación de los genes de virulencia y patrones de susceptibilidad a antibióticos de *Vibrio cholerae* O1 en aislamientos ambientales y clínicos en Accra, Ghana” analizaron aislamientos clínicos y ambientales de *V. cholerae* O1 en Accra y así poder determinar sus genes de virulencia, patrones de susceptibilidad a antibióticos y factores ambientales que mantienen su persistencia en el medio ambiente. Aislaron 11 cepas en total que fueron resistentes a uno o más de los ocho antibióticos con los que se contrastó para observar la susceptibilidad. El gen de la toxina *V. cholerae* se detectó en el 82,4% de los aislamientos. Encontraron que la alta temperatura, la salinidad, los sólidos disueltos totales y la conductividad se correlacionan significativamente positivamente con el aislamiento de *V. cholerae* O1.

4. HIPÓTESIS

4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín presentaría contaminación por la concentración elevada de metales pesados como Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Mercurio (Hg) y también presentaría *Vibrio cholerae* y huevos de helmintos con lo cual no estaría cumpliendo con los parámetros encontrados en la normativa nacional.

4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- Si hubiese la presencia de contaminación por concentración elevada del metal pesado Cadmio (Cd) en el agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, entonces no estaría cumpliendo con los parámetros encontrados en la normativa Nacional.
- Si hubiese la presencia de contaminación por concentración elevada del metal pesado Plomo (Pb) en el agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, entonces no estaría cumpliendo con los parámetros encontrados en la normativa Nacional.
- Si hubiese la presencia de contaminación por concentración elevada del metal pesado Cobre (Cu) en el agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, entonces no estaría cumpliendo con los parámetros encontrados en la normativa Nacional.

- Si hubiese la presencia de contaminación por concentración elevada del metal pesado Mercurio (Hg) en el agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, entonces no estaría cumpliendo con los parámetros encontrados en la normativa Nacional.
- Si hubiese la presencia de contaminación por *Vibrio Cholerae* en el agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, entonces no estaría cumpliendo con los parámetros encontrados en la normativa Nacional.
- Si *V. cholerae* presentara una baja resistencia antimicrobiana ante los antibióticos cloranfenicol, tetraciclina, trimetoprima/ sulfametoxazol, doxiciclina, furazolidona y eritromicina, entonces significaría que los antibióticos evaluados son efectivos.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Lugar de ejecución

El análisis de los indicadores biológicos de la presencia de huevos del helminto, presencia de *V. cholerae* y su resistencia antimicrobiana se llevó a cabo en el Laboratorio de Parasitología (LA79) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma en la Av. Benavides 5440, Santiago de Surco.

El análisis de las muestras para los parámetros químicos de la concentración de DBO₅, Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo fueron realizadas por el Laboratorio Certificaciones del Perú S.A. ubicado en Av. Santa Rosa 611- La Perla- Callao, Perú, que está acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) como Laboratorio de ensayo NTP-ISO/IEC 17025 con N° de registro 01 104 1731397 vigente hasta 24-08-2020 y el Laboratorio de Antamina S.A.

5.2 Tipo y diseño de investigación

El diseño del estudio fue experimental de tipo descriptivo y observacional.

5.3 Variables

- Calidad ambiental del agua
- Presencia o ausencia de *Vibrio cholerae* en aguas de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín.
- Presencia de huevos de helmintos por cada estación de muestreo para los ríos Rímac, Chillón y Lurín.
- Concentración de Pb para las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín
- Concentración de Cd para las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín
- Concentración de Hg para las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín
- Concentración de Cu para las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín

5.4 Operacionalización de las variables

Tabla1. Operacionalización de las variables

Variables	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Calidad ambiental del agua	pH, conductividad, turbiedad, temperatura y solidos totales	Unidades de pH, S/m, UNT, °C, TSS mg/L	Cuantitativo/ Discreto
	Concentración de metales pesados	mg/L	Cuantitativo/ Discreto
Presencia de <i>Vibrio cholerae</i>	Presencia o ausencia de <i>Vibrio cholerae</i>	Presencia /100mL	Cuantitativo/ Discreto
Presencia de huevos de helmintos	Presencia de huevos de helmintos	Huevo/L	Cuantitativo/ Discreto
Niveles de Pb para las cuencas	Concentración de Pb	mg/L	Cuantitativo/ Discreto
Niveles de Cd para las cuencas	Concentración de Cd	mg/L	Cuantitativo/ Discreto
Niveles de Hg para las cuencas	Concentración de Hg	mg/L	Cuantitativo/ Discreto
Niveles de Cu para las cuencas	Concentración de Cu	mg/L	Cuantitativo/ Discreto
Sensibilidad microbiana	Presencia Ausencia	Sensible Intermedio Resistente	Cualitativa nominal

5.5. Muestreo

Se seleccionaron 5 estaciones de muestreo por cada uno de los ríos, tomando como criterio la accesibilidad al lugar de manera que fuese seguro y representativo cuando se tomó la muestra. Se colectaron 5 muestras por cada estación para cada uno de los ríos siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA-2016). Estas muestras fueron tomadas en los meses de abril, mayo y junio, las cuales fueron recolectadas en botellas de plástico que tenían una capacidad de 1L cada una, los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, sólidos disueltos y conductividad fueron medidos *in situ* con un multiparámetro de marca y modelo Hanna Hi98130. Mientras que la medición de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y el análisis de metales pesados de Hg, Pb, Cu y Cd fueron realizados en el laboratorio Cerper S.A y Antamina S.A.

5.6. Procedimientos y análisis de datos

5.6.1 Procedimientos

A. Área de estudio

3. Río Rímac

El río Rímac pertenece hidrográficamente a la vertiente del Pacífico; desemboca en el Océano Pacífico. Posee una extensión de 3503,95 km², con una longitud de 127.02 km (ANA, 2010). **Figura 1.**

- Río Chillón

El río Chillón, se encuentra en las provincias de Canta y Lima del departamento de Lima. Tiene una trayectoria de 120 Km cuenta con un área de drenaje de 2,353.53 km² y nace en la laguna de Chonta a 4,850 msnm (INRENA, 2003). **Figura 2.**

4. Río Lurín

El río Lurín se ubica en el departamento e Lima, su cauce recorre 111.24 Km y desemboca en el Océano Pacífico. Tiene una extensión de 1659.19 Km² y se origina de los deshielos del nevado Surococha a 5300 msnm. (SENAMHI, 2016). **Figura 3.**

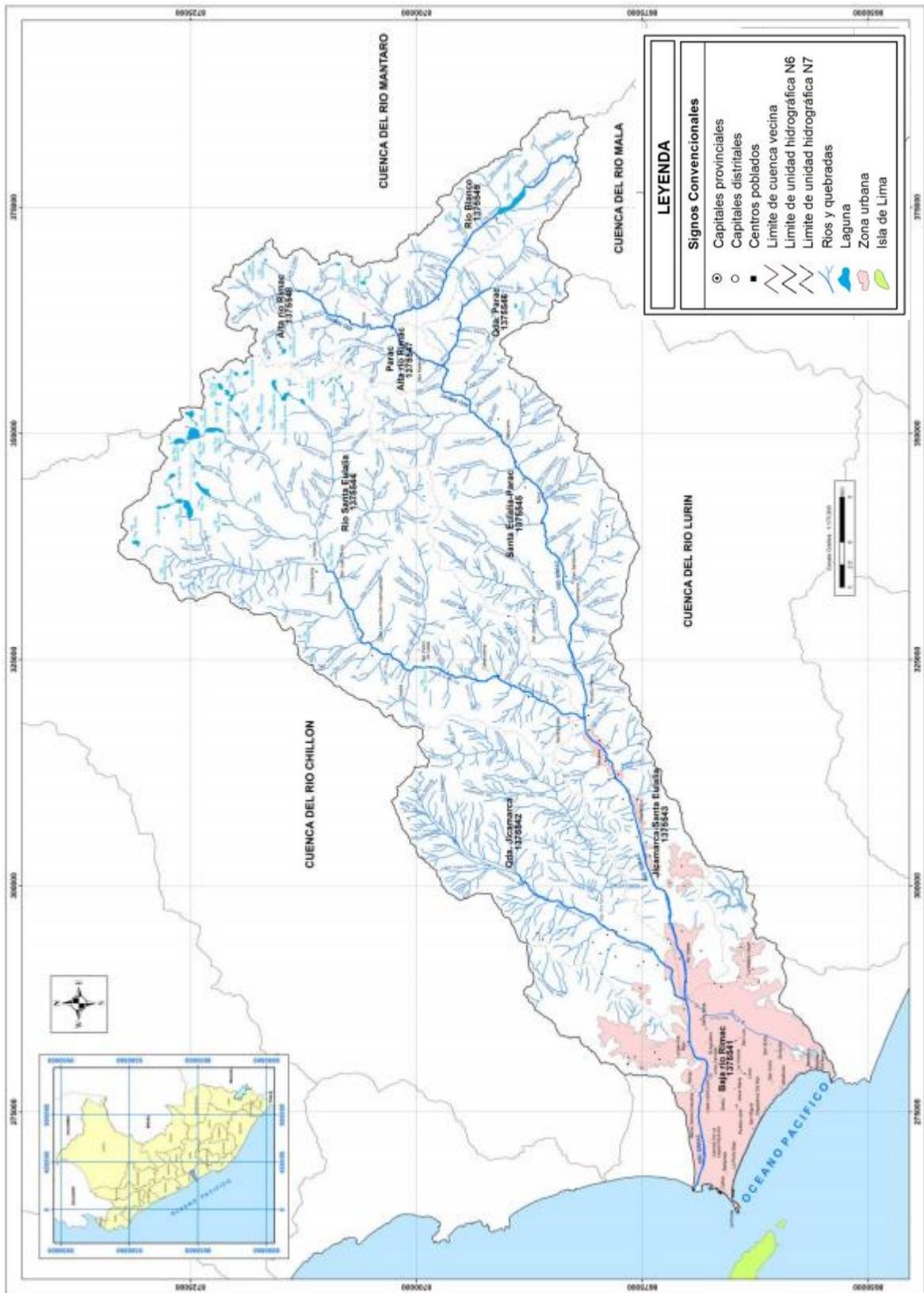


Figura 1. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Rímac. Fuente: Autoridad Nacional el agua (ANA). (2010). Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín. Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac.

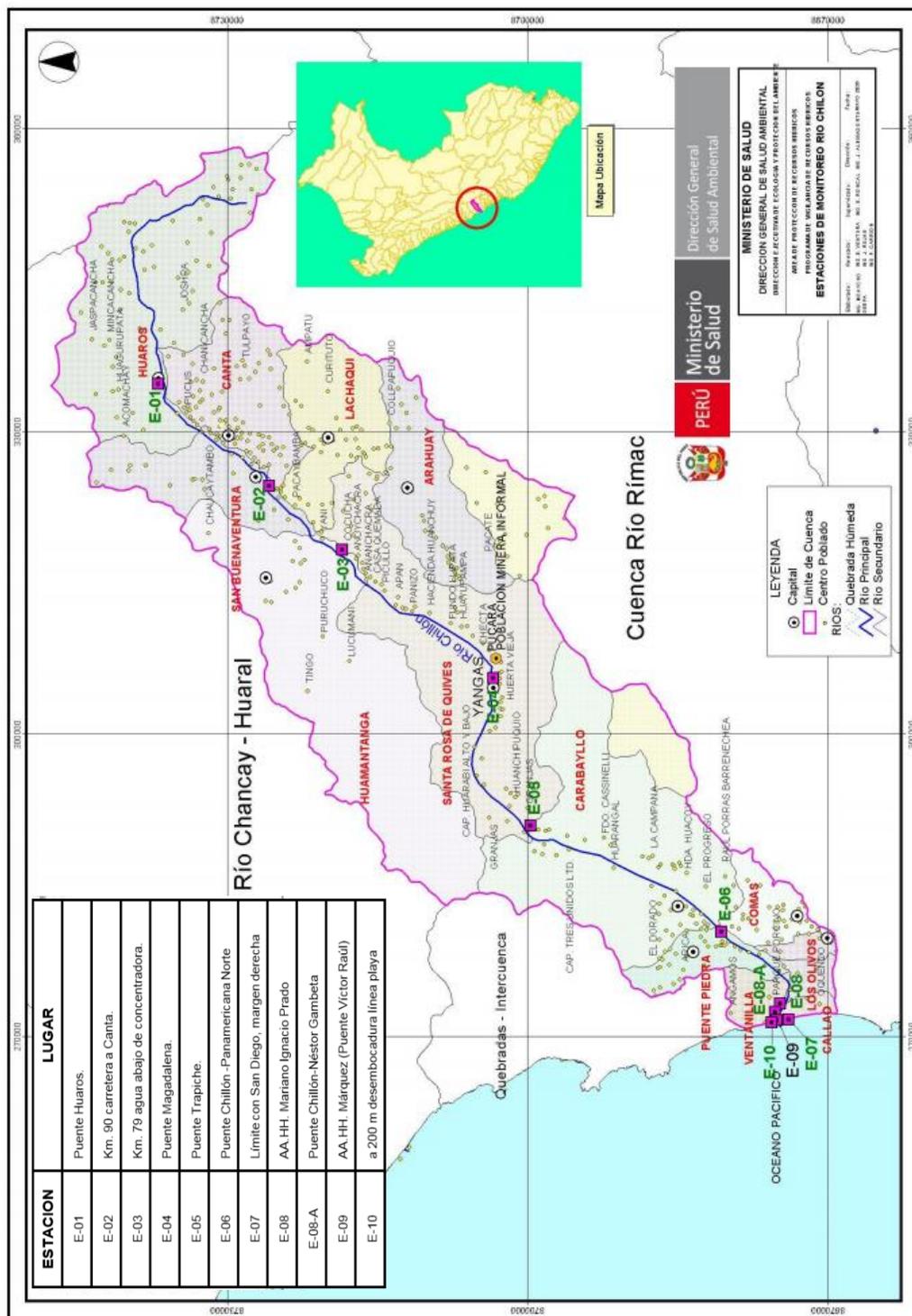


Figura 2. Mapa de la cuenca del río Chillón. Fuente: Ministerio de Salud. Dirección nacional de salud ambiental. Río Chillón - 2009

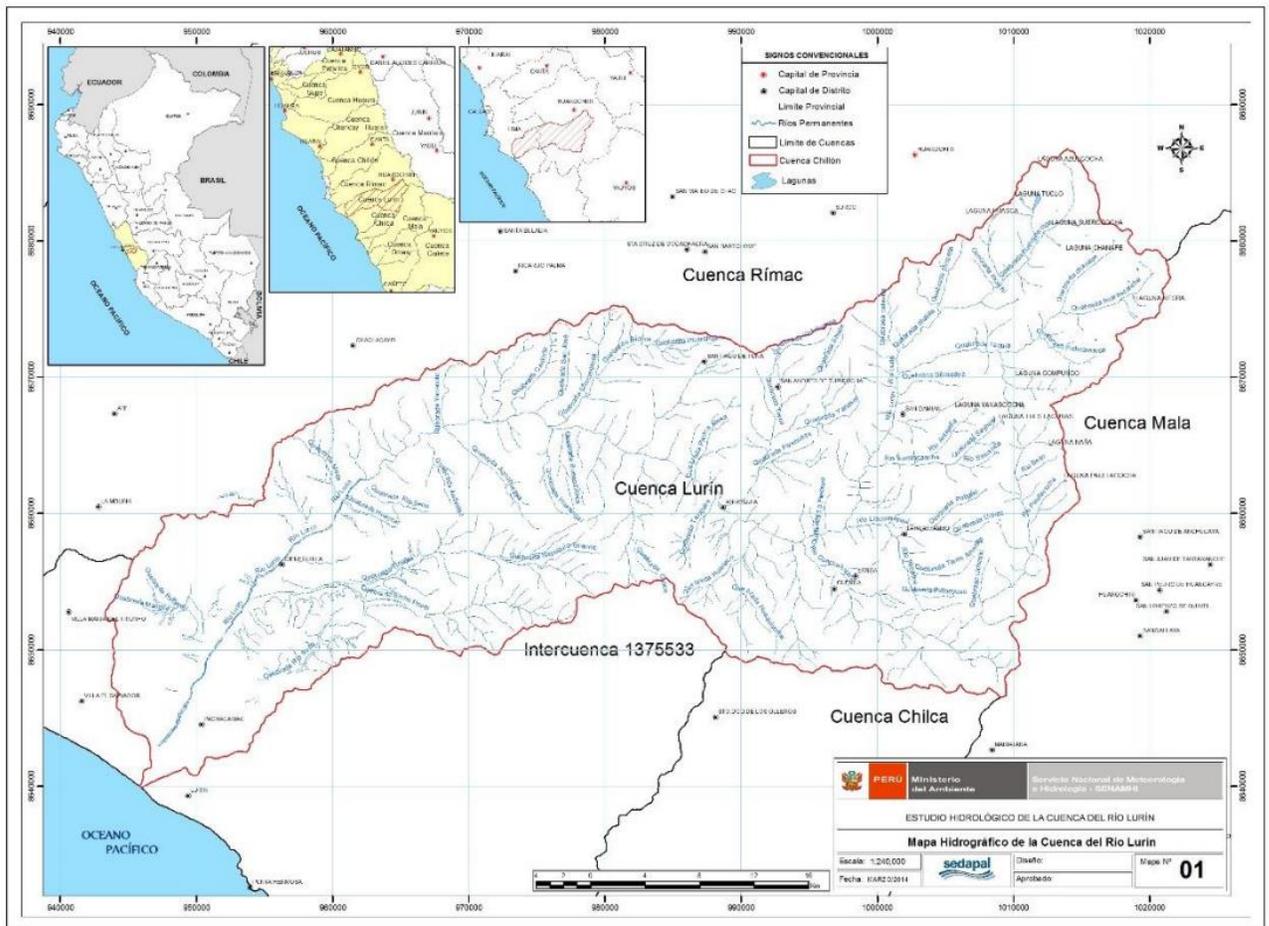


Figura 3. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Lurín. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2016) Vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Rímac, Chillón, Lurín y parte alta del Mantaro.

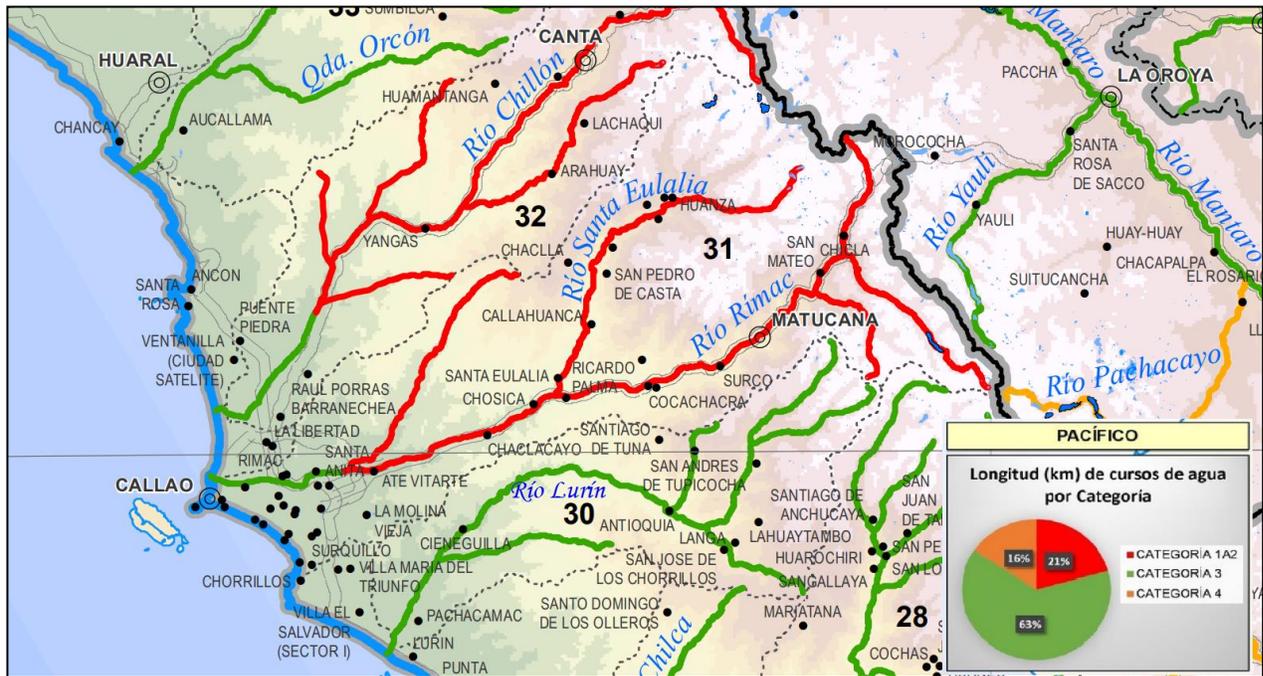


Figura 5. Clasificación por tramo de los ríos Chillón, Rímac y Lurín según los Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N°004-2017-MINAM).

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego. Autoridad Nacional del Agua.

B. Selección de las estaciones de muestreo

Se seleccionó las estaciones de muestreo tomando como criterio las estaciones de muestreo establecidas en los anteriores monitoreos de aguas superficiales para los ríos Chillón, Lurín y Rímac realizados por la Autoridad Nacional del Agua. Se tomó en cuenta la accesibilidad y la representatividad en la toma de muestra y de acuerdo a esto se estableció las cinco estaciones de muestreo por cada río, georreferenciadas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y fueron codificadas según lo estipulado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA-2016). Con la finalidad de obtener su ubicación exacta para futuros muestreos.

Tabla 2. Estaciones de muestreo

Río	Estación de muestreo	Descripción	Coordenadas UTM		Altura
			Norte	Este	msnm
Lurín	RL01	Río Lurín, antes del Centro Poblado de Chontay	8669312	314224	691
	RL02	Río Lurín, Puente Cieneguilla	8662379	306639	640
	RL03	Río Lurín, 30 m antes del vertimiento de la PTAR Manchay	8653336	297422	127
	RL04	Río Lurín, 100 m aguas abajo del Camal de equinos Casa Blanca	8650429	296879	100
	RL05	Río Lurín, cruce con Panamericana Sur	8643151	293427	9
Rímac	RR01	Río Rímac, en el Club de Sub Oficiales CERTSE FAP	8681513	319525	965
	RR02	Río Rímac, 100 m aguas arriba del Centro de Esparcimiento Valle del Sol	318534	8681455	926
	RR03	Río Rímac, puente peatonal Carapongo	8671853	296960	443
	RR04	Río Rímac, 300 m aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable de Huachipa	8671674	295625	435
	RR05	Río Rímac, aproximadamente 400 m aguas arriba de la vía expresa Faucett	86668243	272076	53
Chillón	RC01	Río Chillón, a 10 km del puente Magdalena	8698905	284509	453
	RC02	Río Chillón, antes de la planta SEDAPAL	8697248	283844	395
	RC03	Río Chillón, Puente Chillón Panamericana Norte	8681833	274242	116
	RC04	Río Chillón, 800 m aproximadamente aguas abajo del Puente Chillón	8681092	273783	110
	RC05	Río Chillón, puente en Av. Chillón intersección con San Diego de Alcalá	8678348	271947	60



Figura 6. Estaciones de muestreo del río Chillón

Fuente: Modificado de Google Earth.



Figura 7. Estaciones de muestreo del río Lurín

Fuente: Modificado de Google Earth.



Figura 8. Estaciones de muestreo del río Rímac

Fuente: Modificado de Google Earth.

C. Toma de muestra

Para cada estación de muestreo se colectó la muestra de agua siguiendo el Protocolo Nacional. El muestreo se realizó en el segundo trimestre del 2019. Para ello se contó con la indumentaria y el equipo de protección personal (EPP), en este caso el uso de guantes descartables y botas de jebe.

Se realizó la medición de los parámetros de campo *in situ* que son pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto.

En la toma de muestras para los parámetros químicos se retiró la tapa y contratapa, seguidamente se enjuago 3 veces el envase, a excepción de los frascos para los análisis orgánicos o microbiológicos, que estuvieron previamente rotulados (Nombre de la estación de muestreo) y luego de ello se realizó la toma de muestra cogiendo el recipiente por debajo del cuello y en dirección contraria al flujo de agua. En el caso de los envases de DBO₅ se llenaron sin dejar burbujas en el frasco. Para las muestras de Hg, Pb, Cu y Cd se preservaron con HNO₃ al 0.01N (Ácido Nítrico).

Las muestras envasadas se colocaron en una caja térmica que contenía un sistema de refrigeramiento, ice pack o bolsas de hielo con el fin de transportar la muestra al laboratorio en condiciones óptimas.

Posteriormente las muestras para los parámetros químicos fueron procesadas en el laboratorio Cerper S.A. ubicado en Av. Santa Rosa 611- La Perla- Callao, Perú y Antamina S.A.

D. Procesamiento de las muestras

- Determinación de metales

Para la determinación de las concentraciones de los metales que fue realizada en los laboratorios de Cerper S.A. y Antamina S.A donde utilizaron el método EPA 200.8, Rev. 5.4: Determinación de elementos traza en Aguas y Residuos por la técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. (ICP-MS). El cual determinó los múltiples elementos. La muestra en solución se introduce mediante nebulización neumática en un plasma argón de radiofrecuencia donde los procesos de transferencia de energía causan la desolvatación, atomización e ionización. Los iones se extraen del plasma a través de una interfaz de vacío bombeada diferencialmente y es medido mediante un espectrómetro de masas cuadrupolar que tiene una capacidad de resolución mínima de 1 uma de ancho a 5% de altura. Los iones transmitidos a través del cuadrupolar son detectados por un multiplicador de electrones o detector de Faraday y la información de iones procesada por un sistema de manejo de datos.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Es un método que mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica en agua durante 5 días a 20°C esta se expresa en mg O₂/L. Este fue realizado en los laboratorios de Cerper S.A.

Este método incluyó una dilución de verificación y agua de dilución como blanco de tal manera que se fije la calidad, al medir el consumo de oxígeno con una mezcla orgánica conocida, normalmente se utiliza glucosa y ácido glutámico.

- **Determinación del Oxígeno Disuelto (OD) inicial**
Se realizó con el método electrométrico con electrodo. La respuesta baja en el electrodo puede ser debido a los aceites, grasas o cualquier sustancia que se fije a la membrana del electrodo.
- **Blanco del agua de dilución.**
Se usó un blanco del agua de dilución que fue el control del agua de dilución no sembrada y en qué estado de aseo se encontraban los recipientes de incubación (1 recipiente de dilución por cada grupo de muestra). Se determinó OD inicial y final, el consumo de este no debe sobrepasar los 0,2 mg/L y tampoco debe ser menor a 0,1 mg/L.
- **Incubación**
Los recipientes de DBO₅ con las concentraciones deseadas, los blancos de agua de dilución, los controles de siembra y el control de glucosa-ácido glutámico se incubaron a 20°C ± 1°C.

- **Método presencia / ausencia de *Vibrio cholerae*.**

Este análisis se realizó según el método de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) 600/ R-10/ 139. 2010 para la determinación de presencia o ausencia de *Vibrio cholerae*.

- a. **Aislamiento: Enriquecimiento selectivo**
Se cultivó 30 mL de la muestra en tubos plásticos que contengan agua peptonada alcalina (APA). Seguido, se incubó a 37°C durante 6 a 8 horas.
- b. **Aislamiento en placas con agar TCBS**
Luego de la incubación aquellos tubos que presentaron crecimiento se procedió a sembrar un inóculo de 2-5mm (Sin agitarlo) desde la parte superior del tubo y extendiéndolo por medio de la técnica estría en las placas con agar tiosulfato citrato

bilis sacarosa (TCBS) con la finalidad de aislar las bacterias. Se incubaron las placas con agar TCBS a 37°C por 24 horas. Las Colonias típicas de las cuales se sospechó ser *Vibrio cholerae*, tenían la coloración amarillenta y formas planas o ligeramente convexas.

c. Cepario

Se creó un cepario en Agar Nutritivo suplementado al 1% con NaCl. Esto se realizó con colonias sospechosas de *Vibrio cholerae*.

d. Pruebas bioquímicas

- Prueba de la oxidasa

En caso fue positivo se formó una coloración azul debido a que el dehidrocloruro de tetrametil-parafenilendiamina al 1% detecta el citocromo oxidasa C del microorganismo y el oxígeno atmosférico que se oxida.

- Prueba en medio TSI

Se observó las características del medio antes del sembrado y luego se procedió a la siembra mediante picadura y estría con asa bacteriológica en un tubo con agar triple azúcar-hierro (TSI) inclinado. Después se incubó el medio TSI a $35 \pm 2^\circ$ C durante 24h. Finalmente se interpretó los resultados. Para *Vibrio Cholerae* los resultados fueron positivos si existieron reacciones A/A (Coloración amarilla por uso de los azucares) y no produjo gas ni H₂S.

- Prueba en agar LIA

Se tomó una asada del cepario y se inoculó por medio de picadura y estría en el agar lisina hierro (LIA) y se incubó a $35 \pm 2^\circ$ C durante 24 h. Se procedió a la interpretación de los resultados. Después se retuvo todos los cultivos que muestren las reacciones características de *Vibrio cholerae* en los medios. Se consideró positivo para *Vibrio cholerae* si la reacción dada es K/K (lisina positiva, coloración morado).

- Prueba de desoxicolato de sodio

Esta prueba fue realizada sobre un portaobjeto, donde se suspendió las colonias obtenidas del cepario en una gota de la solución acuosa de desoxicolato de sodio al 0.5%. Se consideró como resultado positivo cuando las células fueron lisadas por acción

del desoxicolato de sodio y la solución se tornó viscosa que al momento de retirar el asa de siembra se formó un hilo mucoide.

e. Prueba de susceptibilidad antimicrobiana por difusión en agar

- Preparación del medio de cultivo:

Se preparó agar Mueller – Hinton, que se calentó hasta punto de ebullición en microondas y esterilizado en autoclave a 121°C por 15 minutos. Posteriormente se vertió en placa Petri estéril, este pasó por un control de calidad de $35 \pm 2^\circ \text{C}$ durante 24h para su posterior utilización.

- Colocación de los discos de antibióticos sobre las placas inoculadas:

Las placas con agar Mueller Hinton fueron inoculadas con la bacteria mediante hisopado en su superficie. Seguido, se colocaron los discos de los 6 antibióticos sobre la superficie del agar. Estos antibióticos fueron: C: Cloranfenicol, TE: Tetraciclina, STX: Trimetoprima/ sulfametoxazol, DO: Doxiciclina, FX: Furazolidona, E: Eritromicina. Posteriormente las placas se invirtieron y colocaron en la estufa para su incubación de 24h a $35^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$.

- **Huevos de helmintos**

Para este procedimiento se usó una modificación del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 19th edition. APHA, AWWWA, WE.

a. Muestra

La muestra fue de 1L y no tuvo tener ningún tipo de preservante.

b. Filtración

Se preparó el equipo de filtración que consistió en un embudo y un frasco colector del agua al cual se colocó un papel filtro Whatman número 42 de primer uso debido a su gran capacidad de retención (2,5 μm). Posteriormente se vertió el contenido en el embudo receptor (vaso) del equipo de filtración en porciones sucesivas de acuerdo a su capacidad, hasta filtrar todo el litro de la muestra.

c. Técnica de Flotación-Centrifugación según Faust modificado.

Después de la filtración se retiró y lavó el papel filtro con 5 mL de solución salina al 9% y se colocó en un tubo cónico de 13mL. Posteriormente se centrifugó a 2300 rpm

durante 3 minutos y luego se descartó el sobrenadante para añadir 5 mL de sulfato de zinc al 33% ($\rho=1,18$ g/mL). Se resuspendió el sedimento con ayuda de una bageta de vidrio y se centrifugó a 2500 rpm durante 2 minutos, luego se agregó sulfato de zinc al 33% ($\rho=1,18$ g/mL) hasta aproximadamente un centímetro del borde del tubo. Con la ayuda de una pipeta Pasteur, se llenó el tubo con la solución de sulfato de zinc al 33% ($\rho=1,18$ g/mL) hasta formar un menisco con el borde del tubo, sin remover la película para poder colocar la lámina cubreobjetos sobre el borde del tubo por unos 2 minutos, que luego fue retirada y colocada sobre una lámina portaobjetos a la que previamente se le colocó una gota de lugol.

d. Observación de las láminas preparadas con la muestra.

Se observó al microscopio de luz con los objetivos de 10x y 40x.

Para dar el resultado se observaron al menos 5 láminas preparadas con la muestra.

5.6.2 Análisis de datos

Para los análisis de datos se recolectó toda la información de los muestreos de todos los parámetros analizados y se procesó la información de manera detallada y ordenada en tablas y gráficos en el programa de Excel.

5.7 Aspecto ético (consentimiento informado)

En el desarrollo de esta investigación no aplica el aspecto ético.

6. RESULTADOS

Se recolectaron un total de 105 muestras de agua en total (5 muestras para análisis microbiológicos, una muestra para DBO₅ y una para el análisis de metales; esto fue por cada estación) proveniente de los ríos Rímac, Lurín y Chillón. Los datos de georeferenciación de las estaciones de muestreo se encuentran plasmados en la tabla 3.

Tabla 3. Georeferenciación de las estaciones de muestreo en los ríos Lurín, Rímac y Chillón.

Río	Estación de muestreo	Descripción	Coordenadas UTM		Altura
			Norte	Este	msnm
Lurín	RL01	Río Lurín, antes del Centro Poblado de Chontay	8669312	314224	691
	RL02	Río Lurín, Puente Cieneguilla	8662379	306639	640
	RL03	Río Lurín, 30 m antes del vertimiento de la PTAR Manchay	8653336	297422	127
	RL04	Río Lurín, 100 m aguas abajo del Camal de equinos Casa Blanca	8650429	296879	100
	RL05	Río Lurín, cruce con Panamericana Sur	8643151	293427	9
Rímac	RR01	Río Rímac, en el Club de Sub Oficiales CERTSE FAP	8681513	319525	965
	RR02	Río Rímac, 100 m aguas arriba del Centro de Esparcimiento Valle del Sol	318534	8681455	926
	RR03	Río Rímac, puente peatonal Carapongo	8671853	296960	443
	RR04	Río Rímac, 300 m aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable de Huachipa	8671674	295625	435
	RR05	Río Rímac, aproximadamente 400 m aguas arriba de la vía expresa Faucett	86668243	272076	53
Chillón	RC01	Río Chillón, a 10 km del puente Magdalena	8698905	284509	453
	RC02	Río Chillón, antes de la planta SEDAPAL	8697248	283844	395
	RC03	Río Chillón, Puente Chillón Panamericana Norte	8681833	274242	116
	RC04	Río Chillón, 800 m aproximadamente aguas abajo del Puente Chillón	8681092	273783	110
	RC05	Río Chillón, puente en Av. Chillón intersección con San Diego de Alcalá	8678348	271947	60

6.1. Condiciones físico química de las muestras de agua de los Rímac, Lurín y Chillón

- Temperatura y pH

En la tabla 4 se aprecia las temperaturas de las diferentes estaciones de muestreo se encontraron en su mayoría se encontraron entre los valores de 19.3°C y 24.2 con excepción de RL01, donde la temperatura estuvo a 16.6°C lo que se debió a la temporada de época fría que se dio en el mes de junio donde se recolecto la muestra.

Las aguas superficiales de los ríos Lurín, Rímac y Chillón presentaron un pH encontrado entre los valores de 7.74-9.22 se observa sus aguas ligeramente alcalinas. Para el rio Lurín las estaciones RL01, RL02 y RL03 exceden en 0.3, 0.5 y 0.72 respectivamente a los valores establecidos por el ECA para agua de la categoría 3. Los valores de las estaciones del río Rímac de este parámetro están dentro de lo establecido en los ECAs. En el río Chillón las estaciones RC03, RC04 y RC05 presentaron un ligero aumento de 0.52, 0.55 y 0.09 respectivamente, en sus valores para este parámetro según la normativa.

Tabla 4. Valores fisicoquímicos de temperatura y pH examinados *in situ* en las estaciones de muestreo para los ríos Rímac, Lurín y Chillón.

Río	Estación de muestreo	Parámetros		ECA-agua DS-004-2017 MINAM			
		Temperatura a °C	pH	Cat-1A2	Cat-3	Cat-1A2	Cat-3
				°C		pH	
Lurín	RL01	16.6	8.8	Δ 3	Δ 3	5,5 - 9,0	6,5 - 8,5 (Riego) 6,5 - 8,4 (Bebida)
	RL02	20.2	9				
	RL03	24.2	9.22				
	RL04	19.3	7.74				
	RL05	19.3	8.13				
Rímac	RR01	19.8	8.6				
	RR02	19.8	8.54				
	RR03	19.9	8.44				
	RR04	19.6	8.25				
	RR05	23	8.17				
Chillón	RC01	23.8	9				
	RC02	23.7	8.86				
	RC03	23.2	9.02				
	RC04	23.2	9.05				
	RC05	23.5	8.59				

Cat- 1A2: Categoría 1 Poblacional y Recreacional, Subcategoría A2: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (Estaciones de muestreo que aplica Cat-1A2:RR01, RR02, RR03, RR04, RC01 Y RC02).

Cat-3: Riego de vegetales y bebida de animales (Estaciones de muestreo que aplica Cat-3: Todas las estaciones en el río Lurín, RR05, RC03, RC04 Y RC05).

- **Conductividad eléctrica y solidos disueltos totales**

En las mediciones de CE se obtuvieron valores en el orden de 200 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el río Lurín, así mismo para las estaciones de muestreo del río Rímac las medidas fueron entre 400 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para el río Chillón entre 500 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los valores registrados para los TDS presentan una relación directamente proporcional con CE. En el río Lurín los TDS estuvieron en el rango de 110- 760, mientras que en los valores fluctuaron entre 220 y 290 para el río Rímac y para el río Chillón los valores estuvieron entre 260- 430. Ninguno de los valores excede lo establecido en los ECA para agua.

Tabla 5. Valores de los parámetros físicos de Conductividad y solidos disueltos totales examinados in situ en las estaciones de muestreo para los ríos Rímac, Lurín y Chillón.

Río	Estación de muestreo	Parámetros		ECA-agua DS-004-2017 MINAM			
		Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Sólidos disueltos totales mg/L	Cat-1A2	Cat-3	Cat-1A2	Cat-3
				Conductividad		Solidos disueltos totales	
Lurín	RL01	330	120	1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Riego) 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Bebida)	1000 mg/L	No aplica este parámetro
	RL02	410	210				
	RL03	210	110				
	RL04	900	450				
	RL05	1530	760				
Rímac	RR01	550	280				
	RR02	500	260				
	RR03	450	220				
	RR04	450	230				
	RR05	580	290				
Chillón	RC01	540	260				
	RC02	500	230				
	RC03	800	400				
	RC04	850	430				
	RC05	790	390				

Cat- 1A2: Categoría 1 Poblacional y Recreacional, Subcategoría A2: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (Estaciones de muestreo que aplica Cat-1A2:RR01, RR02, RR03, RR04, RC01 Y RC02).

Cat-3: Riego de vegetales y bebida de animales (Estaciones de muestreo que aplica Cat-3: Todas las estaciones en el río Lurín, RR05, RC03, RC04 Y RC05).

- **Medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

En general se observó que para los tres ríos los valores obtenidos fueron menor que dos, este es el límite de detección expresado por la empresa que realizó el análisis de DBO₅. Sin embargo debemos resaltar que en el caso del río Lurín su DBO₅ fue de 8.04 mg/L para la estación RL05, mientras que en las estaciones RC03, RC04 y RC05 del río Chillón fueron de 8.13, 7.8 y 3.57 mg/L respectivamente (Tabla 6).

Con respecto a que el valor de 8.04 mg/L de DBO₅ de la estación RL05 se encuentre más elevado que en las otras estaciones de muestreo se debe a que esta estación recibe las cargas de los desechos municipales y las aguas agrícolas de la ciudad de Lurín que hacen su concentración de materia orgánica sea un poco elevada, pero no excediendo los valores establecidos por los ECAs.

En el caso de las estaciones de muestreo del río Chillón, para la estación RC03 presentó 8.13 mg/L de DBO₅ debido a los efluentes de la papelera Zarate SAC, ya que sus derivados de la madera, como oligosacáridos, azúcares simples, derivados de la lignina de bajo peso molecular, ácido acético y fibras de celulosa solubilizadas, contribuyen a una DBO₅ alta; también este valor puede deberse a que en el mismo punto y en zonas cercanas a este se presencié desechos urbanos. Como la estación RC04 se encuentra a casi un kilómetro de distancia también pudo influir los efluentes de la papelera, asimismo, esta estación es cerca a mercados que también vierten desechos al río. Debe recalcar que ninguno de estos valores excede los límites establecidos por los ECA.

Tabla 6. Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Río	Estación de muestreo	Límite de detección	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	ECA-agua DS-004-2017 MINAM	
			mg/L	Cat-1A2	Cat-3
Lurín	RL01	2,00 mg/L	<2.00	5 mg/L	15 mg/L
	RL02		<2.00		
	RL03		<2.00		
	RL04		<2.00		
	RL05		8.04		
Rímac	RR01		<2.00		
	RR02		<2.00		
	RR03		<2.00		
	RR04		<2.00		
	RR05		<2.00		
Chillón	RC01		<2.00		
	RC02		<2.00		
	RC03		8.13		
	RC04		7.8		
	RC05		3.57		

Cat- 1A2: Categoría 1 Poblacional y Recreacional, Subcategoría A2: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (Estaciones de muestreo que aplica Cat-1A2:RR01, RR02, RR03, RR04, RC01 Y RC02).

Cat-3: Riego de vegetales y bebida de animales (Estaciones de muestreo que aplica Cat-3: Todas las estaciones en el río Lurín, RR05, RC03, RC04 Y RC05).

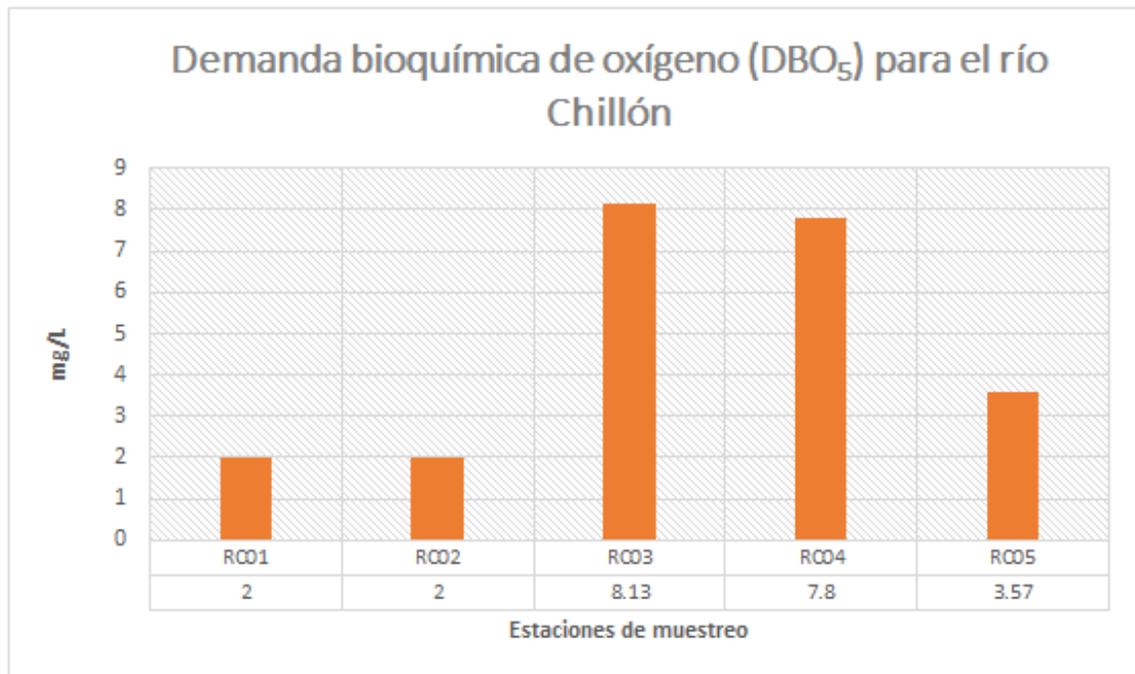


Gráfico 1. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para el río Chillón

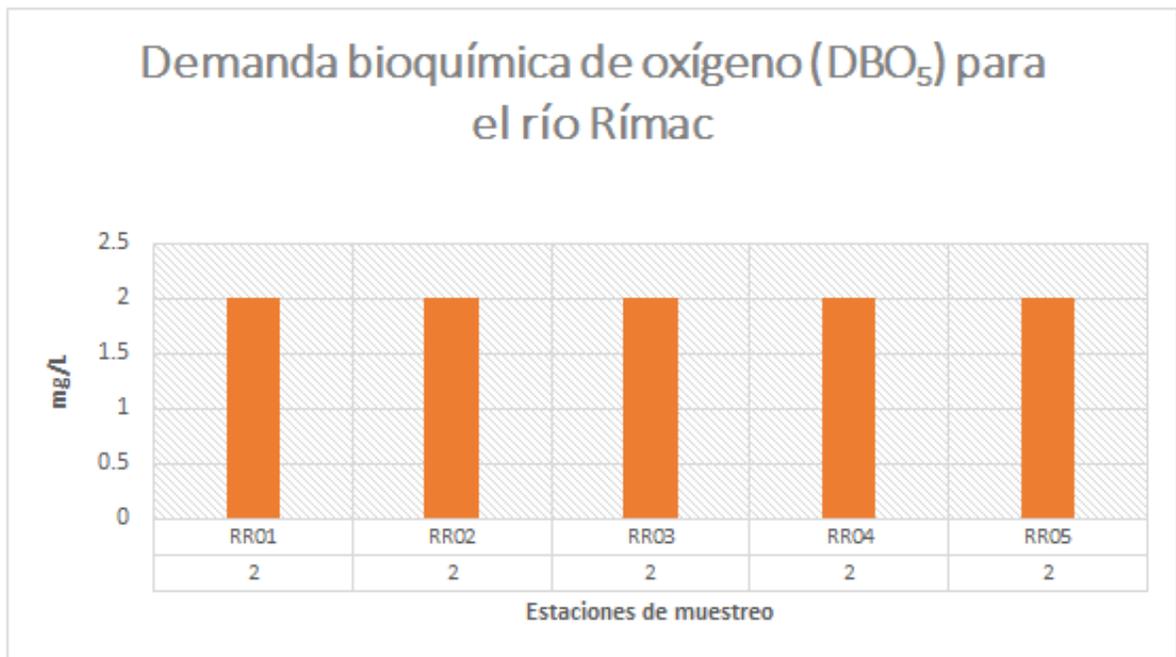


Gráfico 2. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para el río Rímac

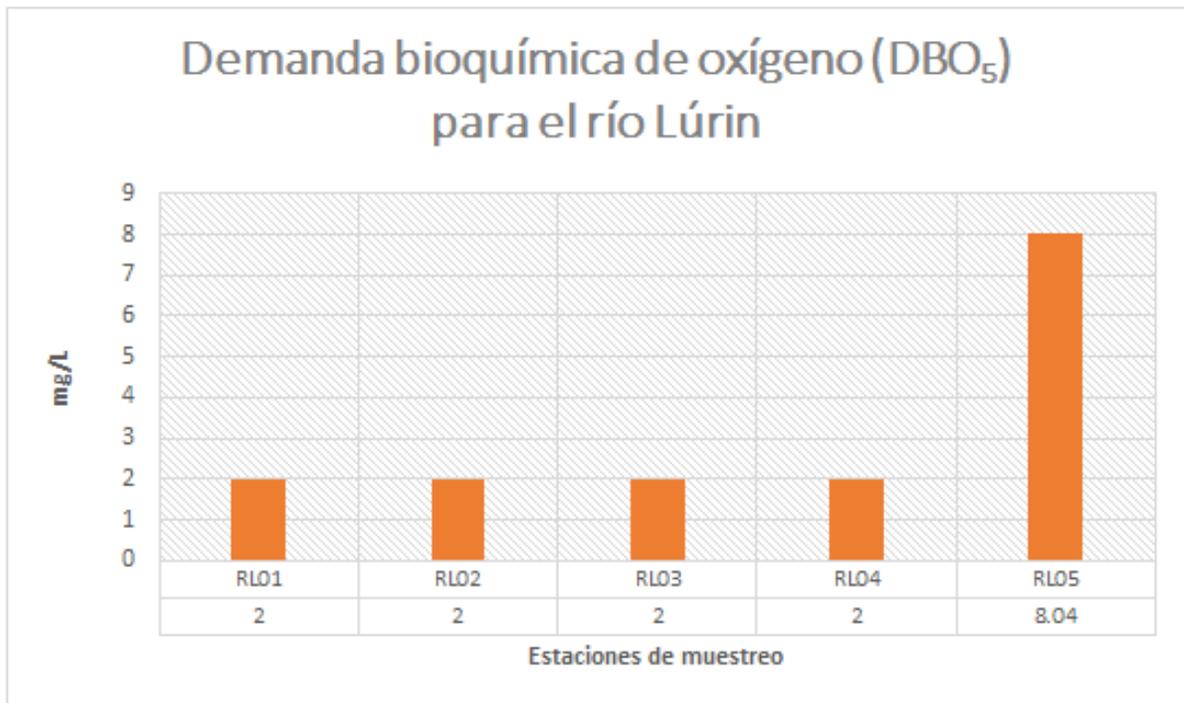


Gráfico 3. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para el río Lurín

- **Metales**

Para este análisis se realizó un barrido por medio de la técnica espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS) en el cual se midió la concentración de 35 metales de los cuales solo se abarcó los metales pesados cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y mercurio (Hg) para evaluar la calidad de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín. Debido a que estos metales no se pueden degradar o destruir, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos o lixiviación, también pueden formar compuestos solubles de tal manera que se adhieren a la cadena trófica siendo dañinos en concentraciones altas.

Con la finalidad de certificar los resultados para las concentraciones de estos metales pesados, se pueden observar los límites de detección en la tabla 8, calculados para el análisis de metales por espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS).

Tabla 7. Límites de concentración establecidos por ECA para agua DS-004-2017 MINAM para los metales pesados evaluados

Parámetros	Unidad	Valor ECA para agua DS-004-2017 MINAM		
		Categoría 1A2	Categoría 3	
			D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales
Cadmio	mg/L	0,005	0,01	0,05
Cobre	mg/L	2	0,2	0,5
Mercurio	mg/L	0,002	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,05

Las concentraciones de Cadmio en la mayoría de estaciones de muestreo tuvieron valores elevados del límite de detección para el análisis (0.00005 mg/L) pero, en el caso de las estaciones RL02, RL04, RL05, RR05 y RC03 exceden los parámetros para la categoría 3 subcategoría D1 y las estaciones RR01, RR03 y RR04 exceden ligeramente los valores para la categoría 1 subcategoría A2. Se encontró debido al refinamiento de cobre, Zinc y plomo.

Tabla 8. Concentración de metales pesados y sus límites de detección para el laboratorio donde se analizó por el método ICP-MS

Río	Estación de muestreo	Concentración de metales pesados y sus límites de detección para el laboratorio por el método ICP-MS							
		Cadmio(Cd)	LD	Cobre (Cu)	LD	Mercurio (Hg)	LD	Plomo (Pb)	LD
Lurín	RL01	0.0089		0.014		<0.00005		0.007	
	RL02	0.0153		0.025		<0.00005		0.012	
	RL03	0.0097		0.021		<0.00005		0.009	
	RL04	0.0134		0.178		<0.00005		0.076	
	RL05	0.0183		0.089		<0.00005		0.031	
Rímac	RR01	0.0109		0.384		<0.00005		0.027	
	RR02	<0.00005		0.026		<0.00005		0.006	
	RR03	0.0131	0.00005 mg/L	0.147	0.0003 mg/L	<0.00005	0.00005 mg/L	0.271	0.0002 mg/L
	RR04	0.0159		0.091		<0.00005		0.031	
	RR05	0.0142		0.063		<0.00005		0.027	
Chillón	RC01	<0.00005		<0.0003		<0.00005		0.001	
	RC02	0.0008		0.071		<0.00005		0.091	
	RC03	0.0116		0.311		<0.00005		0.028	
	RC04	0.0012		0.172		<0.00005		0.147	
	RC05	<0.00005		0.031		<0.00005		0.018	

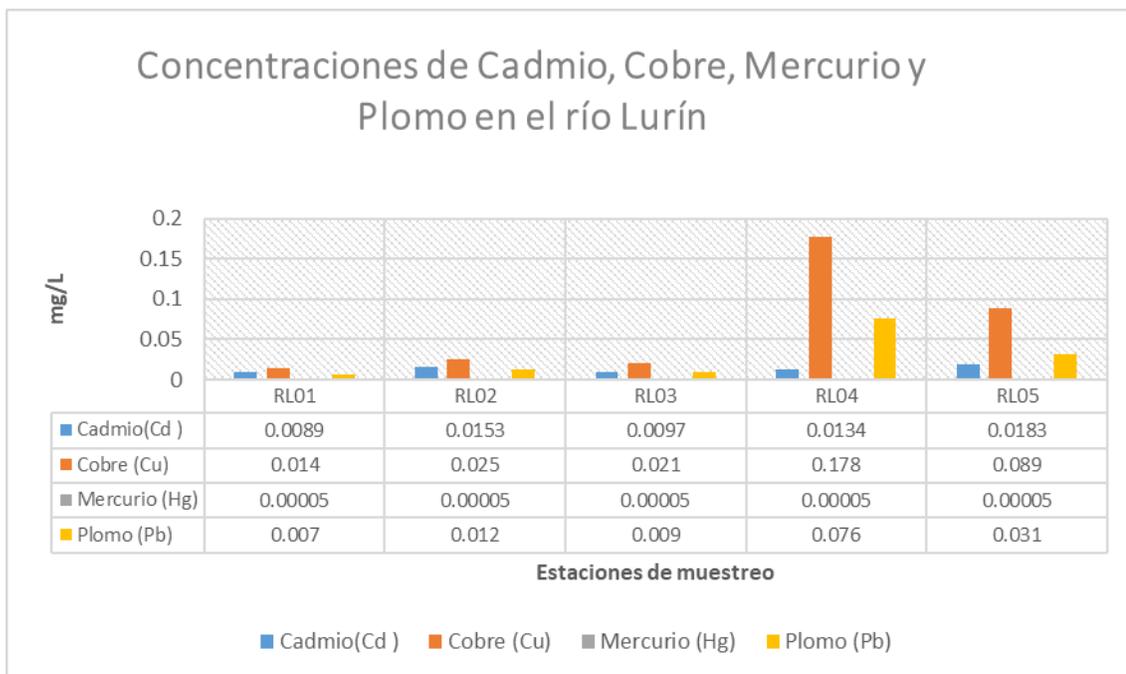


Gráfico 4. Concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo en el río Lurín

Los valores de las concentraciones de Plomo sobrepasan levemente los valores establecidos por los ECA (0.05 mg/L) en las estaciones RL04, RR03 y RC04. Los valores de los parámetros permisibles de los ECA se aprecian en la tabla 7.

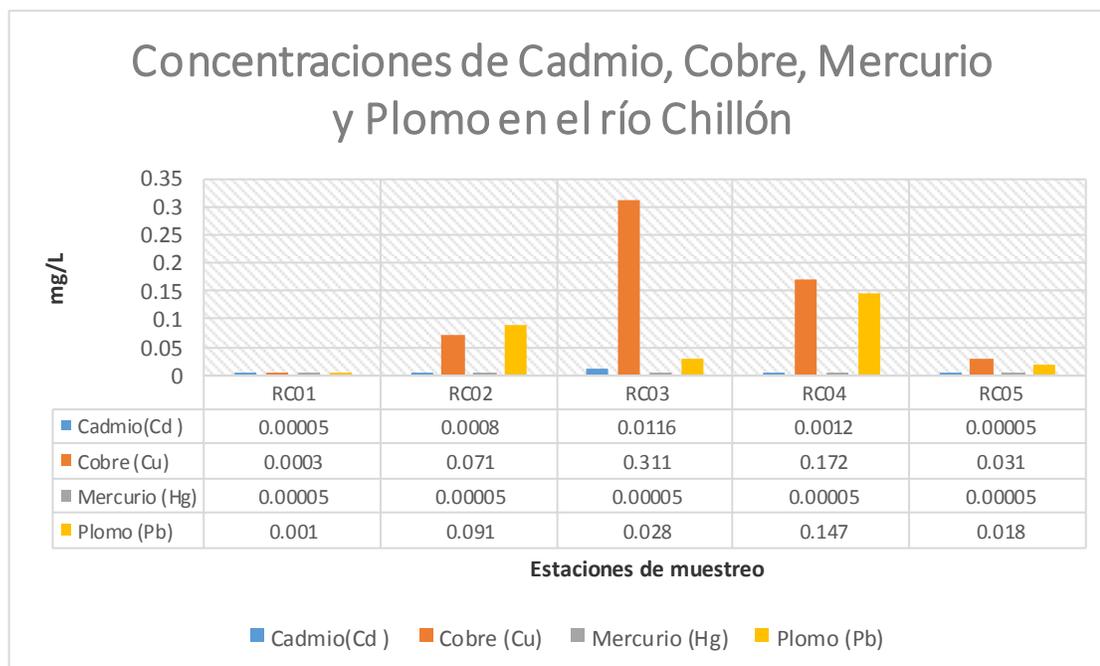


Gráfico 5. Concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo en el río Chillón

En el caso de las concentraciones del metal cobre solo en la estación RC03 se encuentra con un 0.311mg/L que excede a los valores establecidos en un 0.111mg/L según a la categoría perteneciente para la subcategoría D1: Riego de Vegetales (Cat 3: 0.2mg/ L). Estos valores se deben a la existencia de fábricas de baterías y plantas de fundición informales en la cuenca baja del río Chillón y cerca de sus laderas.

Las concentraciones de Mercurio se encontraron por debajo del límite de detección (0.00005 mg/L) y de lo establecido por los ECA.

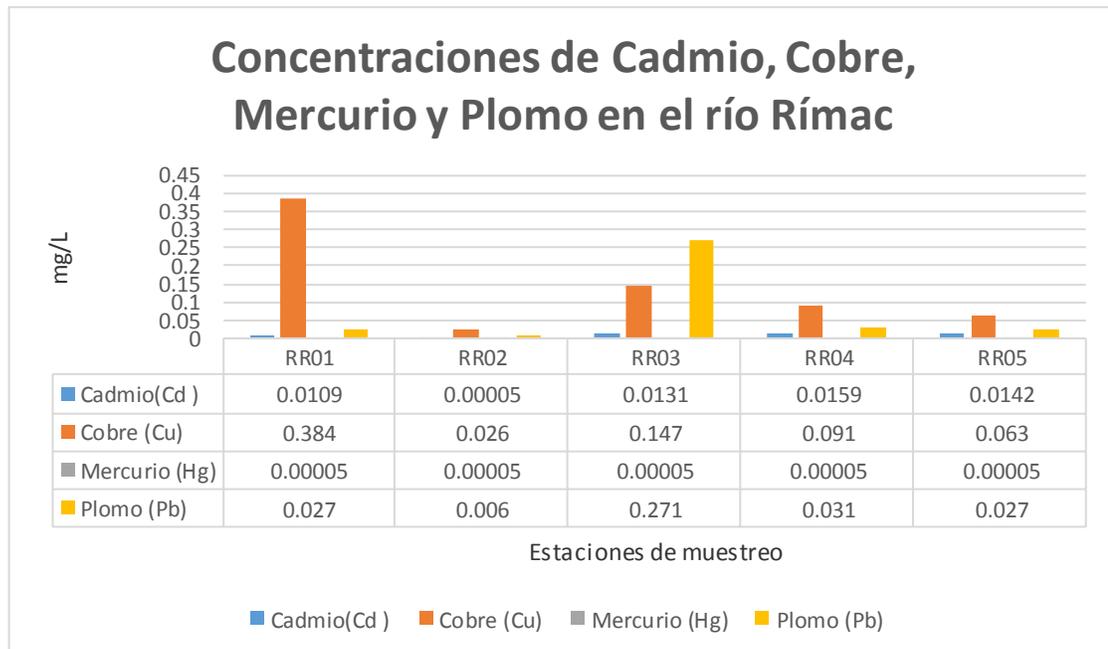


Gráfico 6. Concentraciones de Cadmio, Cobre, Mercurio y Plomo en el río Rímac

6.2. Parámetros microbiológicos

- Pre-enriquecimiento de la muestra

Luego de transportar las muestras al laboratorio se realizó el pre- enriquecimiento de las muestras con agua peptonada alcalina y posteriormente se cultivó en medio selectivo de diferenciación agar TCBS, donde el color del medio cambió a amarillo y se obtuvieron dos tipos de colonias, colonias verdes y colonias amarillas. Se seleccionó las colonias amarillas que indican la fermentación de sacarosa por lo tanto, se presume que estas colonias son un presunto resultado positivo para *Vibrio cholerae*.

En todas las placas con agar TCBS creció presuntas colonias representativas para el género *V. Cholerae* de las muestras de agua superficial obtenidas de las diferentes estaciones de muestreo.

- **Resiembra en agar Nutritivo 1% NaCl**

Se aislaron 900 colonias amarillas que fueron sembradas por el método de estría en tubos que contenían agar nutritivo suplementado con 1% de NaCl e incubado a 37°C durante 24 horas, con el fin de obtener un cepario, para luego realizar las pruebas bioquímicas.

- **Pruebas bioquímicas**

a) LIA y TSI

Se realizaron conjuntamente las pruebas bioquímicas de LIA y TSI con el fin de obtener las cepas positivas que nos acerquen al aislamiento de *V. Cholerae*, para ello se buscó reacciones características de *V. cholerae*. En el caso de TSI inclinado debe presentar una coloración A/A = cuña ácida (amarillo), fondo ácido (amarillo), sin gas ni H₂S. Mientras que para LIA inclinado debe ser una reacción K/K = cuña purpura, fondo purpura, sin producción de gas ni H₂S.

Como resultado de ello se observó solo 5 cepas positivas para ambas pruebas en las aguas de río Rímac, mientras que el río Chillón fueron 10 cepas positivas y para el río Lurín resultaron 34 cepas positivas.

Posterior a estos resultados se resembraron estas cepas en agar nutritivo inclinado por 24 horas de incubación para la obtención de cepas frescas de tal manera que se pueda realizar la prueba de oxidasa y prueba del desoxicolato de sodio.

b) Prueba de oxidasa y prueba del desoxicolato de sodio

Con la finalidad de tener mayor certeza en nuestro aislamiento se realizaron conjuntamente las pruebas de oxidasa y del desoxicolato de sodio. Para el primer caso da positivo tornándose azul cuando *V. cholerae* produce citocromo oxidasa y reacciona con N,N – dimetil-p-fenilendiamina, el alfa- naftol de las tiras dando una coloración azul de indofenol. Y para la segunda prueba da positivo cuando las células se lisan y se desprende el ADN generando la viscosidad de la mezcla por la acción del desoxicolato de sodio al 0,5%.

Se obtuvieron positivas para ambas pruebas 1 cepa para el río Rímac, 8 cepas para el río Chillón y 18 cepas para el río Lurín, que confirmaron ser *V. cholerae*. La tasa de recuperación más alta fue en la estación de muestreo RL04, RL05 y RC02 donde se obtuvieron 8, 6, 4 aislamientos respectivamente.

Tabla 9. Número de cepas encontradas en los ríos Rímac, Chillón y Lurín.

Río	Estación de muestreo	Número de cepas encontradas	Categoría de la estación según ECA-agua DS-004-2017 MINAM	
Rímac	RR04	1	1A2	Ausencia
Chillón	RC01	3	1A2	Ausencia
	RC02	4		
	RC04	1	3	No aplica
Lurín	RL01	1	3	No aplica
	RL03	3		
	RL04	8		
	RL05	6		

En la tabla 9 podemos observar el número de cepas encontradas en las estaciones en las que se les halló y la información para este parámetro respecto a la categoría perteneciente de acuerdo al ECA-agua DS-004-2017 MINAM. Según lo observado notamos que las estaciones RR04, RC02 y RC02 no cumplen lo establecido en los ECA- agua ya que, se encontraron cepas de *V. Cholerae* en las estaciones. Con respecto a las demás estaciones (RC04, RL01, RL03, RL04 Y RL05) si bien no se aplica este parámetro, debemos tomarlo en cuenta como alerta y tomar medidas de sensibilización a la población para poder prevenir algunos casos de enfermedades por dicha bacteria.

- Prueba de susceptibilidad antimicrobiana por difusión en agar

Se realizó la prueba de susceptibilidad antimicrobiana a las cepas de *Vibrio cholerae* aisladas previamente, observando la inhibición de crecimiento efectuado por 6 antibióticos.

Tabla 10. Detalle de los discos de antibiótico, zona de diámetro de inhibición según Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI).

Antibiótico		Disco (ug)	Zona de diámetro de Inhibición (mm)		
			Sensible	Intermedio	Resistente
Cloranfenicol	C	30	≤12	13-17	≥18
Tetraciclina	TE	30	≤14	15-18	≥19
Trimetoprima/ sulfametoxazol	SXT	25	≤10	11- 15	≥16
Doxiciclina	DO	30	≤14	15-18	≥19
Furazolidona	FX	100	≤17	-	≥18
Eritromicina	E	15	≤17	14-22	≥23

Tabla 11. Susceptibilidad antimicrobiana en cepas de *Vibrio Cholerae* aisladas de las estaciones de muestreo ubicadas en los ríos Rímac, Lurín y Chillón.

Antibiótico	Sensible	Intermedio	Resistente
C	74	22	4
TE	48	22	30
SXT	81	4	15
DO	74	7	19
FX	70	-	30
E	52	33	15

C: Cloranfenicol, TE: Tetraciclina, STX: Trimetoprima/ sulfametoxazol,
DO: Doxiciclina, FX: Furazolidona, E: Eritromicina

Nota: Todos los datos están en porcentaje.

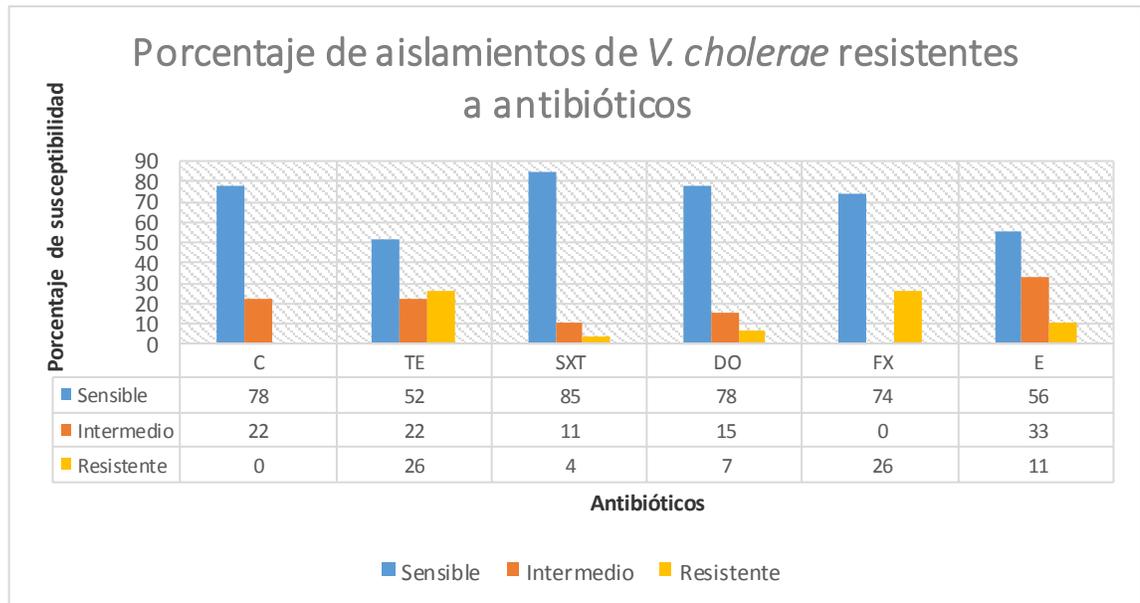


Gráfico 7. Porcentaje de aislamientos de *V. cholerae* resistentes a antibióticos

Se evidenció los mejores resultados de sensibilidad con el uso del antibiótico cloranfenicol con un 74% y hubo 4% de cepas resistentes. Otro antibiótico con buen resultado en su sensibilidad fue antibiótico Trimetoprima/ sulfametoxazol con 81%. Asimismo, la doxiciclina que es uno de los antibióticos de primera línea recomendados para el tratamiento en adultos tuvo un buen resultado de sensibilidad con un 74%.

En el caso de la eritromicina si bien tuvo un 52% de sensibilidad su resistencia intermedia fue de 33% que es un valor elevado considerando los resultados con los demás antibióticos.

Si bien los resultados de resistencia de tetraciclina (Antibiótico de primera línea recomendado para embarazadas y niños) y furazolidona fueron los más altos con un 30%, pero en el caso de esta última tuvo un 70% de sensibilidad respecto a nuestros aislamientos.

Cabe resaltar que los antibióticos que se utilizó para medir la susceptibilidad antimicrobiana son bacteriostáticos lo que indica que no mata al microorganismo, sino que inhibe su crecimiento. Es por ello que se pudo observar en las placas realizadas para el antibiograma muchos casos en las que la bacteria volvió a cubrir el diámetro de inhibición.

- **Evaluación de huevos de helmintos (Huevo/L)**

Se evaluaron 15 muestras de un litro cada una. Encontrándose un total de 5 huevos de helmintos para todas las estaciones analizadas. Resaltando el río Chillón con un total de tres huevos, se encontró el género *Ancylostoma* spp. para las estaciones RC03 y RC04 en cantidades de 2 y 1 respectivamente. En el caso del Río Lurín solo se hayó 1 *Ancylostoma* spp. en la estación RL02 y para el río Rímac fue 1 *Ascaris* spp. en estado infértil en la estación RR03. Esto nos indica que En las demás estaciones no se observaron helmintos.

La estación RC03 no cumple con lo establecido en los ECA para agua ya que, según la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales donde indica que solo se debe encontrar 1 huevo por litro y se hallaron 2 huevos para esta estación. En el caso de las estaciones RL02 y RC04 que presentan la misma categoría que la anterior estación mencionada cumplen con el ECA de agua, pero casi en el límite, debido a que solo se encontró un huevo en cada una.

Cabe mencionar, se hallaron larvas de nematodo tanto hembras (3) como machos (3) del género *Rhabdoleimus* sp., también se hayó una (1) larvas de *Strongyloides stercoralis* adulto macho, una (1) larva rhabditiforme de *Ancylostoma* spp. y por último cinco (5) larvas de la familia Rhabditidae. Por otro lado, en el río Lurín se encontraron 17 huevos y 3 larvas de la Familia Chironomidae (Diptera) en las estaciones RL03 y RL05 cuya distribución fue de 5 y 12 huevos respectivamente, mientras que las larvas pertenecen solo a la estación RL05. Estos dípteros tienen una extensa distribución y son muy abundantes en aguas continentales y las larvas de Chironomidae son de importancia debido a que son comúnmente utilizadas como indicadores de contaminación acuática. También se identificó un rotífero *Flilinia* sp.

Tabla 12. Concentración de Huevos de helminto

Río	Estación de muestreo	Huevo de helminto	Cantidad	ECA-agua DS-004-2017 MINAM	
				Eca-Cat-1A2	Eca-Cat-3
Lurín	RL01	-	-	No aplica	1 huevo/L (Riego) No aplica (Bebida)
	RL02	<i>Ancylostoma</i> spp.	1		
	RL03	-	-		
	RL04	-	-		
	RL05	-	-		
Chillón	RC01	-	-		
	RC02	-	-		
	RC03	<i>Ancylostoma</i> spp.	2		
	RC04	<i>Ancylostoma</i> spp.	1		
	RC05	-	-		
Rímac	RR01	-	-		
	RR02	-	-		
	RR03	<i>Ascaris</i> spp. infértil	1		
	RR04	-	-		
	RR05	-	-		

Cat- 1A2: Categoría 1 Poblacional y Recreacional, Subcategoría A2: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (Estaciones de muestreo que aplica Cat-1A2:RR01, RR02, RR03, RR04, RC01 Y RC02).

Cat-3: Riego de vegetales y bebida de animales (Estaciones de muestreo que aplica Cat-3: Todas las estaciones en el río Lurín, RR05, RC03, RC04 Y RC05).

Tabla 13. Concentración de larvas helmintos

Río	Estación de muestreo	Larvas	Cantidad
Lurín	RL01	-	-
	RL02	<i>Rhabdoleimus</i> sp.	2
	RL03	<i>Rhabdoleimus</i> sp.	3
	RL04		
	RL05	<i>Rhabdoleimus</i> sp. , Rhabditidae.	2
Chillón	RC01	-	-
	RC02	-	-
	RC03	<i>Strongyloides stercoralis</i> , <i>Ancylostoma</i> spp	2
	RC04	-	-
	RC05	Rhabditidae.	1
Rímac	RR01	-	-
	RR02	Rhabditidae.	1
	RR03	-	-
	RR04	Rhabditidae.	1
	RR05	Rhabditidae.	1

7. DISCUSIÓN

Para la evaluación de la calidad del agua se consideró los ECA con la finalidad de tener los parámetros de acuerdo a la normativa para los ríos Lurín, Rímac y Chillón ya que, estos presentan diferentes niveles de los parámetros fisicoquímicos y biológicos según de donde se tome la muestra, esto se debe a su diferente clasificación. Los ECA para evaluar el río Lurín fueron de categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales descritos en el DS N° 004-2017-MINAM, debido que en sus márgenes de este se presencia más actividades agrícolas y ganaderas.

En la evaluación de los ríos Rímac y Chillón se tomaron en cuenta los ECA de la categoría 1: Poblacional y Recreacional subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional y categoría 3 debido a las diferentes consideraciones de las actividades realizadas en los márgenes de estas cuencas. Esta división de categoría dependiendo del río y de la estación de muestreo se aprecia en la tabla 14. En la tabla 15, se aprecian los criterios de calidad usados según los ECA para agua.

Tabla 14. Categoría de las estaciones de los ríos y las estaciones de muestreo según el DS N° 004-2017-MINAM

Río	Estación de muestreo	Categoría según ECA para agua DS-004-2017 MINAM	
		Categoría 1A2	Categoría 3
Lurín	RL01		X
	RL02		X
	RL03		X
	RL04		X
	RL05		X
Rímac	RR01	X	
	RR02	X	
	RR03	X	
	RR04	X	
	RR05		X
Chillón	RC01	X	
	RC02	X	
	RC03		X
	RC04		X
	RC05		X

Tabla 15. Parámetros mínimos recomendados para monitoreo de aguas superficiales

Parámetros	Unidad	Valor ECA para agua DS-004-2017		
		Categoría 1A2	Categoría 3	
			D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3
Conductividad	μS/cm	1600	2500	5000
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	5,5 – 9,0	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	15	15
Cadmio	mg/L	0,005	0,01	0,05
Cobre	mg/L	2	0,2	0,5
Mercurio	mg/L	0,002	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,05
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/ 100 ml	Ausencia	-	-
Huevos de Helmintos	Huevo/L	-	1	-

Los datos obtenidos para la calidad del agua con respecto a su contaminación con Pb en la cuenca baja del río Rímac en los meses de Abril, Mayo y Junio realizada esta investigación han sobrepasado levemente los límites máximos permisibles (LMP) de los ECA lo cual es dañino para la agricultura en especial de hortalizas, estos resultados concuerdan con Henry Juárez (2012) quien en su investigación “Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima Metropolitana” encontró concentraciones muy altas de Pb en toda la cuenca, en especial la alta, también concuerda con el informe de estadísticas ambientales (Marzo, 2018) del Instituto Nacional de Estadística e Informática mediante un informe técnico indica que el Servicio de Agua Potable en el mes de marzo del 2018 tuvo una concentración de plomo promedio de 0,082 mg/L y máximo de 0,435 mg/L, para este año 2019 se registraron valores máximos en enero de 0,137mg/ L que han ido bajando encontrándose para julio con una concentración máxima de 0,065 mg/L, lo que significó un aumento de 32.7% con respecto a su valor máximo para julio del año pasado. Asimismo, Helen Calla (2010) en su

trabajo de tesis "Calidad del Agua en la cuenca del Río Rímac- sector San Mateo", indicó que existen iones metálicos de Cadmio, Plomo, Manganeso, Arsénico y Hierro en las aguas del río Rímac. Corroborando la concentración ligeramente elevada de las concentraciones de Cd para casi todas las estaciones de muestreo en este río tomadas para este trabajo. De igual manera el informe de la ANA (2014)" Informe del primer monitoreo 2014 de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac" donde resalta la afectación por este metal en la cuenca baja del río. Estos resultados se confirman con la información publicada del INEI actualizada hasta Julio del 2019 en su informe mensual de estadísticas ambientales que indica que para este mes la concentración máxima fue 0,003 mg/L esto indica un descenso en su concentración con respecto al mes de enero que fue de 0,020 mg/L y resaltando el valor máximo del año pasado para el mes de marzo con un 0,064 mg/L de concentración que supera los valores establecidos para los ECA de agua.

En cuanto a las concentraciones de Cobre (Cu) halladas para este trabajo confirman la presencia de cobre en esta cuenca no superando los niveles de los ECA para agua, coincidiendo con Michele Velásquez (2018) quien en su tesis "Contaminación por Plomo y Cobre en el Río Huaycoloro y su influencia en la Calidad del Agua en el río Rímac, 2018" y con la Evaluación de muestras de agua del río Rímac y principales afluentes con datos de DIGESA y SEDAPAL - 11 / 12 de MAYO 2011 quienes indicaron que las concentraciones de cobre en esta cuenca estaban dentro de lo establecido para los ECA.

Con respecto a la calidad del agua del río Lurín en nuestro estudio se encontró que los niveles de pH para las estaciones RL01, RL02 y RL03 excedían los niveles establecidos por los ECA lo cual concuerda con los resultados del segundo monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Lurín (2014), donde indica que toda la cuenca del río es de naturaleza básica y en ciertas estaciones exceden los valores de los ECA. Asimismo, indican que los niveles más altos de afectación se dan cerca de la desembocadura del río (río Lurín, cruce con la Panamericana Sur) presumiendo que es por los vertimientos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Julio C. Tello San Bartolo.

En cuanto a la calidad del agua del río Chillón nuestros resultados concuerdan con la información dada por la ANA en el Informe técnico de resultados del segundo monitoreo participativo de la calidad del agua en la cuenca del río chillón (2013) indicando que los parámetros químicos de demanda bioquímica de oxígeno, cadmio, cobre, mercurio y plomo para las estaciones de muestreo RC01 y RC02 de este trabajo donde aplica la Categoría 1-A2 de los ECA-Agua cumplen con los límites permisibles. Por otro lado, los puntos en donde se aplica la Categoría 3 y concordando con nuestro resultado con respecto a las concentraciones de plomo para la estación RC04 donde se indica un ligero aumento según los ECA coincidiendo con el

informe que reporta exceso de plomo para las estaciones tomadas cerca a nuestra estación de muestreo. Con respecto al cadmio en este informe indica que este metal no se encontró excediendo los parámetros de los ECA, lo cual no coincide con nuestro trabajo debido a que para la estación RC03 no cumplió con lo establecido. También, esta estación según nuestro estudio no cumple con los ECA debido a que excede ligeramente las concentraciones de cobre pero en el estudio realizado por el ANA esta estación cumple con lo establecido.

Según Terrones y Herrera (2015) en su trabajo “Calidad del agua en la cuenca baja del río chillón en época de estiaje y riesgo por el uso directo en riego agrícola” informan que los valores de cadmio, plomo y mercurio exceden más del doble los ECA-agua. Donde se encontraron que Cd presentaba un valor promedio de 0.0094 mg/L, máximo 0.1290 mg/L y mínimo 0.00019 mg/L; para Pb el valor promedio fue de 0.0952mg/L, máximo 1.381 mg/L y mínimo de 0.00274 mg/L; para Hg el valor promedio fue de 0.03068 mg/L, máximo de 0505 mg/L y mínimo de 0.00004 mg/L. Estos resultados no concuerdan con los nuestros ya que, en algunas estaciones hubo un ligero exceso, pero no fue del doble.

En el estudio realizado por Carmen Reyes (2012) en su tesis de maestría “Estudio de la contaminación de las aguas del río Chillón” evidenció valores que sobrepasaron los ECA para los metales como plomo, arsénico, hierro, cadmio; esto concuerda con nuestros resultados. Sin embargo, no para nuestro resultado de cobre ya que, el valor de este metal, así como el cromo y el zinc para Reyes se encontraron por debajo del estándar.

El cólera sigue siendo una amenaza para la salud pública en especial para países como el nuestro que se encuentran en vías de desarrollo y no contamos con un adecuado suministro de agua potable y saneamiento. Los resultados de este estudio han confirmado la presencia de *V. cholerae* en las aguas de las cuencas de los tres ríos estudiados. Creando una alerta para la salud ya que, en la estación RR04 del río Rímac y las estaciones RC01, RC02 y RC04 se encontró la presencia de cepas de esta bacteria indicando el incumplimiento de los parámetros para la categoría 1A2 a la que pertenecen dichas estaciones. Por otro lado en las estaciones RC04, RL01, RL03, RL04 Y RL05 también se encontraron cepas de *V. cholerae* pero en el caso de estas estaciones no se aplica este el parámetro para esta categoría según el DS-004-2017 MINAM. Estudios anteriores hechos en Haití muestran el hallazgo de 7 cepas aisladas de tres ríos y un estuario (Alam, *et al.* 2014). Otro trabajo realizado por Abana *et al.* en Ghana (2019) indica la presencia de *V. cholerae* en muestras de agua de río y fuentes domésticas, incluidos pozos poco profundos, recipientes de almacenamiento y grifos domésticos. Con respecto al aislamiento que realizaron de las aguas de los ríos confirmaron 33 cepas identificadas como *V. cholerae* O1. Estos estudios respaldan nuestros resultados, estos hallazgos no sorprenden debido a que algunos ríos se utilizan como vertederos de desechos humanos, animales y domésticos.

Es por ello que se debe tener mayor cuidado en evitar la propagación de esta bacteria debido a que puede producir la enfermedad del cólera, por ende el sistema de vigilancia debe estar alerta y tener medidas de prevención y control adecuadas. Un componente clave en el manejo y control del cólera, además de la rehidratación y la higiene, es el tratamiento con antibióticos, si bien no es un componente esencial en el tratamiento, ayuda a la disminución del volumen y la duración de las diarreas, acorta el tiempo de duración del desprendimiento de organismos por vía de las heces y reduce las muertes aproximadamente un 50%.

Los medicamentos recomendados por la Organización Mundial de la Salud para el tratamiento del cólera son tetraciclina, ácido nalidíxico, furazolidona, azitromicina, Trimetoprima/sulfametoxazol, eritromicina, doxiciclina, ciprofloxacino y cloranfenicol. En este estudio fueron usados seis de estos antibióticos donde se evidencio suceptibilidad a cloranfenicol, doxiciclina y Trimetoprima/ sulfametoxazol. Sin embargo, el estudio de Kuma, *et al.* (2014) en Ghana muestra niveles altos de resistencia para la eritromicina (94.4%) y el cloranfenicol (66.7%), lo que los hace inseguros para el manejo actual del cólera en ese país, mientras que en nuestro trabajo la eritromicina tuvo un 52% de sensibilidad y 33% de resistencia intermedia. En el trabajo de Abana, *et al.* (2019) en Accra, Ghana demuestran una pérdida de sensibilidad a eritromicina y el ácido nalidíxico, que se utilizan para el tratamiento de primera línea y también, una gran cantidad de aislamientos fueron resistentes a Trimetoprima/ sulfametoxazol lo que contradice nuestros resultados; en este mismo trabajo se informó un gran porcentaje de aislamientos sensibles a doxiciclina y por consiguiente a la tetraciclina ya que este antibiótico proviene del grupo de las tetraciclinas, este resultado respalda los nuestros. En el trabajo de Marin, *et al.* En Nigeria (2013) encontraron resistencia a tetraciclina y cloranfenicol, mientras que en nuestro trabajo el cloranfenicol dio uno de los mejores resultados de sensibilidad frente a nuestros aislamientos.

Es de alarma para la salud pública la resistencia que va obteniendo *V. cholerae* a los antimicrobianos, existen múltiples razones para el aumento de su resistencia. Una de las más importantes se da en la transferencia horizontal de genes a través de elementos genéticos móviles, como los elementos integrativos y conjugativos de la familia de integrones móviles SXT, llamado así por conferir resistencia a sulfametoxazol y trimetoprima. La característica más resaltante de los elementos SXT es su habilidad para el transporte de genes resistentes a múltiples fármacos y los transfieren entre bacterias. (Waldor, *et al.* 1996; Guerrant, *et al.* 2001; Goel & Jiang, 2010; Wang, *et al.* 2016).

Nuestros resultados para el parámetro huevos de helmintos en la estación RC03 no cumple con lo establecido en los ECA para agua ya que, según la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales donde indica que solo se debe encontrar 1 huevo por litro para esta investigación se

hallaron 2 huevos en esta estación. Es de importancia resaltar el hecho que las estaciones RL02 y RC04 que presentan la misma categoría que la anterior estación mencionada cumplen con el ECA de agua pero casi en el límite, debido a que sí se halló un huevo en cada una de ellas. La presencia de estos huevos en el agua es inapropiada por ser un riesgo para la salud pública y la crianza de animales ya que, pueden contraer infecciones al exponerse al agua, suelo o alimentos contaminados con heces y aumentaría más el riesgo debido a la reutilización de aguas residuales y lodos en la agricultura (Amoah, *et al.* 2017). Los huéspedes infectados, ya sean humanos o animales, arrojan grandes cantidades de (oo) quistes y huevos al medio ambiente a través de las heces, estos parásitos son muy resistentes y pueden sobrevivir durante más de un año en el medio ambiente (Wichuk & McCartney, 2007).

Robert Pullés en su trabajo “Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Cuba” menciona que los huevos de *Ascaris lumbricoides* pueden sobrevivir en el ambiente por meses sin la necesidad de multiplicarse. De la misma forma ocurre en varios huevos y larvas. Es por ello, que el agua para consumo humano no debe contener larvas maduras ni huevos fertilizados debido a que, un ejemplar podría desencadenar una infección.

En el estudio realizado por Amoah, *et al.* (2017) indican la prevalencia en la detección de huevos de helminto de los géneros *Taenia* spp., *Ancylostoma* spp. y *Ascaris* spp. , lo que respalda nuestros resultados ya que, dos de ellas son los géneros encontrados en nuestro estudio. En el trabajo de Campos, *et al.* (2018) donde evaluó la concentración de huevos de helmintos en las aguas del río Bogotá utilizado para riego agrícola en el distrito La Ramada, se encontraron de 0,1 a 3 huevos de helmintos por litro y de 0,1 a 1 huevos viables de helmintos por litro. Otros estudios indican que el género *Ascaris*, es encontrado comúnmente seguido de *T. trichiura*, *Toxocara* spp., *Ancylostoma* spp., *H. nana*, *H. diminuta*, *Taenia* spp. y *E. vermicularis*. en diferentes matrices ambientales (Özlem & Sener, 2015). Otros organismos encontrados en las aguas de los ríos son los organismos de vida libre entre los cuales están los quistes, ooquistes de protozoos, huevos y larvas de nematodos que también se han encontrado en este trabajo son *Rhabdoleimus* sp., Familia Rhabditidae, *Strongyloides stercoralis* y *Ancylostoma* spp.. Las formas de vida libre de estos parásitos son consideradas un tema de preocupación para los trabajadores y la salud pública (Al-Salem, 1996).

8. CONCLUSIONES

Este estudio mostró variaciones en los resultados de la calidad del agua según los parámetros analizados con respecto a cada río.

En el río Rímac observamos que para los parámetros físicos de temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales sus los valores reportados se encuentran dentro de lo establecido en ECA-Agua para la categoría que pertenece cada estación muestreada, lo mismo ocurre para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). En lo referente a los parámetros químicos analizados se observa que las concentraciones de Plomo en la estación RR03 se encuentra por encima de los ECA-Agua categoría 1A2 (0,05 mg/L) y para el Cadmio en las estaciones RR1, RR03, RR04 y RR05, también excedían los ECA-Agua categoría 1A2 y 3 (Cat 1A2: 0,005 mg/L, Cat 3: 0,01- 0,05 mg/L). Se debe tener cuidado con el metal Cd y con las aguas contaminadas con este al momento en que los agricultores riegan sus productos ya que, el Cd fácilmente puede ser bio-acumulado.

Respecto a los parámetros microbiológicos y parasitológico, se encontró una cepa de *V. cholerae* que refiere el incumplimiento de los ECA- agua categoría 1A2 (Ausencia) y un huevo de helminto por un litro de muestra que, si bien para este parámetro en esta categoría no aplica, debe ser tomado en consideración.

El río Chillón mostró que sus parámetros físicos de pH excedían los valores de los ECA para la categoría 3 (6.5-8.5 unidad de pH) en las estaciones RC03, RC04 y RC05. En los parámetros químicos de DBO₅ se encontraron dentro de lo normalizado. Pero en las concentraciones de Cadmio y Cobre en las estaciones RC03 no cumplieron con el ECA – agua Categoría 3 subcategoría D1 (Cd: 0,01 mg/L, Cu: 0.2mg/ L) y tampoco el Plomo en la estación RC04 (0.05 mg/L). Con relación a los parámetros microbiológicos de *V. cholerae* se encontraron en las estaciones RC01, RC02 y RC04 en una cantidad de 3, 4 y 1 respectivamente, incumplándose los ECA en las estaciones RC01 y RC02 excluyendo la estación la estación RC04 debido a que en esta no se aplicaba el parámetro. Este resultado fue mayor que en el río Rímac esto se debe a que existen mayor los vertimientos de aguas residuales domésticas y municipales las cuales son vertidas sin tratamiento previo al río Chillón. Así mismo la existencia de botaderos de residuos sólidos en los márgenes del río que afectan la calidad del mismo. Con lo que respecta a los huevos de helminto las estaciones RC03 sobrepaso el parámetro ya que se encontraron 2 huevos.

En cuanto al río Lurín las estaciones RL01, RL02 y RL03 se determinó que exceden el parámetro físico de pH de la categoría 3, para el parámetro químico de Cadmio las estaciones

RL02, RL04 y RL05 excedían los límites de los ECA- agua categoría 3 y también en la estación RL04 la concentración de Plomo excede lo establecido. Con respecto a los parámetros microbiológicos fue el río en el que más se encontraron cepas de *V. cholerae* pero, no se aplica este parámetro para esta categoría ya que toda la cuenca pertenece a la categoría 3.

Si bien se observaron resultados favorables de sensibilidad ante la cepa de *V. cholerae* con el antibiótico cloranfenicol (74%) en el antibiograma, aun la doxiciclina que es el fármaco de primera línea sigue teniendo buenos resultados. Es importante señalar que hoy en día, dependiendo del lugar y del uso de los antibióticos las cepas de *V. cholerae* se están volviendo resistentes a ciertos antibióticos por lo que es bueno tener un uso apropiado de antibióticos, sensibilización a la población acerca de las enfermedades que se pueden contraer y el suministro de una buena calidad de agua potable para prevenir el brote de cólera.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante continuar con el monitoreo de la calidad del agua de los ríos Rímac, Chillón y Lurín ya que, son los que abastecen de agua a la ciudad de Lima en donde se concentra la mayor población urbana de nuestro país.
- ✓ Difundir la información del estado en que se encuentran las aguas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín de tal manera que la población urbana, las compañías de distribución de agua y el gobierno tomen conciencia de las implicaciones en la salud que puede tener al consumir de estas aguas y puedan tomar decisiones certeras para mejorar la calidad de estas aguas superficiales.
- ✓ Incentivar a la población a tomar conciencia sobre el manejo de residuos sólidos, ya que muchas riberas de los ríos son usadas como depósitos de basura. Esto debe realizarse con ayuda de las municipalidades distritales de manera que sea más rigurosa la supervisión y en caso que se observe alguna persona o empresa en flagrancia, esta sea multada. Asimismo, establecer un plan de educación con respecto a *V. cholerae* ya que, normalmente se conoce por ser una bacteria que se encuentra en aguas de mar, entonces la población no está alerta ante el daño a la salud que esta puede causar.
- ✓ Reforzar el tratamiento de las aguas superficiales cuando entran a las plantas de tratamiento por los huevos de helmintos encontrados ya que su mantenimiento es poco

eficaz para eliminarlos. Esto es importante para la protección de la salud pública y ambiental.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abana, D., Gyamfi, E., Dogbe, M., Opoku, G., Opare, D., Boateng, G., & Mosi, L. (2019). Investigating the virulence genes and antibiotic susceptibility patterns of *Vibrio cholerae* O1 in environmental and clinical isolates in Accra, Ghana. *BMC Infectious Diseases*.
- Abrahams, P. (2012). Soils: their implication to human health. *Science of the Total Environment*, Vol. 29(1). Pp. 1-32.
- Alam M, Weppelmann T, Weber C, Johnson J, Rashid M, Birch C, et al. Monitoring water sources for environmental reservoirs of toxigenic *Vibrio cholerae* O1. *Haiti Emerg Infect Dis*. 2014; 20(3):356–63.
- Agencia de Protección Ambiental (EPA). (1994) Method 200.8, Revision 5.4: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry.
- Alberto, A. (2014). Catice de Valencia Secretaría de Estado de Comercio. Normas y valores de metales pesados en los alimentos en varios países e instituciones. 1 Ed. Madrid (España): Mundo prensa, Pp.145.
- Ali M, Lopez AL, You YA, Kim YE, Sah B, et al. (2012). The global burden of cholera. *Bulletin of the World Health Organization* 90: 209-218A.
- Aliaga, E. (2005). Programa de monitoreo del Río Rímac en la cuenca media y baja. Facultad de Ingeniería química y textil. Informe de ingeniería para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico por la modalidad de experiencia profesional. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima -Perú.

- Al-Salem, S. (1996). Prevalence of *Ascaris lumbricoides* among the primary schoolchildren in Faizabad City/Afghanistan ; Epidemiological Survey WHO/WR/Afg.
- Amoah, I.D.; Singh, G.; Stenström, T.A.; Reddy, P. Detection and quantification of soil-transmitted helminths in environmental samples: A review of current state-of-the-art and future perspectives. *Acta Trop.* 2017, *169*, 187–201.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2010). Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del río Rímac. Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales. Lima. Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2014). Diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos en el Perú 2000-2012”. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH). Lima- Perú.
- Autoridad nacional del agua (ANA). (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales. Perú, Lima.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2018) 8° Foro Mundial del Agua Brasilia 2018: Compartiendo Agua, Informe Perú.
- Baeza, E. (2018) Sequía y Escasez Hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para abordar el problema. Asesoría Técnica Parlamentaria. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN.
- Bermúdez Alemán, R. I., del Sol, H., Rosa, C., & Mesa Delgado, Z. (2016). Pruebas de susceptibilidad de *Vibrio cholerae* a los antimicrobianos, una herramienta útil en el control de la enfermedad. *Acta Médica del Centro*, *10*(2), 65-68.
- Cabezas C. (2018) Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. Vol. 35(2). Pp:309-16.
- CALLA, Helen, “Calidad del Agua en la cuenca del Rio Rímac – Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras”. Tesis (obtener grado de Magister en Ciencias

Ambientales con mención en Desarrollo Sostenible en minería y Recursos Energéticos).
Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2010.

- Castillo, Z. & Medina, V. (2014) Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Rímac (riego), de enero a agosto del 2011, en tres puntos de monitoreo. Trabajo de Titulación para optar el Título Profesional de Ingeniero. Universidad Nacional Agraria la Molina Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización. Lima – Perú.
- Coelho, C. & Teixeira, F. (2011) Mining activities: Health Impacts.» Encyclopedia of Environmental Health. Pp: 788-802.
- Congreso de la República (2005). Ley No 28611 Ley General del Ambiente.
- Díaz, L. (2010). Estudio comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa. Memoria para optar al grado de Magister en Ciencias M/Químicas, Facultad de Ciencias, Universidad Católica del Norte, Chile.
- Díaz Alegría, P. (2018). Determinación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la quebrada Chupishiña, distrito de Rumisapa, provincia de Lamas y región San Martín.
- Dirección General de Epidemiología - Ministerio de Salud. (2009) Brotes y otras emergencias sanitarias SE 10. Boletín Epidemiológico. 18(9):171-2.
- Gastañaga, M. (2018). Agua, saneamiento y salud. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica. Vol. 35(2). Pp: 181-182.
- Goel AK, Jiang SC. Genetic determinants of virulence, antibiogram and altered biotype among the *Vibrio cholerae* O1 isolates from different cholera outbreaks in India. *Infect Genet Evol* 2010; 10(6): 814–818

- Gordon, B. & Barrenberg, E. (2013). Agua Potable: Determinante esencial de la salud pública. Foro de Calidad de Agua SUNASS/OPS. World Health Organization. Lima, Perú.
- Guerrant RL, Van Gilder T, Steiner TS, Thielman NM, Slutsker L, Tauxe RV, et al. Practice guidelines for the management of infectious diarrhea. *Clin Infect Dis.* 2001;32:331-50.
- Guillén, R. & Quequejana, N. (2003). Estudio del agua del río Chillón. Facultad de Ingeniería química y manufacturera. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Hernández, E. (2010). Importancia del agua para los seres vivos.H2O elixir de vida. Elementalwatson “la” Revista trimestral de divulgacion Año 1 N°1.
- Huq, A., Sack, R. B., Nizam, A., Longini, I. M., Nair, G. B., Ali, A., ... & Albert, M. J. (2005). Critical factors influencing the occurrence of *Vibrio cholerae* in the environment of Bangladesh. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71(8), 4645-4654.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (2003). Estudio integral de los recursos hídricos de la cuenca del río chillón componente hidrología superficial. Memoria Final. Lima. Perú.
- Jiménez B, Barrios A, Maya C. (2007) Helminth ova control in wastewater and sludge for advanced and conventional sanitation. *Water Sci Technol.* Pp :43-51.
- Juárez, H. (2012). Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima metropolitana. *Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.*
- Kuma, G.K., Opintan, J.A., Sackey, S.O., Nyarko, K.M., Opare, D., Aryee, E.A., Dongdem, A.Z., Antwi, L., Ofosu-Appiah, L.H., Owusu-Okyere, G., & Asmah, R.H. (2014). Antibiotic resistance patterns amongst clinical *Vibrio cholerae* O1 isolates from Accra, Ghana.

- Lloyd's (2010). Lloyd's 360° Risk Insight Global water scarcity: risks and challenges for business.
- Londoño, F., Londoño, M. & Muñoz, G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 14(2), Pp. 145-153.
- Marin M, Thompson C, Freitas F, Fonseca E, Aboderin A, Zailani S, et al. Cholera outbreaks in Nigeria are associated with multidrug resistant atypical El Tor and non-O1/non-O139 *Vibrio cholerae*. *PLoS Negl Trop Dis*. 2013;7:2.
- Mendoza, M. (2018) Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú. Escuela de Postgrado. Tesis para optar el grado de Magister en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima Perú.
- Ministerio del Ambiente (2017) Cifras ambientales 2017. Sistema Nacional de Información Ambiental. Dirección General de Educación Ciudadanía e Información Ambiental.
- Ministerio del Ambiente (2017). Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Ministerio de Salud (MINSa). (2009). Río Chillón.
- Ministerio de Salud (MINSa). (2011). Decreto Supremo N°031-2010-SA Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- Miwanda B, Moore S, Muyembe J, Nguéack-Tsague G, Kabangwa I, Ndjakani D, et al. Antimicrobial drug resistance of *Vibrio cholerae*, Democratic Republic of the Congo. *Emerg Infect Dis*. 2015;21(5):847–51.
- Morris, J. (2003) Cholera and other types of vibriosis: a story of human pandemics and oysters on the half shell. *Clin Infect Dis*.;37(2):272-80. 3. Nair, GB, Ramamurthy

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales.
- Özlem E, Sener H. The contamination of various fruit and vegetable with *Enterobius vermicularis*, *Ascaris* eggs, *Entamoeba histolytica* cyst and *Giardia* cysts. *Food Control*. 2015;16:559-62.
- Prüs A, Kay D, Fewtrell L, Bartram J. (2002) Estimating the burden of disease from water, sanitation, and hygiene at a global level. *Environ Health Perspect*. 110(5): Pp: 537-42.
- Rabaan, A.A. (2018). Cholera: an overview with reference to the Yemen epidemic. *Frontiers of Medicine*, 13, 213-228.
- Rivera, A., & García, N. (2017). Caracterización del agua de la quebrada Naranjal para la gestión del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano en la localidad Unión de Mamonaquihua-Cuñumbuqui, 2017.
- Reyes, C. (2012). Estudio de la contaminación de las aguas del río Chillón. Facultad de Ingeniería geológica, minera y metalúrgica. Tesis para optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en minería y MEDIO AMBIENTE. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Robert Pullés, M. (2014, October). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Cuba. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1), 25—36.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL (2005). Actualización del Plan Maestro de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de Lima y Callao. Resumen Ejecutivo. Gerencia de Desarrollo e Investigación. Lima, Perú.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2016) Vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Rímac, Chillón, Lurín y parte alta del Mantaro/ Resumen Ejecutivo, Ediciones SENAMHI. Lima. Perú. 250 pp.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 19th edition. APHA, AWWWA, WEF.
- Tapia, J. (2017). Impacto ambiental al recurso hídrico de la cuenca media del río Rímac a consecuencia de la minería, en el distrito Ricardo Palma, Chosica 2017. Facultad de ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad Cesar Vallejo, Lima Perú.
- Tavakoly, B., Sulaiman, A., Monazami, G. & Salleh, A. (2011). Assessment of Sediment Quality According to heavy metal status in the West Port of Malaysia. Engineering and Technology, Vol. 3(2). Pp. 633-637.
- Terrones Gordillo, A., & Herrera León, C. V. (2015). Calidad del agua en la cuenca baja del Río Chillón en época de estiaje y riesgo por el uso directo en riego agrícola.
- Velásquez, M. (2018). Contaminación por Plomo y Cobre en el Rio Huaycoloro y su influencia en la Calidad del Agua en el Rio Rímac, 2018. Facultad de ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad Cesar Vallejo, Lima Perú.
- Waldor MK, Tschäpe HE, Mekalanos JJ. A new type of conjugative transposon encodes resistance to sulfamethoxazole, trimethoprim, and streptomycin in *Vibrio cholerae* O139. *J Bacteriol* 1996; 178(14): 4157–4165
- Wang R, et al. Variations in SXT elements in epidemic *Vibrio cholerae* O1 El Tor strains in China. *Sci Rep*. 2016;6:22733.
- Wichuk KM, McCartney D. A review of the effectiveness of current time-temperature regulations on pathogen inactivation during composting. *J Environ Engin Sci*. 2007;6:573–586.

- World Health Organization (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II. Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. Pp. 191.

11. ANEXOS



Figura9. Toma de muestra de agua y medida *in situ* de los parámetros físicos.



Figura10. Estación de muestreo RL01 en el río Lurín, antes del Centro Poblado de Chontay.



Figura11. Estación de muestreo RL02 en el río Lurín, Puente Cieneguilla.



Figura12. Estación de muestreo RL03 en el río Lurín, 30 m antes del vertimiento de la PTAR Manchay.



Figura13. Estación de muestreo RL04 en el río Lurín, 100 m aguas abajo del Camal de equinos Casa Blanca.



Figura14. Estación de muestreo RL05 en el río Lurín, cruce con Panamericana Sur.



Figura15. Estación de muestreo RR01 en el río Rímac, en el Club de Sub Oficiales CERTSE FAP.



Figura16. Estación de muestreo RR02 en el río Rímac, 100 m aguas arriba del Centro de Esparcimiento Valle del Sol.



Figura17. Estación de muestreo RR03 en el río Rímac, puente peatonal Carapongo.



Figura18. Estación de muestreo RR04 en el río Rímac, 300 m aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable de Huachipa.



Figura19. Estación de muestreo RR05 en el río Rímac, aproximadamente 400 m aguas arriba de la vía expresa Faucett.



Figura20. Estación de muestreo RC01 en el río Chillón, a 10 km del puente Magdalena.



Figura21. Estación de muestreo RC02 en el río Chillón, antes de la planta SEDAPAL.



Figura22. Estación de muestreo RC03 en el río Chillón, Puente Chillón Panamericana Norte.



Figura23. Estación de muestreo RC04 en el río Chillón, 800 m aproximadamente aguas abajo del Puente Chillón.



Figura24. Estación de muestreo RC05 en el río Chillón, puente en Av. Chillón intersección con San Diego de Alcalá.

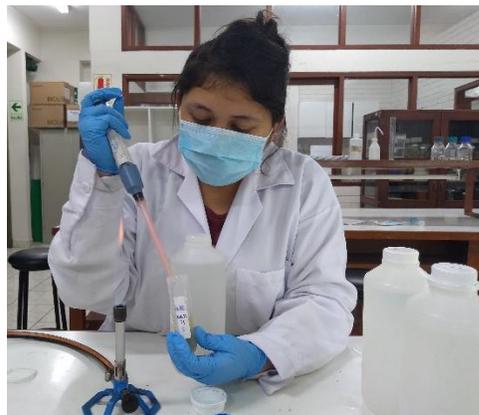


Figura25. Pre- enriquecimiento de las muestras con agua peptonada alcalina.

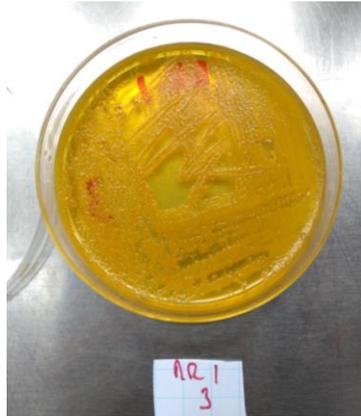


Figura26. Cambio de color en agar TCBS para *Vibrio cholerae*, se observa las colonias amarillas típicas de esta especie.



Figura27. Selección de colonias representativas que fueron colocadas en el cepario para las posteriores pruebas bioquímicas.

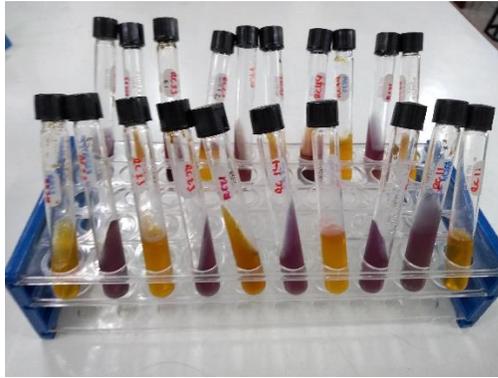


Figura28. Pruebas bioquímicas LIA y TSI.

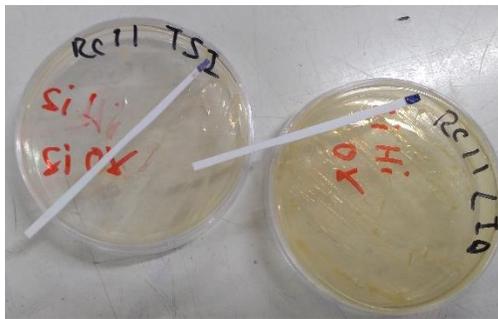


Figura29. Prueba bioquímica de oxidasa da coloración azul si es positiva.

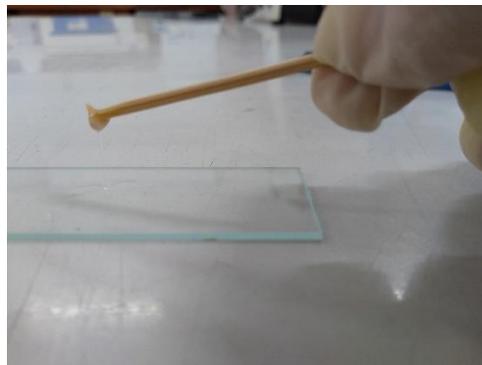


Figura30. Prueba bioquímica del desoxicolato de sodio, resulta positiva si se forma el hilo mucoide.

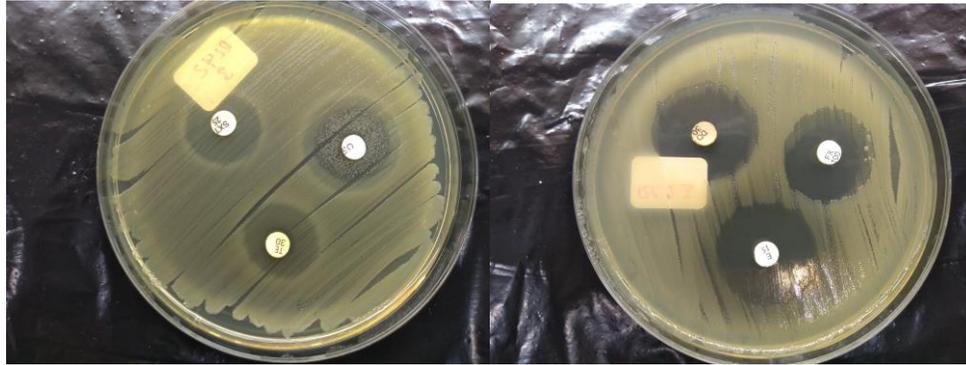


Figura31. Formación de halos de inhibición en las pruebas de susceptibilidad antimicrobiana de *Vibrio cholerae* a los antibióticos cloranfenicol, tetraciclina, trimetoprima/ sulfametoxazol, doxiciclina, furazolidona y eritromicina.



Figura32. Filtración de las muestras de agua en papel Whatman y su posterior observación en el microscopio.



Figura33. Huevo de *Ascaris* spp. infértil (Lado izquierdo), huevos de *Ancylostoma* spp. (Los dos a la derecha).



Figura34. Huevo (Izquierda) y larva (Derecha) de la Familia Chironomidae.