

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO
URRELO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
DE PREVENCIÓN DE RIESGOS**

**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Hg y Pb) EN EL
AGUA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE, EN RELACIÓN
A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA - CATEGORÍA 3,
CAJAMARCA - 2016.**

Izquierdo Ríos, Jhuliana Lisbeth.

Verástegui Horna, Silvia Paola.

Asesor:

Mg. Ing. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

Junio - 2017

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

**Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos**

**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Hg y Pb) EN EL
AGUA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE, EN RELACIÓN
A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA - CATEGORÍA 3,
CAJAMARCA - 2016.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para
optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos

Bach. Jhuliana Lisbeth Izquierdo Ríos.

Bach. Silvia Paola Verástegui Horna.

Asesor: Mg. Ing. Persi Vera Zelada.

Cajamarca – Perú

Junio - 2017

COPYRIGHT © 2017 by

JHULIANA LISBETH IZQUIERDO RÍOS.

SILVIA PAOLA VERÁSTEGUI HORNA.

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL

CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Hg y Pb)
EN EL AGUA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE,
EN RELACIÓN A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA -
CATEGORÍA 3, CAJAMARCA – 2016

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

Dedicamos esta tesis de manera especial a nuestros padres, pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de nuestra vida profesional, sentaron en nosotros las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ellos tenemos el espejo en el cual nos queremos reflejar, pues sus virtudes infinitas y su gran corazón nos llevan a admirarlos cada día más.

AGRADECIMIENTOS

- Primero que nada agradecemos a Dios por darnos la oportunidad de estar donde estamos, por habernos dado salud, sabiduría y concedernos los mejores padres del mundo.
- Agradecemos a la universidad UPAGU por habernos permitido ser parte de ella, así como también a los diferentes docentes que nos brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.
- Agradecemos también a nuestro asesor de tesis, Mg. Ing. Persi Vera Zelada por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también por su apoyo incondicional y paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

RESUMEN

Concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua - categoría 3, es una tesis motivada en conocer y evaluar la realidad actual en la que se encuentra la calidad del agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque. Tiene como objetivo principal determinar la concentración de metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del Río Jequetepeque, como hipótesis se plantea que la concentración de los metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, supera a los estándares de calidad del agua - categoría 3. El método de investigación aplicada es de carácter descriptivo y comparativo. Se tomó como muestra un litro por cada una de las 6 estaciones de monitoreo en época de lluvia, así como en época de estiaje (12 muestras). Los resultados fueron concentraciones menores a los estándares establecidos por el D.S. N°015-2015-MINAM para aguas superficiales categoría 3 (D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo y D2: bebida de animales) y solo fue detectada la presencia de los siguientes metales pesados: El Arsénico, en dos puntos de muestreo (P4: 0,001mg/L y P5: 0,003 mg/L) Cadmio en cinco diferentes puntos de muestreo (P2, P3, P4, P5 y P6 con 0,001mg/L) y Plomo en dos puntos de muestreo (P3: 0,004 mg/L y P6: 0,007 mg/L) estas concentraciones respecto al mes de mayo (época de lluvia), mientras que en el mes de noviembre (época de estiaje) los valores de la concentración de estos metales fueron : Arsénico, en tres puntos de muestreo (P1: 0,004mg/L, P2: 0,005mg/L y P4: 0,006 mg/L) y Plomo en dos puntos de muestreo (P3: 0,003 mg/L y P6: 0,004 mg/L). Finalmente en ninguno de los

puntos muestreados se encontró presencia de metales pesados como: el Cromo y el Mercurio.

Palabras clave: Metales pesados, Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Cuenca baja, Río Jequetepeque.

Abstract

Concentration of heavy metals (As, Cd, Cr, Hg and Pb) in the waters of the low basin of the Jequetepeque river, in relation to water quality standards - category 3, is a thesis motivated to know and evaluate the current reality In which the surface water quality of the low basin of the Jequetepeque River is found. It has as main objective to determine the concentration of heavy metals As, Cd, Cr, Hg and Pb in the water of the low basin of the Jequetepeque River, as hypothesis that the concentration of the heavy metals As, Cd, Cr, Hg and Pb In the waters of the lower basin of the Jequetepeque River, exceeds the water quality standards - category 3. The method of applied research is descriptive and comparative. One liter was taken for each of the 6 monitoring stations in rainy season, as well as during low season (12 samples). The results were lower concentrations than the standards established by D.S. N°015-2015-MINAM for surface waters category 3 (D1: Irrigation of high and low stem crops and D2: animal drink) and only the presence of the following metals was detected (P2, P3, P4, P5 and P6 with 0,001 mg / L), and Lead at two sampling points (P4: 0,001mg/L and P5: 0,003mg/L) At two sampling points (P3: 0,004mg/L and P6: 0,007mg/L), with respect to the month of may (rainy season), while in november (low season) (P1: 0,004mg/L, P2: 0,005mg/L and P4: 0,006 mg/L) and Lead at two sampling points (P3: 0,003mg/L and P6 : 0,004 mg/L). Finally, in none of the sampled points was the presence of heavy metals such as: Chromium and Mercury.

Keywords: Heavy metals, arsenic, cadmium, chromium, mercury, lead, basin,
Jequetepeque River.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
Abstract	viii
INDICE	x
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICOS	xiii
CAPÍTULO I	1
1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Justificación e importancia.....	5
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Fundamentos Teóricos de la investigación	7
2.2. Antecedentes Teóricos	13
2.3. Marco teórico	16
2.4. Marco Conceptual.....	98
2.5. Hipótesis	106
2.5.1. Operacionalización de las variables	107
CAPÍTULO III.....	108
3. Metodología o Estrategias Metodológicas	108
3.1. Tipo de investigación.....	108
3.2. Método de investigación	109
3.3. Área de investigación.....	109
3.4. Universo.....	111
3.5. Muestra	111
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	111
3.6.1. Instrumentos.....	113
3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	114

3.7.1. Procesamiento de datos	114
3.7.2. Técnicas de análisis de datos	115
CAPÍTULO IV	116
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	116
4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados	116
CAPÍTULO V	132
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
6. REFERENCIAS	135
7. LISTA DE ABREVIATURAS	155
8. ANEXOS	157

LISTA DE TABLAS

Tabla N°01: Cifras de disponibilidad de agua en el mundo.

Tabla N°02: Demanda consuntiva de agua superficial por vertiente en el Perú.

Tabla N°03: Lista de metales pesados (metales con densidad mayor a 4).

Tabla N°04: Efectos del plomo.

Tabla N°05: Efectos del mercurio.

Tabla N°06: Efectos del Cadmio.

Tabla N°07: Efectos del Cromo.

Tabla N°08: Efectos del Arsénico.

Tabla N°09: Cobertura vegetal del suelo en la cuenca del río Jequetepeque.

Tabla N°10: Priorización de PAMs por riesgos y por cuencas.

Tabla N°11: Inventario de PAMs por cuencas en la región Cajamarca - MINEM

Tabla N°12: Coordenadas de los puntos muestreo

Tabla N°13. ECAS para agua categoría 3 – D.S. N°015-2015-MINAM

Tabla N°14. Resultados de la Concentración de Arsénico en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Tabla N°15. Resultados de la Concentración de Cadmio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Tabla N°16. Resultados de la Concentración de Cromo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Tabla N°17. Resultados de la Concentración de Mercurio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Tabla N°18. Resultados de la Concentración de Plomo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

LISTA DE FIGURAS

Figura N°01: Estructura del sistema de gestión ambiental.

Figura N°02: Fuentes de contaminación a los recursos hídricos.

Figura N°03: Posición de los metaloides en la tabla periódica.

Figura N°04: Ciclos biogeoquímicos general de los metales pesados.

Figura N°05: Cuenca hidrográfica del río de Jequetepeque-Chamán con los principales ríos afluentes.

Figura N°06: Mapa Geológico de la cuenca del Río Jequetepeque.

Figura N°07: Cuenca baja del río Jequetepeque y sus 6 estaciones de muestreo.

Figura N°08: Cuenca del río Jequetepeque: Mapa de los puntos de muestreo.
(M1=P1, M2=P2, M3=P3, M4=P4, M5=P5, M6= P6).

Figura N°09: Pasos para la realización del monitoreo.

Figura N°10: Cuenca, subcuenca y microcuenca.

Figura N°11: Partes de una cuenca.

Figura N°12: Subcuencas del río Jequetepeque.

Figura N°13: Partes de la cuenca del río Jequetepeque.

Figura N°14: Zonificación de la cuenca.

Figura N°15: Divisoria de aguas.

Figura N°16: Partes de un río.

Figura N°17: Tipos de cuencas: a) Exorreicas, b) Endorreicas y C) Arreicas.

Figura N°18: Unidades hidrográficas del Perú.

Figura N°19: Unidades hidrográficas transfronterizas.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N°01: Demanda consuntiva del agua superficial.

Gráfico N°2: Uso consuntivo de agua por vertientes y sectores.

Gráfico N°03: Uso no consuntivo de agua superficial por vertiente.

Gráfico N°04: Uso de agua en el Perú.

Gráfico N°05. Resultados de la Concentración de Arsénico en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Gráfico N°06. Resultados de la Concentración de Cadmio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Gráfico N°07. Resultados de la Concentración de Cromo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Gráfico N°08. Resultados de la Concentración de Mercurio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

Gráfico N°09. Resultados de la Concentración de Plomo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

El agua es un recurso indispensable para nuestra economía y para el abastecimiento de la población, además de ser uno de los recursos naturales más importantes, junto con el aire, la tierra y la energía, constituyen los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo (Reyes, CM. 2012).

El agua, llega a nuestros cuerpos de agua a través de las cuencas hidrográficas, las cuales se convierten en un gran recipiente, donde se recoge el agua que cae a la tierra en forma de lluvia, gracias al ciclo hidrológico (USDA, sf). Así mismo, tienen como su atributo más importante proporcionar los llamados servicios ecosistémicos, y servir de asiento a recursos y potencialidades productivas que esperan un racional aprovechamiento (PNUD, 2009).

El Perú es uno de los países más ricos en recursos hídricos (PNUD, 2009) cuenta con 159 unidades hidrográficas (Pacífico 62 cuencas, Amazonas 84 cuencas y el Titicaca 13 cuencas), y con 53 unidades hidrográficas transfronterizas (ANA, 2012). Sin embargo, el deterioro de la calidad del agua es uno de los graves problemas que sufre el país, pues constituye un impedimento para lograr un uso

eficiente del recurso, lo que compromete el abastecimiento tanto en calidad como en cantidad, y por ende la salud de las personas, las actividades pecuarias, agrícolas y la conservación del ambiente (Sevilla, JC. sf).

La cuenca del río Jequetepeque, ubicada en el Norte del Perú, es una cuenca social de alta diversidad biológica, ecológica y social (Chunga, 2006). Destacada tanto por su importancia económica como social (CEDEPAS, 2009) lo que ha generado el interés de industrias, y del uso de sus aguas por los sectores agrícola, poblacional, pecuario, minero e industrial (Cobeñas, JC. c2015).

Sin embargo el incremento de la población en sus riveras, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan (Rosas, H. 2001), ha generado preocupación con respecto a la calidad de sus aguas superficiales (CEDEPAS, 2009), ya que no se descarta la existencia de altas concentraciones de contaminantes como los metales pesados, esto a causa de los vertimientos de la industria, la minería ilegal (pequeña minería) y los pasivos ambientales localizados en las nacientes de la cuenca (Lira, J. sf), tanto los relaves de las empresas mineras, que son resultado de la utilización de diversidad de productos químicos para lixiviar sus minerales, junto con los que utilizan los agricultores en sus sembríos, abonos y fertilizantes importados, bajan hacia la costa dejando huellas mortales de flora y fauna (Barrantes, 2016).

Unido a esto, está el fenómeno de la lluvia ácida, en la que aumenta la acidez de los suelos, lo que se traduce a cambios en la composición de los mismos, produciéndose la lixiviación de metales tóxicos, tales como el cadmio, níquel, manganeso, plomo, mercurio que de esa forma se introducen también en las corrientes de agua (Godoy, PM. et al., 2012).

Este es un problema en el cual, en diferentes medidas, todos estamos involucrados: no se trata sólo de los efluentes de las industrias, sino también de los productos de limpieza y químicos que utiliza la población (Casiello, F. 2015).

En los últimos años la contaminación de las aguas naturales por metales pesados es un fuerte problema. (Castañé, 2003), debido a que estos presentan una elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Sus efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo, los metales pesados son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de estos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando (Rosas, H. 2001).

Entre los metales de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica en ambientes acuáticos figuran el mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y zinc (Zn), pues para la mayoría de los

organismos la exposición por encima de una concentración umbral puede ser extremadamente tóxica (Castañé, 2003).

Actualmente no existen estudios específicos respecto a la concentración de metales pesados en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque, es por ello que existe la imperiosa necesidad de profundizar en investigaciones que nos permitan conocer si la calidad actual del agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque es apta para ser usada en actividades como la agricultura y ganadería, ya que si esto no fuera así, estaríamos ante un serio problema, el cual no solo traería repercusiones fisiológicas en animales y plantas, sino que también estaría amenazada la salud de los pobladores debido a la toxicidad de dichos metales pesados al encontrarse sobre los estándares establecidos. Este estudio constituye un aporte a la disposición de información de carácter ambiental que contribuirá al diagnóstico de la calidad del agua de dicha cuenca, por consiguiente a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua - categoría 3, Cajamarca - 2016?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la concentración de metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del Río Jequetepeque.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener los resultados de la concentración de cada uno de los metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en los diferentes puntos de muestreo.
- Analizar los resultados obtenidos en relación a los estándares de calidad del agua categoría 3, Cajamarca - 2016.
- Identificar los puntos de muestreo con más concentración de metales pesados en las diferentes épocas (lluvia y estiaje).

1.4. Justificación e importancia

Debido al incremento de la urbanización e industrialización en las riveras de la cuenca del río Jequetepeque, se ha incrementado la preocupación y el interés por conocer la magnitud de exposición de la población a contaminantes, ya que actualmente no se posee información suficiente sobre la concentración de metales pesados como el As, Cr, Cd, Hg y Pb en el agua, en este caso en la cuenca baja del río Jequetepeque.

La realización de esta investigación, permite aclarar cuál es la concentración de metales pesados que tiene el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque en los puntos de muestreo que se realizaron, para luego determinar, si los resultados obtenidos se consideran perjudiciales para el uso de la población establecida en dicha área, población que de una u otra manera, se beneficia de este vital recurso en todo el recorrido de sus efluentes superficiales, ya que estos cuerpos de agua, se usan y se han venido usando para las actividades agrícolas y ganaderas.

Actualmente, existe la necesidad de profundizar más en temas relacionados con la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua, ya que los efectos negativos que ellos conllevan son críticos, debido a la toxicidad y a la acumulación en la biota acuática y la población humana cuando se encuentran en concentraciones superiores a los niveles reglamentados.

Con esta investigación, se pretende evaluar la calidad actual del agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque, con relación a los estándares de calidad del agua - categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), cuyos resultados constituirán un referente teórico, para la realización de futuras investigaciones con características similares, así mismo puede servir como herramienta para la toma de decisiones en los procesos de gestión de la cuenca.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

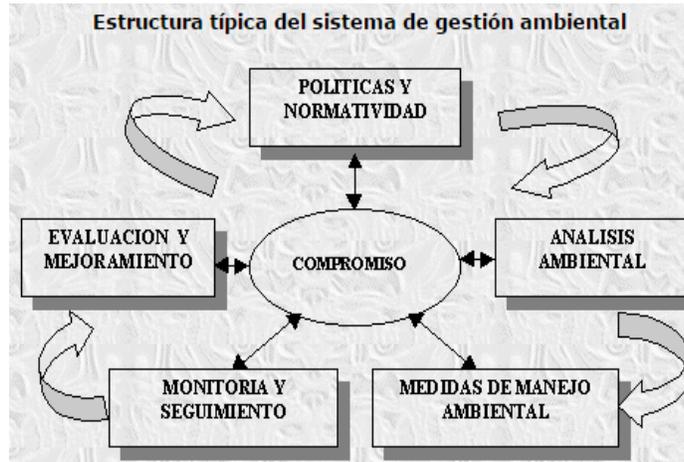
2.1. Fundamentos Teóricos de la investigación

Sistemas de Gestión Ambiental

“Un sistema de gestión medioambiental es el marco o método empleado para orientar a una organización a alcanzar y mantener un funcionamiento en conformidad con las metas establecidas y respondiendo de forma eficaz a los cambios de presiones reglamentarias, sociales, financieras y competitivas, así como a los riesgos medioambientales” (Greeno et al., 1985 citado por Martínez, JF. 1997).

Así, un SGMA, como parte del sistema general de gestión de la organización, aporta la base para encauzar, medir y evaluar el funcionamiento de la empresa con el fin de asegurar que sus operaciones se lleven a cabo de una manera consecuente con la reglamentación medioambiental aplicable y la política corporativa. Se trata de procurar una integración y coordinación efectiva de los elementos del sistema global de gestión empresarial con el objeto de asegurar la toma de decisiones coherente con la totalidad de la empresa (Martínez, JF. 1997).

Figura N°01: Estructura del sistema de gestión ambiental.



Fuente: Martínez, JF. (1997).

Gestión Ambiental

Administración y manejo de todas las actividades humanas que influyen sobre el medio ambiente, mediante un conjunto de pautas, técnicas y mecanismos que aseguren la puesta en práctica de una política ambiental racional y sostenida (CEPAL/CLADES, 1981).

Gestión mediante la fijación de metas, planificación, mecanismos jurídicos, etc., de las actividades humanas que influyen sobre el ambiente. El propósito de asegurar una toma de decisiones sostenidas y ambientalmente racionales y ponerlas en práctica, permitiendo así que el proceso de desarrollo económico y social continúe en beneficio de las generaciones presentes y futuras (Sánchez, et al., 1982).

Conjunto de actividades humanas encaminadas a procurar una ordenación del medio ambiente y contribuir al establecimiento de un modo de desarrollo sustentable. (Brañes, 1991).

Gestión Integrada de Recursos Hídricos

La Asociación Global del Agua (Global Water Partnership, GWP) define la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como “un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el resultante bienestar económico y social de una forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales” (Jeffrey, P. & Gearey, M. 2006).

Un estudio reciente del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) centra la atención en un aspecto ligeramente diferente y defiende que la gestión integrada del agua implica tomar decisiones y manejar los recursos hídricos para varios usos, de forma tal que se consideren las necesidades y deseos de diferentes usuarios y partes interesadas. Según este estudio, la gestión integrada del agua interpreta la gestión del agua superficial y subterránea en un sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico desde una perspectiva multidisciplinaria y centrada en las necesidades y requerimientos de la sociedad en materia de agua (Dourojeanni et al., 2002).

Contaminación del aire, agua y suelos

Ingenieros, salubristas, epidemiólogos, climatólogos, toxicólogos, agrónomos y químicos son algunos de los profesionales que pueden enfrentar el desafío de disminuir la contaminación del aire, agua y suelos. La reducción de emisiones al aire y efluentes al agua, o la reducción de elementos contaminantes en ellos, pasa desde soluciones netamente ingenieriles, tales como mejores filtros o tecnologías más limpias, a cambios de prácticas nocivas tales como la deposición de elementos tóxicos en suelos o el uso excesivo de biocidas en cultivos y plantaciones (JAKSIC, FM. 1997).

Según la Ley De Recursos Hídricos (2009), los principios de su sistema son:

Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua: El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos. El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico.

Principio de prioridad en el acceso al agua: El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana, es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.

Principio de participación de la población y cultura del agua: El Estado crea mecanismos para la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad,

oportunidad u otro atributo del recurso. Fomenta el fortalecimiento institucional y el desarrollo técnico de las organizaciones de usuarios de agua. Promueve programas de educación, difusión y sensibilización, mediante las autoridades del sistema educativo y la sociedad civil, sobre la importancia del agua para la humanidad y los sistemas ecológicos, generando conciencia y actitudes que propicien su buen uso y valoración.

Principio de seguridad jurídica: El Estado consagra un régimen de derechos para el uso del agua. Promueve y vela por el respeto de las condiciones que otorgan seguridad jurídica a la inversión relacionada con su uso, sea pública o privada o en coparticipación.

Principio de respeto de los usos del agua por las comunidades campesinas y comunidades nativas: El Estado respeta los usos y costumbres de las comunidades campesinas y comunidades nativas, así como su derecho de utilizar las aguas que discurren por sus tierras, en tanto no se oponga a la Ley. Promueve el conocimiento y tecnología ancestral del agua.

Principio de sostenibilidad: El Estado promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos hídricos, previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran. El uso y gestión sostenible del agua, implica la integración equilibrada de los aspectos socioculturales, ambientales y

económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

Principio de descentralización de la gestión pública del agua y de autoridad

única: Para una efectiva gestión pública del agua, la conducción del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es de responsabilidad de una autoridad única y desconcentrada. La gestión pública del agua comprende también la de sus bienes asociados, naturales o artificiales.

Principio precautorio: La ausencia de certeza absoluta sobre el peligro de daño grave o irreversible que amenace las fuentes de agua, no constituye impedimento para adoptar medidas que impidan su degradación o extinción.

Principio de eficiencia: La gestión integrada de los recursos hídricos se sustenta en el aprovechamiento eficiente y su conservación, incentivando el desarrollo de una cultura de uso eficiente entre los usuarios y operadores.

Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica: El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.

Principio de tutela jurídica: El Estado protege, supervisa y fiscaliza el agua en sus fuentes naturales o artificiales y en el estado en que se encuentre: líquido, sólido o gaseoso, y en cualquier etapa del ciclo hidrológico.

Según la Ley de Recursos Hídricos, (2009) Los Instrumentos de Planificación del Sistema Nacional de Gestión son:

La Política Nacional Ambiental

La Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos

El Plan Nacional de los Recursos Hídricos; y

Los Planes de Gestión de Recursos Hídricos en las Cuencas.

2.2. Antecedentes Teóricos

- En el trabajo de investigación de Alcívar y Mosquera (2011) realizada en la época seca (Agosto, Septiembre, Octubre) del año 2010 en cinco puntos del Estero Salado de Guayaquil se determinó la concentración de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo total (Cr), Plomo (Pb), en las matrices de agua superficial y sedimento las mismas que reportaron valores de: Cd (ND – 0,06ppm); Cr y Pb (ND - 0,01ppm) para las muestras de agua superficial, mientras que los sedimentos fueron de: Cd (ND – 9, 50ppm); Cr (11, 99 – 43,47ppm); Pb (13,47 – 69,47ppm). Adicionalmente se tomaron muestras de gasterópodos (*Cerithidea valida*), para determinar si estos metales afectaban a dichos organismos y por consiguiente a la cadena trófica, los

organismos fueron capturados en el área de estudio en el mes de octubre obteniendo resultados de: Cd (1,37 – 3,5ppm); Cr (4,50 – 7,99ppm); Pb (18,73 – 41,03ppm). Los valores encontrados en cada una de las matrices nos refleja la problemática ambiental existente en este ecosistema debido principalmente a las actividades industriales, crecimiento poblacional acelerado, deforestación y el mal manejo de desecho y descargas de uso doméstico e industrial no tratadas, ocasionando así el deterioro de este ecosistema.

- La evaluación de la concentración de metales pesados plomo y mercurio en agua y en sedimentos del río Nanay, se realizó el muestreo desde el caserío Libertad, hasta su desembocadura en el río Amazonas, en las épocas de creciente y vaciante del año 2011. La cuenca del río Nanay comprende 340 km² y alberga a cuatro comunidades nativas y ocho campesinas y además tiene influencia sobre los distritos de San Juan, Iquitos y Punchana, incluso es la fuente de agua potable para la población de estos distritos. Los análisis de metales pesados se realizarán utilizando la técnica de la absorción atómica en el laboratorio de Sustancias Naturales Bioactivas del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Según los resultados de análisis de agua el plomo y mercurio se encuentran presentes en concentraciones mayores que lo indicado por las normas nacionales. El plomo tanto en creciente es en promedio de 0,111ppm y 0,053ppm respectivamente y el mercurio en vaciante se encuentra en 0,008ppm, del

mismo modo la presencia de mercurio es alta en los sedimentos que acompañan a este río con 1,636ppm en creciente y 3,03ppm en vaciante (Sotero & Alva, 2013).

- En la parte alta de la cuenca del río San Jorge, en el departamento de Córdoba, se encuentra una de las zonas más importantes de la minería, en ella se explotan ferroníquel, carbón y oro. Se evaluaron los efectos genotóxicos de los metales pesados (Hg, Pb, Cd, Cu y Zn) asociados a explotaciones mineras, en pobladores de la cuenca del río San Jorge; se determinaron las concentraciones de los metales en sangre de 40 habitantes entre los municipios de: Buenavista (Puerto Córdoba), Monte Líbano (Bocas de Uré) y Puerto Libertador (Zona Urbana y mina el Alacrán); y 10 muestras de Montería (grupo control), donde se determinó la frecuencia de aparición de micronúcleos (FAM) para evaluar daño al ADN. Las concentraciones medias de Hg en sangre de los habitantes de Bocas de Uré ($12,9 \pm 1,24$), Puerto Córdoba ($18,08 \pm 2,90$) y mina el Alacrán ($20,32 \pm 8,45$), excedieron el límite permisible ($<5.8\mu\text{g/L}$) establecido por la EPA. Registrándose así, el daño en el ADN (FAM=0,18-2,56), en sangre de habitantes de la mina el Alacrán. Estos resultados sugieren que los daños genotóxicos registrados, pueden estar asociados a la actividad minera, como consecuencia de la liberación de metales pesados (Andrade & Ponce, 2016).

2.3. Marco teórico

Cuenca hidrográfica

Superficie rodeada por montañas donde se capta o recoge el agua de lluvia, estas alimentan el agua de los ríos, quebradas y otros cuerpos de agua cercana. Una cuenca hidrográfica cubre un área específica de la superficie de la tierra, en la que fluye el agua hacia un mismo punto. Esta mantiene el equilibrio entre los organismos y el ambiente y provee de los recursos necesarios para que se lleve a cabo el ciclo de agua, por el cual se genera la lluvia (Siles & Soares, 2003 citado por Andrade & Ponce 2016).

Clasificación de cuencas hidrográficas (Ver ANEXO I-Figura N°10)

Las cuencas hidrográficas se pueden dividir en parte alta, media, y baja, esto generalmente se realiza en función a características de relieve, altura y aspectos climático (Faustino & Jiménez, 2002 citado por Andrade & Ponce, 2016). Según Ordoñez, J. (2011), los componentes de la cuenca hidrográfica son los siguientes:

- Sub cuencas: Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.
- Microcuencas: Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Sub cuenca; es decir, que una Sub cuenca está dividida en varias microcuencas.

- Quebradas: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

Partes de una cuenca (Ver ANEXO I-Figuras N°11y12).

- **Cuenca alta:** Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.
- **Cuenca media:** Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- **Cuenca baja o zonas transicionales:** Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

Zonificación de la cuenca (Ver ANEXO I-Figura 13).

- **Zona de Cabecera:** Es la zona donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende se localizan en las partes más altas de la cuenca. Generalmente la rodean y por su función principalmente de captación de agua- presentan la mayor fragilidad hidrológica.
- **Zona de Captación – Transporte:** Es la porción de la cuenca que en principio se encarga de captar la mayor parte del agua que entra al sistema, así como de transportar el agua proveniente de la zona de cabecera. Esta

zona puede considerarse como de mezcla ya que en ella confluyen masas de agua con diferentes características físico-químicas.

- **Zona de Emisión:** Se caracteriza por ser la zona que emite hacia una corriente más caudalosa, el agua proveniente de las otras dos zonas funcionales.

Divisoria de aguas (Ver ANEXO I-Figura N°14).

La divisoria de aguas o divortium aquarum es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También se denomina “parteaguas”.

Río principal (Ver ANEXO I-Figura N°15).

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.

Tipos de cuencas: Según Ordoñez, J. (2011) existen los siguientes tipos de cuenca: (Ver ANEXO I-Figura N°16).

- **Por su tamaño geográfico:** Las cuencas hidrográficas pueden ser: Grandes, medianas o pequeñas. El concepto de pequeña cuencas o microcuenca, pueden ser muy relativos cuando se desarrollen acciones, se recomienda entonces utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales manejables desde el punto de vista hidrográfico.
- **Por su ecosistema:** Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural así tenemos: Cuencas áridas, cuencas tropicales, cuencas frías, cuencas húmedas.
- **Por su objetivo:** Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse: Hidroenergéticas, para agua poblacional, agua para riego, agua para navegación, ganaderas y de uso múltiple.
- **Por su relieve:** Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuenca pueden de nominarse: Cuencas planas, cuencas de alta montaña, cuencas accidentadas o quebradas.
- **Por la dirección de la evacuación de las aguas:** Exorreicas o abiertas, endorreicas o cerradas y Arreicas.

Calidad ambiental

La calidad ambiental representa, por definición, las características cualitativas y/o cuantitativas inherentes al ambiente en general o medio particular, y su relación con la capacidad relativa de éste para satisfacer las necesidades del hombre y/o de los ecosistemas (Las Palmas De Gran Canaria, 2016) Estado físico, biológico y ecológico de un área o zona determinada de la biosfera, en términos relativos a su unidad y a la salud presente y futura del hombre y las demás especies animales y vegetales (Banco de la República, 2015).

Agua

El agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso (FAO, 2011). La calidad de vida y desarrollo de las poblaciones están ligadas a factores socio-económicos y ambientales, uno de los recursos más importantes, como es el agua, es usado en actividades: recreativas, riego y consumo humano (Barahona & Tapia, 2010 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Disponibilidad de agua

En el mundo el 97,5% de agua es salada mientras que solo el 2,5% es dulce y solo es consumible el 1%. Gran parte del agua dulce está congelada en los

glaciares y otro poco se presenta como humedad en el suelo o permanece en capas acuíferas subterráneas (Tabra, S. 2013).

Se estima que en el mundo unos 1 100 millones de personas carecen de suficiente agua potable y que otros 2,400 millones no tienen acceso al saneamiento. Se calcula que para el año 2050 al menos una de cada cuatro personas vivirá en un país afectado por la escasez crónica o recurrente de agua dulce, escasez que se debe a su deficiente uso, a la degradación del agua por la contaminación o sobreexposición de los acuíferos subterráneos (Tabra, S. 2013).

Tabla N°01: Cifras de disponibilidad de agua en el mundo

Agua en el mundo	Cifras
En los océanos y los mares	1 370 000 000 km ³
En la corteza terrestre	60 000 000 km ³
En los glaciares y nieves perpetuas	29 170 000 km ³
En los lagos	750 000 km ³
En la humedad del suelo	65 000 km ³
En el vapor atmosférico	14 000 km ³
En los ríos	1 000 km ³

Fuente: Tabra, S. (2013).

Disponibilidad de agua en el Perú

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ubica al Perú a nivel mundial en el puesto 17, en relación con la cantidad

de agua disponible por persona y el Banco Mundial en el puesto 14 en acceso al agua a nivel de América Latina (Tabra, S. 2013).

Según datos del Ministerio del Ambiente el Perú cuenta con 106 cuencas hidrográficas por las que escurren 2 046 287 millones de metros cúbicos al año (MMC). Así mismo, cuenta con 12,200 lagunas en la sierra y más de 1,007 ríos. Sin embargo, por acción de la naturaleza, la distribución de los recursos hídricos es muy desigual (Tabra, S. 2013).

En la vertiente amazónica reside el 26% de la población y cuenta con 97,7% de agua mientras que en la vertiente del Pacífico reside el 70% de la población y cuenta tan solo con el 1,8% de agua. Es en la costa donde se halla concentrada la actividad agroexportadora con altos requerimientos de agua. En la vertiente del Titicaca reside el 4% de la población y cuenta con el 0,5% de agua (Tabra, S. 2013).

Calidad del agua

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la

lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con las normas de calidad del agua o estándares. El deterioro de la calidad del agua, se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU, 2014).

La calidad del agua, se ha entendido históricamente como su aptitud para satisfacer distintos usos, en función de sus características fisicoquímicas y biológicas tanto de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal (Cuenca & Pazuña, 2011).

Esta calidad se evalúa mediante unos parámetros determinados y sus límites de concentración asociados (ADECAGUA, 2012). Hakanson et al., (2000) citado por Álvarez et al., (2008) citado por Andrade y Ponce (2016) mencionan que la calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola.

La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante y la conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones (OMS, 2015 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Importancia del agua

Esta preciada envoltura de agua, en su mayor parte de agua salada y el resto de agua dulce, ayuda a mantener el clima de la Tierra y es fuente esencial para toda forma de vida. Sin embargo, el pequeño porcentaje de agua dulce, no es del todo accesible, sólo una pequeña fracción de la misma está disponible para la humanidad y se halla distribuida de manera muy poco uniforme; Esto significa que la cantidad de agua dulce en la Tierra es relativamente pequeña y su existencia en el planeta se debe afortunadamente a procesos de reciclaje, purificación natural y distribución de manera constante en el ciclo hidrológico. Esta porción de agua dulce es de especial importancia para la agricultura, industria, transporte y muchas otras actividades humanas. Cualquier actividad humana que use el agua, si no controla las consecuencias que este uso causa al entorno natural, es una práctica que atenta contra su conservación (UMBRÍA et al., 2009).

La creciente demanda de agua dulce

La creciente demanda de agua dulce y los conflictos en la demanda de recursos hídricos en áreas densamente pobladas, son problemas de importancia que enfrentan la mayoría de los países y regiones. Los problemas del cambio global, aumentan la necesidad de contar con datos suficientes de buena calidad para garantizar la seguridad del abastecimiento de agua, la protección del ambiente y la calidad humana. En los últimos 70 años se ha triplicado la población mundial y el uso del agua se ha multiplicado por seis, como resultado del desarrollo industrial y del mayor uso del riego. En todo el mundo, se utiliza cada año un 54% del agua dulce disponible. Si el consumo por persona permaneciera invariable, hacia 2025, se podría estar utilizando un 70% del total, solamente en función del aumento de la población. Si el consumo per cápita, en todos los países del mundo llegara al nivel de los países más desarrollados, hacia 2025, podríamos estar consumiendo un 90% del agua disponible (Brooks citado por Umbría et al., 2009).

Los mineros reutilizan el recurso en sus procesos y tratan los efluentes generados, debido al potencial de contaminación del agua y su consecuente efecto en la salud humana y el ambiente (Chaparro, E. 2009).

Uso consuntivo y no consuntivo del agua superficial por vertiente en el Perú

Perú cuenta con tres vertientes hidrográficas: vertiente del Atlántico (genera 98,2% de los recursos hídricos), vertiente del Pacífico (1,5% de los recursos hídricos) y vertiente del Titicaca (0,3%). Cabe resaltar que actualmente la población está ubicada en su mayoría en la vertiente del Pacífico, generando un problema de estrés hídrico, situación donde existe una demanda mayor de agua que la cantidad disponible, o cuando el uso del agua se ve restringido por su baja calidad (INEI, 2015).

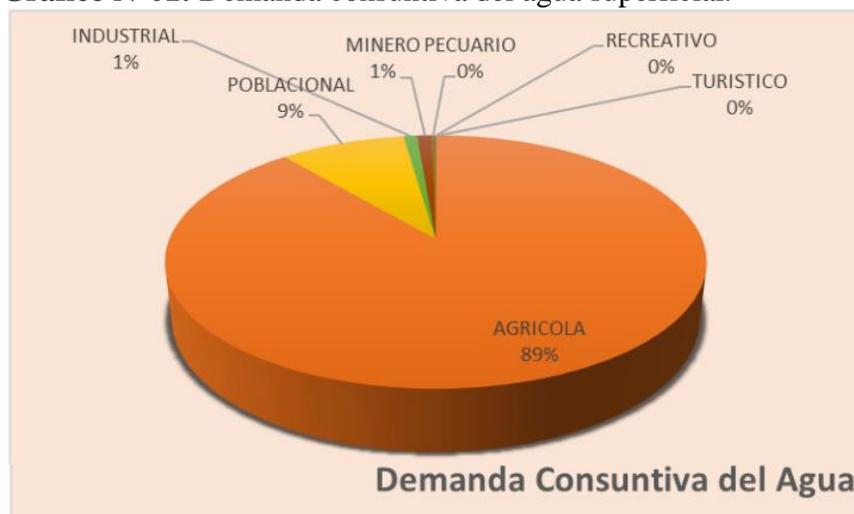
El agua tiene dos tipos de uso: consuntivo y no consuntivo. El uso consuntivo significa que se consume efectivamente durante alguna actividad, como la agrícola, poblacional, industrial, etc. (INEI, 2015).

Tabla N°02: Demanda consuntiva de agua superficial por vertiente en el Perú

Demanda Consuntiva total (HM ³ /año)								
REGIÓN HIDROGRAFICA	AGRÍCOLA	POBLACIONAL	INDUSTRIAL	MINERO	PECUARIO	RECREATIVO	TURÍSTICO	TOTAL
PACIFICO	19 041.54	1 779.15	170.82	155.85	1.90	4.65	0	21 153.91
AMAZONAS	3 017.31	493.84	78.48	110.70	47.92	17.80	1	3 767.05
TITICACA	1 107.94	46.75	0.08	5.98	0	0	0	1 160.75
TOTAL	23 166.79	2 319.74	249.38	272.53	49.82	22.45	1	26 081.71
PORCENTAJE	88.82%	8.89%	0.96%	1.04%	0.19%	0.09%	0.00%	100.00%

Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos obtenido de Sevilla, JC. (2014).

Gráfico N°01: Demanda consuntiva del agua superficial.



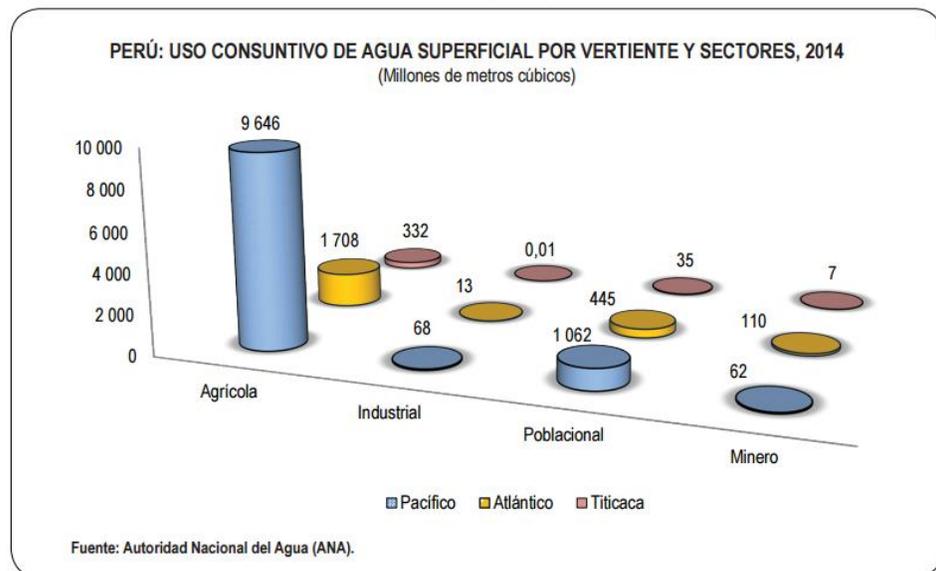
Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos obtenido de Sevilla, JC. (2014).

La actividad agrícola es una de las actividades que utiliza mayor cantidad de agua superficial. En el 2014, se usó 9 mil 646 millones de metros cúbicos de agua superficial de la vertiente del Pacífico, representando una disminución de 27,8% respecto al 2013 (13 mil 352 millones de metros cúbicos); de la vertiente del Atlántico mil 708 millones de metros cúbicos, representando una disminución de 25,7% respecto al 2013 (2 mil 300 millones de metros cúbicos); y 332 millones de metros cúbicos de la vertiente del Titicaca, lo que representa un aumento de 9,6% respecto al 2013 (303 millones de metros cúbicos) (INEI, 2015).

El consumo poblacional es otra de las actividades que exige un considerable uso del agua superficial. En el 2014 se utilizó mil 62 millones de metros cúbicos de la vertiente Pacífico, que representa un incremento de 8,4%, respecto al año 2013

(980 millones de metros cúbicos). De la vertiente del Atlántico 445 millones de metros cúbicos, que representa una disminución de 46,6% en relación al año anterior (832 millones de metros cúbicos), y de la vertiente del Titicaca se utilizó 35 millones de metros cúbicos, lo que representa una disminución de 22,2%, respecto al 2013 (45 millones de metros cúbicos) (INEI, 2015).

Gráfico N°02: Uso consuntivo de agua por vertientes y sectores.



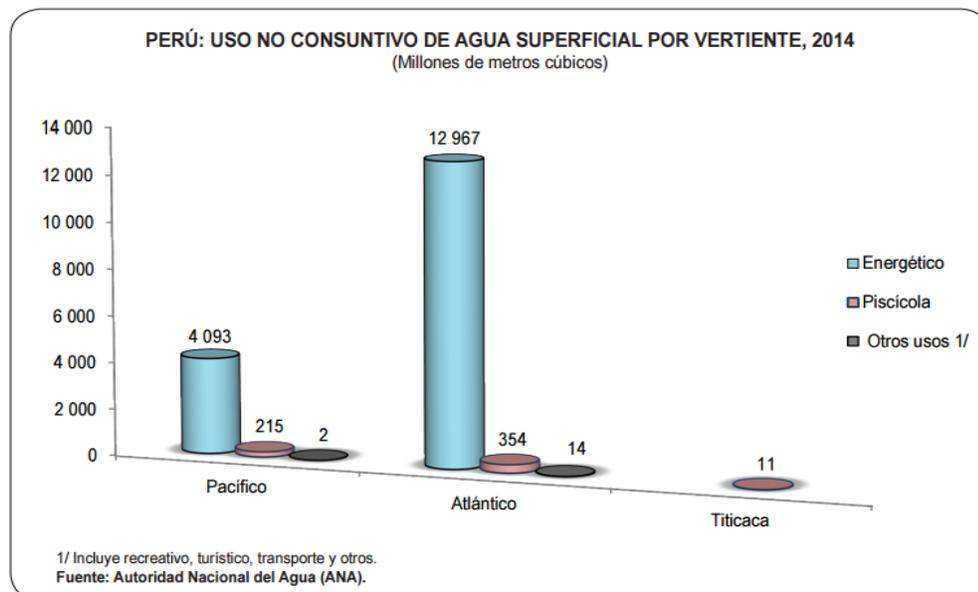
Fuente: INEI (2015).

El uso no consuntivo es cuando se utiliza el agua sin consumirse efectivamente, como en la actividad energética, donde luego del aprovechamiento por las hidroeléctricas, puede estar apta para otros fines, como los agrícolas. La actividad que más agua utiliza sin consumirse efectivamente es la actividad energética. En el 2014 se utilizó 4 mil 93 millones de metros cúbicos en la vertiente del Pacífico, lo que representa una disminución en 57,8% respecto al 2013 (9 mil 707 millones

de metros cúbicos); y en la vertiente del Atlántico se usó 12 mil 967 millones de metros cúbicos, que representa un aumento de 40,4% respecto al 2013 (9 mil 238 millones de metros cúbicos) (INEI, 2015).

La actividad piscícola incurre en uso de agua superficial, principalmente de la vertiente del Atlántico, donde se utilizaron 354 millones de metros cúbicos, cantidad mayor en 132,9% respecto al 2013 (152 millones de metros cúbicos); y la vertiente del Pacífico utilizó 215 millones de metros cúbicos de agua superficial, cantidad mayor respecto al año anterior (34 millones de metros cúbicos), representando un incremento de 532,4%) (INEI, 2015).

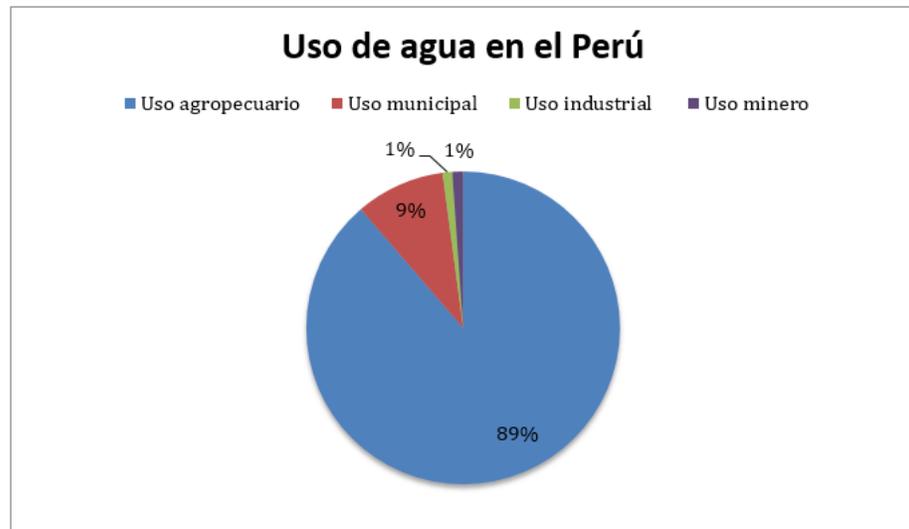
Gráfico N°03: Uso no consuntivo de agua superficial por vertiente.



Fuente: INEI (2015).

Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) del 2015, citado por Lira, J. (sf) las extracciones de agua totales se dividen en:

Gráfico N°4: Uso de agua en el Perú.



Fuente: Lira, J. (sf)

El uso agropecuario incluye el uso de agua de riego, ganadería y agricultura. Los cultivos más importantes con infraestructura para el riego son el maíz (20%), los forrajes (14%), las papas (9%), la caña de azúcar (9%), los árboles frutales (8%) y el arroz (8%) (Lira, J. sf).

En el caso de la actividad minera, a partir de 1990 creció de forma importante y por tanto, la demanda de agua ha ido creciendo en el número de plantas que

utilizan este recurso, para el tratamiento y recuperación de los minerales en sus procesos de extracción, concentración, refinación, fundición y otros (Lira, J. sf)

Consumo del agua de las cuencas en Perú

El concepto “consumo de agua” incluye todas aquellas actividades en las que el uso de agua produce pérdidas en relación a la cantidad inicial suministrada (Chaparro, E. 2009).

Usos del agua en la cuenca del río Jequetepeque

El uso del agua en la cuenca del río Jequetepeque está representada por los sectores agrícola, poblacional, pecuario e industrial; de los cuales, el uso agrícola es el que demanda mayor cantidad de agua, seguido del poblacional, industrial y el sector minero e hidroenergético. El uso total del agua en la cuenca llega a 727'186,000 m³ (Cobeñas, JC. c2015).

Demanda de agua en la cuenca del río Jequetepeque

Dentro de los usos del agua en la cuenca del río Jequetepeque está el pecuario, que tiene como principal consumidor al ganado vacuno, siguiendo en orden de demandas el ganado equino y ovino (ANA. 2015).

La principal demanda de agua es para uso agrícola y se ha determinado en función a las características climatológicas del área de estudio y siguiendo la metodología de la FAO en función a la cedula de cultivos del valle de Jequetepeque y Chaman. Las áreas bajo riego actuales, según cifras oficiales de PROFODUA (Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua, dic. 2009), organizados en Comisión de Regantes a 30,050.56mm³, cuya demanda de agua asciende a un volumen de 549.260 mm³/año (ANA. 2015).

Contaminación del agua

La contaminación del agua consiste en una modificación de la calidad del agua, generalmente provocada por el hombre (vertido de sustancias tóxicas residuales de los procesos industriales y urbanos) haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural (Ramírez, A. 2016).

Durante muchos años, se han vertido toneladas de sustancias empleadas en agricultura y otros oficios, sin importar el problema que estas conllevan en el ambiente, junto al problema de la contaminación, aparece también el de la escasez, que en los últimos años se está viendo incrementado a causa del cambio climático. La aparición de elementos tóxicos y la variación en las

concentraciones de éstos, tiene su origen en el denominado “ciclo del agua”, en este ciclo, interactúan distintas actividades humanas y distintos compartimentos ambientales, y en algún punto se produce la contaminación del agua (Ramírez, A. 2016).

Las principales vías de entrada de contaminantes en el ambiente acuático son las aguas residuales, entre las que se incluyen las urbanas, industriales, y las de origen agrícola o ganadero. Esas vías pueden experimentar distintos procesos de depuración o en algunos casos la atenuación natural, que en gran medida afecta a que prevalezcan en el ambiente (Ramírez, A. 2016).

Desafortunadamente, los sistemas acuáticos terrestres y marinos son los más amenazados por el aporte de sustancias contaminantes como plaguicidas, fertilizantes, metales pesados, organismos patógenos y otros, a través del incremento de actividades antropogénicas en las áreas adyacentes que alteran las condiciones naturales de los ecosistemas, incluyendo al ser humano. Afectados por diferentes contaminantes que se relacionan a la presencia de drenes agrícolas, canales de riego, forma de riego, mal manejo de los desechos (envases u contenedores), entre otros (Garrido et al., 1998 citado por García & Rodríguez, 2012).

Los plaguicidas, metales pesados y otras impurezas, son considerados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA, 1992) como contaminantes de acuíferos debido a su alta toxicidad, persistencia y movilidad, además de que afectan a importantes cargas hidráulicas, como lagunas y canales de irrigación; y por sus propiedades fisicoquímicas, son resistentes a la degradación biológica (Hirata, 2002).

El informe de la FAO señala que, en nuestro país se observa la disminución de la calidad del agua. Esto a causa de los vertimientos de la industria, la minería ilegal (pequeña minería) y los pasivos ambientales localizados en las nacientes de las cuencas, así como, por las aguas utilizadas por las municipalidades y la agricultura. Actualmente, 16 de los 62 ríos costeros están parcialmente contaminados con plomo, manganeso y hierro (principalmente por la minería ilegal) (Lira, J. sf).

Formas de contaminación de agua

Los contaminantes tienen un impacto significativo en los problemas de calidad del agua, sin embargo, normalmente son de difícil definición y cuantificación, por ese motivo muchas veces los programas de control no las tienen en consideración adecuadamente (Barrios, C.; Torres, R.; Lampoglia, T. & Agüero R. 2009).

Las formas de contaminación del agua se dividen en dos tipos:

Formas puntuales

Son las descargas en puntos definidos, como las descargas de emisores de desagües, industrias, etc. Los desagües domésticos presentan una gran cantidad de contaminantes que pueden provocar daños al ambiente, por ese motivo deben ser tratados antes de su disposición final (Barrios, C.; Torres, R.; Lampoglia, T. & Agüero R. 2009).

Formas no puntuales

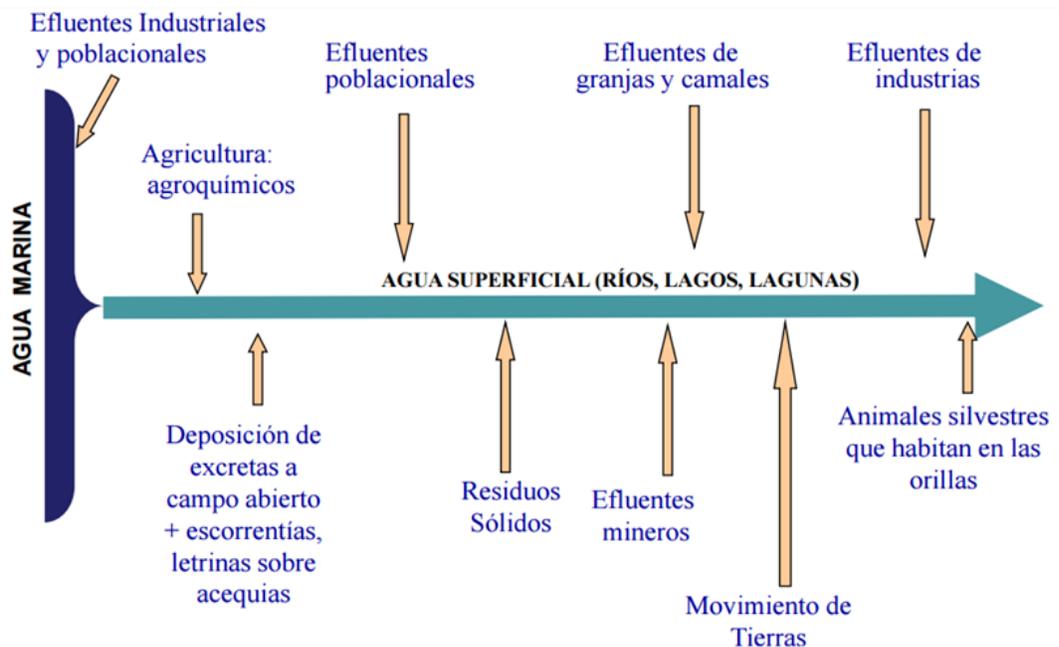
La contaminación no puntual está asociada a las aguas de lluvia, deshielo, percolación, etc. La contaminación difusa es la que está asociada a fuentes no puntuales. A medida que la lluvia cae, acarrea contaminantes naturales o producidos por el hombre (Barrios, C.; Torres, R.; Lampoglia, T. & Agüero R. 2009).

Tales contaminantes pueden ser:

- Exceso de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, provenientes de usos agrícolas o domésticos;
- Aceites, grasas y contaminantes tóxicos transportados por el arrastre de agua de lluvia en zonas urbanas;

- Sedimentos provenientes de construcciones, zonas agrícolas o erosión;
- Drenaje ácido de minas abandonadas;
- Materia orgánica y microorganismos provenientes de zonas de ganadería;
- Arrastre de basura; Contaminantes en la atmósfera (material en partículas y otros compuestos); entre otros (Barrios, C.; Torres, R.; Lampoglia, T. & Agüero R. 2009).

Figura N°02: Fuentes de contaminación a los recursos hídricos.



Fuente: Ocola, J. (sf).

Metales y metaloides

A diferencia de otros contaminantes que afectan al ambiente, los metales son elementos que el hombre ni crea ni destruye, sino que los introduce en el medio

como consecuencia de las diferentes actividades antropológicas, de forma directa o alterada química o biológicamente. Estas sustancias se encuentran sujetas de forma natural a ciclos biogeoquímicos, que determinan su presencia y concentración en el ambiente: suelos, aguas, aire y seres vivos (Poggio et al., 2009 citado por Peña Fernández, A. 2011).

La intervención humana puede modificar considerablemente la concentración de los metales y metaloides en estos compartimentos, y facilitar su distribución a partir de las reservas naturales de estos elementos. Desde el punto de vista toxicológico, su trascendencia es enorme presentando una acusada multiplicidad de efectos tóxicos. Su condición inorgánica y la extensión de sus usos industriales y domésticos los hace persistentes y ubicuos en el ambiente (Poggio et al., 2009 citado por Peña Fernández, A. 2011).

Hay que tener en cuenta que la especie química concreta del metal influye en la toxicocinética y en sus efectos tóxicos en el ser vivo (Kabata & Pendias, 2001; Wong et al., 2006 citado por Peña Fernández, A. 2011).

Propiedades de los Metaloides

- Poseen cuatro electrones en su última órbita
- Son utilizados como semiconductores en electrónica
- Propiedades intermedias entre los Metales y los No Metales
- Su apariencia varía entre el brillo metálico de los metales y la opacidad de los no metales (Química General, 2015).

Metales pesados

Se habla mucho de los metales pesados, sin indicarse sin embargo, qué son, y específicamente, el cómo y por qué son peligrosos. Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63,55 (Cu) y 200,59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4g/cm^3 (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

Los metales pesados pueden ser tóxicos, como cualquier otro elemento o compuesto. Una sustancia tóxica es aquella que tiene un efecto adverso sobre la salud. Muchos elementos o compuestos químicos pueden ser clasificados como tóxicos, si bien unos lo serán más que otros. Así, se define como nivel de toxicidad de una sustancia como la cantidad que causa el correspondiente efecto adverso. La relación entre la cantidad y el efecto o respuesta de un elemento es

distinta si se trata de elemento esencial o no (tóxico) (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

Tabla N°03: Lista de metales pesados (metales con densidad mayor a 4).

Elemento	Densidad (g/Cm ³)
Arsénico	5.72
Cromo	7.19
Níquel	8.9
Cobalto	8.9
Cobre	8.65
Cadmio	8.65
Plomo	11.35
Mercurio	13.55

Fuente: Los elementos... (sf).

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: Alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión” (Cornelis et al., 2007 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Contaminación de agua por metales pesados

La contaminación por metales pesados, puede llegar a afectar a todo tipo de ecosistemas acuáticos, debido a su permanencia en el medio natural tras el vertido. Pueden alcanzar acuíferos por infiltración de estos compuestos, dependiendo en muchos casos de factores como el pH del medio o del propio vertido, como también pueden alcanzar zonas húmedas o lagunas por escorrentía o incluso por la alimentación desde acuíferos o ríos. La presencia de metales pesados en el agua va a condicionar su uso; Así, se puede ver afectada su utilización como captación de agua de abastecimiento, limitando recursos hídricos fundamentales en regiones semiáridas, puede afectar a la explotación pesquera, a los usos recreativos y como no al equilibrio del ecosistema, causando la muerte y desaparición de muchas especies (Vílchez, 2005 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Las aguas residuales que generan las actividades industriales y domésticas también aumentan, de las cuales sólo el 5% son tratadas para purificarlas y reciclarlas. Datos reportados, por las Naciones Unidas, muestran que una de cada cinco personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, mientras que alrededor de 2400 millones carecen de condiciones adecuadas de salubridad (ONU, 2014 citado por Blanco, 2014 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Fuentes

Arsénico: En el entorno natural, el arsénico está presente en cantidades bastante abundantes en la corteza terrestre y en cantidades más reducidas en la roca, el suelo, agua y el aire. Está presente en numerosos minerales. Alrededor de un tercio del arsénico presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales, por ejemplo de los volcanes, y el resto proviene de actividades humanas (GreenFacts, 2001).

Algunos procesos industriales tales como la minería, la fundición de metales o las plantas eléctricas de carbón contribuyen a que haya arsénico en aire, agua y suelo. El uso de arsénico en algunos pesticidas agrícolas y en algunos productos químicos que sirven para conservar la madera, también resulta en contaminación ambiental (GreenFacts, 2001).

Cuando procedimientos industriales o actividades volcánicas emiten arsénico a la atmósfera, el arsénico se une a partículas que el viento transporta y que vuelven a caer al suelo. Los microbios presentes en suelos y sedimentos también emiten a la atmósfera sustancias que contienen arsénico. Estos se transforman más tarde en otros compuestos de arsénico que vuelven a fijarse en el suelo (GreenFacts, 2001).

Plomo: El plomo se presenta en forma natural en todas las rocas, en los suelos y en las tierras y polvos, en una proporción que, normalmente, varía entre 2 y 200 ppm. El plomo existente en la corteza terrestre se estima que asciende a un total del orden de $3,1 \times 10^{14}$ toneladas. Algunos suelos presentan una concentración de plomo relativamente elevada debido a que las rocas subyacentes son ricas en dicho metal. El contenido de plomo en las aguas es, en general, bajo pero el aire contiene más plomo que es arrastrado en forma pulverulenta o como vapor y cuyo origen hay que buscarlo en los volcanes o huracanes. En cualquier caso, estas emisiones de origen natural son pequeñas comparadas con las que tienen su origen en la actividad humana (UNIPLOM, 2004).

Producción de plomo: La minería, la metalurgia y la transformación del plomo han sido causa, en tiempos pasados, de importantes emisiones, la mayor parte de ellas en forma de residuos sólidos, pero también se han producido emisiones apreciables a las aguas y a la atmósfera (UNIPLOM, 2004).

Las fuentes móviles (por ejemplo, vehículos que utilizan gasolina plomo) siguen siendo la principal fuente de emisión y de contaminación de aire, agua y suelo en muchos países, mientras que, en otros en los que la gasolina plomo ha sido prohibida, aún existen suelos contaminados por el uso anterior de aquella (UNIPLOM, 2004).

Aunque las pinturas al plomo tienden a desaparecer, sus residuos, procedentes de viejas construcciones o aplicaciones especiales, siguen representando una fuente de contaminación de los suelos y de las aguas de relativa importancia. Las emisiones originadas por otras aplicaciones de plomo son pequeñas y se originan por abrasión y corrosión del metal o de sus compuestos (UNIPLOM, 2004).

El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas de superficie. Entonces, el suelo se contamina por la adherencia de este material a sus partículas. La principal fuente de contaminación del suelo es la pintura que por desgaste se desprende de edificios y otras estructuras (Molina, NP. et al., 2010).

La contaminación del agua se da por los vertimientos de aguas residuales que contienen desechos de plomo derivados de la industria. Así mismo por partículas contaminadas del suelo que son arrastradas hacia las fuentes de agua (Molina, NP. et al., 2010).

Cobre: El Cu se descarga ampliamente de fuentes puntuales (plantas industriales de metales y de otras industrias, como refinerías y fundiciones), vertidos domésticos, botes de pintura y lixiviados metálicos, así como de fuentes más

lejanas como la escorrentía que arrastra fertilizantes, pesticidas, deposición atmosférica, tratamientos antialgas de aguas, etc. (Cousillas, A. sf).

Cadmio: En la industria, se aprovecha del Cd su gran resistencia a la corrosión, su bajo punto de fusión y al ser un excelente conductor eléctrico, su uso se ha derivado en pigmentos, revestimientos, pinturas y baterías recargables de níquel-cadmio. El Cd, como fuente de polución en el medioambiente, proviene primariamente de efluentes industriales (fundición del cobre, zinc, plomo y níquel) y municipales, así como de la deposición atmosférica procedente de la combustión de plásticos, combustibles de automóviles, gomas y del humo de tabaco (Cousillas, A. sf).

Cromo: es un elemento natural ubicuo, que se encuentra en rocas, plantas, suelos, animales y en los humos y gases volcánicos. Es un elemento de transición, por lo que puede funcionar con distintas valencias; las más comunes son las derivadas del cromo trivalente, o cromo (III), y las del cromo hexavalente, o cromo (VI). El cromo (III) es un nutriente esencial para los seres humanos, en los que promueve la acción de la insulina. Usualmente, el cromo metálico, o cromo (0), y los derivados del cromo (VI), son de origen antropogénico. (ATSDR, 1990, publicado por Cousillas, A. sf).

Por su alta reactividad, el cromo metálico no se encuentra libre en la naturaleza. (Cousillas, A. sf).

Mercurio: Las mayores fuentes naturales de mercurio son las emisiones de los volcanes y la evaporación desde los cuerpos de agua. No obstante, gran parte del mercurio encontrado en la atmósfera y en los ecosistemas hídricos, proviene de actividades ocasionadas por el hombre (Coyla, U. sf).

La incidencia de metales y metales pesados en el agua

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al ambiente, debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) y actividades de la vida diaria, causando efectos adversos en el hombre, animales y vegetales; problemática a la que el Perú no es ajeno. En nuestro país, entre los principales agentes contaminantes identificados tenemos: el plomo, mercurio, aluminio, arsénico, magnesio, manganeso, hierro, cobre, cianuro. Agregándose a estos metales pesados el dióxido de azufre, y el ácido sulfúrico (R.M. N° 525-2005/MINSA).

Adicionalmente a ello, tenemos la presencia cada vez mayor de las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia de las actividades productivas, entre ellas la minería. El mayor conocimiento sobre el impacto ambiental y los riesgos a la

salud ocasionados por los diferentes metales pesados y otras sustancias químicas, generó la preocupación del Ministerio de Salud por las formas de proteger la salud de las poblaciones en riesgo y enfrentar los problemas de salud existentes, creando mediante R.M. N° 425 - 2008-MINSA, la Estrategia Sanitaria Nacional de Atención a Personas Afectadas por Contaminación con Metales Pesados y otras Sustancias Químicas, dependiente de la Dirección General de Salud de las Personas con funciones definidas; situación que aún continúa hasta que se concluya el proceso de reestructuración de las Estrategias Sanitarias Regionales, según la R.M. N° 525-2012/MINSA (MINSA, 2005).

Importancia del estudio de metales pesados en el agua y sedimentos

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado al incremento de la población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por organismos vivos, sus efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los mismos organismos los incorporan a sus tejidos y estos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando, la toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un

metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental (Rosas, H. 2001).

Toxicidad de los metales pesados

La toxicidad de los metales depende en gran medida de la forma química en la cual sean introducidos en el organismo: por lo general los compuestos orgánicos de los metales son más tóxicos que los inorgánicos; por ejemplo, los compuestos orgánicos de mercurio y cadmio son 10-100 veces más tóxicos que los inorgánicos. Sin embargo esto no ocurre así con el arsénico, en el cual las formas orgánicas son menos tóxicas. Incluso el estado de oxidación puede determinar el carácter tóxico de un metal: un ejemplo notable es el caso del cromo; mientras que el Cr^{3+} es un elemento esencial, el Cr^{6+} es altamente cancerígeno (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

Así, lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio. Cabe recordar que de hecho los seres vivos "necesitan" (en pequeñas concentraciones) a muchos de éstos elementos para funcionar adecuadamente (elementos esenciales). Ejemplos de metales requeridos por el organismo incluyen el cobalto, cobre, hierro, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio,

estroncio, y zinc. El caso del hierro es notable entre éstos, siendo vital para la formación de hemoglobina (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

Todos los elementos pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos (el agua químicamente pura no existe en la naturaleza), aunque sus concentraciones (en ausencia de contaminación) son muy bajas. Los metales pesados se encuentran en estas aguas como coloides, partículas minerales (sólidos en suspensión), o fases disueltas (cationes o iones complejos). Las formas coloidales suelen dar lugar a la formación de hidróxidos, mientras que las partículas sólidas incluyen una gran variedad de minerales. Las fases disueltas pueden a su vez ser capturadas por adsorción o absorción en arcillas o hidróxidos. Adicionalmente, los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (metilmercurio: CH_3Hg) (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

A su vez la química del sistema acuoso regula las tasas de adsorción-absorción en el sistema agua-sedimento. La adsorción remueve el metal de la columna de agua; la desorción lo incorpora nuevamente a ésta.

Arsénico: El arsénico es muy tóxico en su forma inorgánica (OMS, 2016). Los compuestos inorgánicos de arsénico contienen arsénico (As) y tienen por lo menos otro elemento, pero no carbono (C). Existen cuatro formas químicas principales de arsénico inorgánico que se conocen por valencias o estados de oxidación. La valencia es una medición de la capacidad de un compuesto para combinarse con otros elementos tales como el hidrógeno. A veces se utiliza la forma abreviada "arsénico inorgánico" para referirse a los compuestos inorgánicos (GreenFacts, 2001).

Las formas dominantes son: Arsenito, con valencia 3, también se denomina trivalente arsénico (As (III), As^{+3}), Arseniato, con valencia 5, también se denomina pentavalente arsénico (As (V), As^{+5}). Los compuestos inorgánicos de arsénico son principalmente de origen geológico y pueden encontrarse en el agua subterránea que se emplea para el agua de bebida en algunas partes del mundo (GreenFacts, 2001).

Su mayor amenaza para la salud pública reside en la utilización de agua contaminada para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios. La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado

a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes (OMS, 2016).

Plomo, Cadmio y Mercurio

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte (FCEA, sf).

El plomo es un metal escaso, se calcula en un 0,00002% de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327,4°C, un punto normal de ebullición de 1770°C y una densidad de 11,35g/ml. Forma compuestos con los estados de oxidación de +2 y +4, siendo los más comunes los del estado de oxidación +2. El plomo es anfótero por lo que forma sales plumbosas y plúmbicas, así como plumbitos y plumbatos (FCEA, sf).

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotécnia,

en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras, etc. (FCEA, sf).

Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más tóxicos son los compuestos orgánicos. Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos. El mercurio (azogue) se ha visto siempre con fascinación y asombro porque es el único metal líquido en condiciones ambientales. El mercurio líquido no es venenoso pero sus vapores y sus compuestos son muy tóxicos. Como el mercurio y sus compuestos son casi insolubles en agua no eran considerados, durante mucho tiempo, como contaminantes y mucho menos como contaminantes potenciales (FCEA, sf).

Posteriormente, los investigadores encontraron que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metilmercurio, $\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$, es muy venenoso) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de

contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos (FCEA, sf).

La contaminación del agua por mercurio es producido por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo. Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua. Por ejemplo, en la electrólisis del cloruro de sodio en solución se utiliza el mercurio como electrodo y cuando en la sal muera (solución concentrada de cloruro de sodio) disminuye su concentración, es desechada a las alcantarillas. Estos desechos contienen mercurio y siguen el curso del agua hasta llegar a los lagos, ríos y hasta el mar, donde pueden incorporarse a las diferentes cadenas alimenticias, reaccionar y transformarse en metilmercurio. Luego el hidróxido de sodio obtenido que está contaminado por mercurio se utiliza como materia prima de otros procesos (FCEA, sf).

En la agricultura se usan fungicidas de compuestos organomercuriales como el 2-cloro-4-hidroxifenilmercurio y el acetato de 2-(fenil-mercuriamino) etanol, y fungicidas de follaje como el acetato de 2-(fenil-mercuriamino) etanol (FCEA, sf).

El cloruro mercuríco, HgCl_2 , es muy venenoso y peligroso por su gran solubilidad en agua (71,5 g/L a 25°C). El fulminato mercuríco, $\text{Hg}(\text{ONC}_2)_2$, es soluble en agua, en solventes orgánicos y se usa como detonador de explosivos. El acetato fenilmercuríco se usa en pinturas látex como conservador y como contra el ataque de hongos o el enmohecimiento. Los compuestos de mercurio son muy tóxicos a ciertas concentraciones (FCEA, sf).

Los compuestos alquilmercurícos son muy tóxicos y de larga duración, son de efectos destructivos del cerebro y del sistema nervioso central, donde tienden a acumularse. Se usaban como desinfectantes de semillas pero se prohibió el uso de todos los derivados del mercurio en la agricultura. Sólo se permite el uso del cloruro mercuríco y mercurioso para controlar hongos en el pasto (FCEA, sf).

Por otra parte, es probable que el hombre necesite pequeñas dosis de mercurio lo mismo de otros oligoelementos químicos que a dosis mayores resultan venenosos (FCEA, sf).

El cadmio es tóxico y el envenenamiento se produce al inhalarlo o ingerirlo, tiene gran tendencia a formar compuestos complejos acuosos en los que se une de uno a cuatro ligandos. Sus compuestos más importantes en la industria son el cianuro, la amina y varios complejos de haluros (FCEA, sf).

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), de baterías (cadmio níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas (fungicidas), la electrodeposición o la aleaciones de fierro, en la producción de fierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares (FCEA, sf).

Los alquil y aril cadmios se usan como catalizadores y sus sales de los ácidos orgánicos (laurato, estearato, palmitato, fenolato, naftenato y benzoato de cadmio) como estabilizadores térmicos y de luz en los plásticos como el cloruro de polivinilo. El uso de estabilizadores de bario-cadmio en plásticos contaminan los alimentos almacenados en ellos (FCEA, sf).

En 1965 se informó en Japón de la muerte de más de 100 personas por contaminación por cadmio, el cual afecta principalmente a los huesos. El cadmio es tóxico para todas las formas de vida y en el hombre puede provocar daños en

el aparato digestivo, en riñones y en los huesos (produce descalsificación y lesiones en la médula ósea) e inhibir algunos procesos enzimáticos. La inhalación de sus vapores produce severas lesiones en los pulmones. Además se ha observado que el cadmio tiene relación con la hipertensión arterial, la que origina enfermedades cardiacas (FCEA, sf).

Como medida de seguridad, se recomienda que los trabajadores no sean expuestos por más de 8 horas a concentraciones mayores de 40mg/m^3 de cualquiera de sus compuestos del cadmio en el aire (FCEA, sf).

Cuando el agua está contaminada por ácidos es más fácil la contaminación por metales que cuando no contiene ácidos, por ejemplo, cuando hay cadmio y ácido clorhídrico se puede representar mediante la ecuación química:



También se desechan aguas residuales industriales que contienen sustancias muy tóxicas como los cianuros que son arrojados a las alcantarillas por industrias dedicadas a la galvanoplastia o a la refinación y limpieza de metales. Los procesos para reciclar y extraer del aire, del agua o del suelo a los contaminantes de los metales pesados como el plomo, el mercurio y el cadmio son muy costosos, por lo que hay que evitar arrojarlos al medio ambiente, además de los graves daños que causan en los seres vivos (FCEA, sf).

Cromo: el cromo (VI) puede persistir en este estado en las aguas con bajo contenido de materia orgánica, mientras que, al pH natural de las aguas, el cromo (III) formará compuestos insolubles, a menos que se formen complejos (Cousillas, A. sf).

Factores físico-químicos ambientales

Para Oyarzun, R. e Higuera, P. (2007) los parámetros que regulan el sistema son: la salinidad, el potencial redox (Eh), y el pH: Su efecto combinado tiene gran influencia sobre el grado de toxicidad y sobre la incorporación de los metales pesados por la biota acuática (Prosi, 1981; Doherty, 1990 citado por Rosas, H. 2001).

Se describe a continuación la influencia de algunos parámetros: Un incremento de la salinidad conlleva una competencia, entre metales pesados y metales grupos I y II, por los sitios de ligazón (espaciado interlaminar en las arcillas), lo que se traduce en la expulsión de los metales pesados, y su devolución a la columna de agua (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

El potencial redox (Eh) de un ambiente dado influye sobre los fenómenos de especiación metálica (Rosas, H. 2001).

A altos valores de Eh se asocian fenómenos oxidantes; mientras que a bajos valores del mismo lo hacen lo hacen los reductores. Los sedimentos están sometidos a unas condiciones redox determinadas, que pueden afectar al estado de algunos elementos tales con C, Ni, O, S, Fe, Ag, As, Cr, Hg y Pb. Así cuando los sulfatos se reducen a sulfuros la tendencia es producir la precipitación de los metales (FeS₂, HgS, CdS, CuS, MnS y ZnS). El potencial redox puede influir en los procesos de adsorción, incluso al propio contaminante (Babich & Stotzky, 1983; Wood, 1989; Forstner et al., 1990 citado por Rosas, H. 2001).

PH: afecta a la especiación química y a la movilidad de muchos metales pesados (Wood, 1989 citado por Rosas, H. 2001).

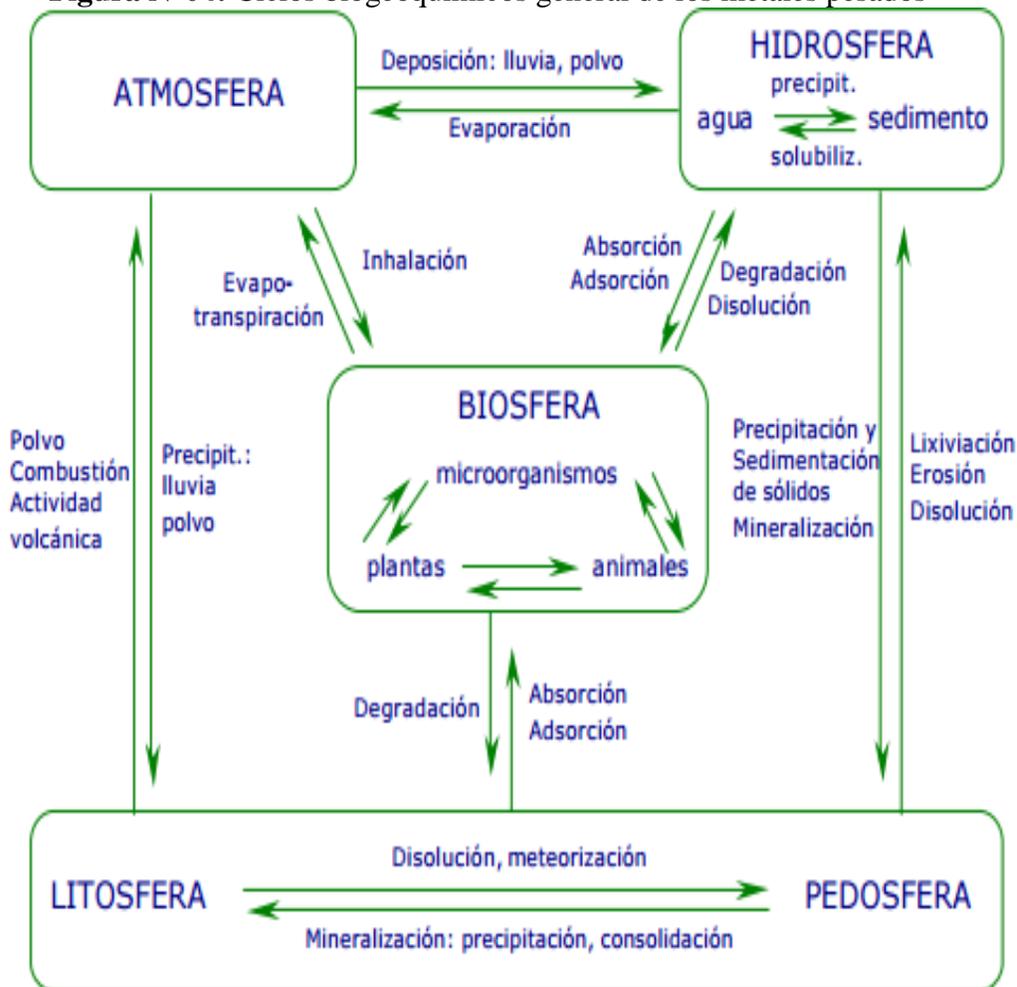
Los cambios de PH pueden influir fuertemente en la adsorción o liberación de cationes (desorción) por las sustancias orgánicas. Los aminoácidos, que aparecen en elevadas concentraciones tanto en solución como precipitados en sedimentos de aguas eutróficas o contaminadas, pueden adsorber o liberar cationes metálicos, debido a su carácter anfótero (Prosi, 1981; Rovira, 1993; Calmano et al., 1993 citado por Rosas, H. 2001).

Vías de entrada

Los metales tienen tres vías principales de entrada en el medio acuático:

- La vía atmosférica, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos (principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales) (Rosas, H. 2001).
- La vía terrestre, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abono, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales (Rosas, H. 2001).
- La vía directa, de entrada de metales es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales (Rosas, H. 2001).

Figura N°04: Ciclos biogeoquímicos general de los metales pesados



Fuente: Rosas, H. (2001).

Origen de los metales pesados en aguas superficiales

En aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana (Rosas, 2001 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Origen natural: El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo. La acción de los factores ambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas, son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota) (Adriano, 1986, citado por Andrade & Ponce, 2016).

Una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (Murray, 1996 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Origen antropogénico

Se entiende por contaminación de origen antropogénico, a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado. Los principales orígenes antropogénicos de metales pesados, pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales, que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola),

industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico (Rojas, 2011 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Actualmente las fuentes antrópicas de metales pesados en el ambiente, incluyen a los desechos de la industria metalúrgica, química, minera, industrias relacionadas con la fabricación de baterías y producción de fertilizantes entre otras (Faisal & Hasnain, 2004 citado por Lara et al., 2015 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Origen agropecuario

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales, son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos, debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono (Rosas, 2001 citado por Andrade & Ponce, 2016).

El empleo sistemático de fertilizantes, biocidas, y abonos orgánicos, son el principal foco de contaminación difusa de los suelos y aguas, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, que generalmente son depositados en vertederos, para residuos no peligrosos o abandonados en los campos (MAPFRE, 1994 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua, no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados. Los contaminantes de origen ganadero son los debidos a los desechos de los animales y a los que proceden del lavado de establos y granjas. La concentración de metales en dichos materiales es variable y depende del tipo de ganado del que se trate, de la edad del animal, tipo de establo e incluso del manejo de los desechos (Adriano, 1986 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Origen industrial

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos, son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado (Rosas, 2001 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química (MAPFRE, 1994 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Origen doméstico y urbano

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos, transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. (Rosas, 2001 citado por Andrade & Ponce, 2016).

La actividad urbana, es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmósfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales (MAPFRE, 1994 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos (Rosas, 2001 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas

adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades (Rosas, 2001; Rojas, 2011 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Efectos de los metales pesados

Ya en la antigua Roma se había encontrado que algunas enfermedades estaban relacionadas con metales pesados. Se atribuía a las ollas, cañerías y fundiciones de Pb (Plomo) la pérdida de inteligencia entre los niños, y las lesiones cerebrales y el comportamiento anormal entre los adultos. Los metales pesados liberados actualmente en el medio ambiente provienen de emisiones no controladas por las fundiciones de metal y otras actividades industriales, la evacuación peligrosa de desechos industriales y el Pb de las cañerías de agua, las pinturas y la gasolina (Morales, AF. 2013).

Los metales pesados más peligrosos para la salud son: Pb, Hg, Cd, As, Cu, Zn y Cr. Estos metales se encuentran naturalmente en el suelo en cantidades mínimos, que presentan pocos problemas. Pero cuando están concentrados en ciertas áreas, constituyen un serio peligro (Morales. AF. 2013).

Plomo

El plomo es un metal pesado de densidad $11,4 \text{ g/cm}^3$ a 16°C , de color azulado, que al empañarse adquiere un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a $327,4^\circ\text{C}$, hirviendo a 1725°C . Sus valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas (Martín, 2008 citado por Andrade & Ponce, 2016).

El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos (Martín, 2008 citado por Andrade & Ponce, 2016).

De todas las sustancias químicas tóxicas presentes en el ambiente, el Plomo es la más persistente. La concentración media de Plomo (Pb) en la tierra es de 1,6g por cada 100Kg de suelo (Pain, 1995), y según Clark (1992) citado por Siavichay (2013), citado por Andrade y Ponce (2016), la producción total de Plomo ronda los 43 millones de toneladas/año. Cuando el Plomo es liberado al aire, puede ser transportado largas distancias para luego caer al suelo y depositarse en el mismo, luego de acuerdo a condiciones como la lluvia puede ser arrastrado hacia aguas

superficiales, acumularse en los sedimentos o ser absorbido por las plantas e introducirse en la cadena alimentaria (Poma, 2008; Martínez et al., 2012 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Aunque el Plomo elemental no se disuelve en agua, sus formas orgánicas si lo hacen, haciendo que el Plomo proveniente de minería y el Plomo residual, proveniente de calles, tuberías y suelos, puedan llegar a contaminar el agua que posteriormente sea utilizada para consumo humano o irrigación de terrenos (Philiph, 2001; Siavichay, 2013 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Entre las fuentes de plomo en el polvo y la tierra se incluyen al plomo que cae al suelo desde el aire y el desgaste y desprendimiento de pedazos de pintura con plomo desde edificios, puentes y otras estructuras. Los vertederos pueden contener desechos de minerales de plomo proveniente de la manufactura de municiones o de otras actividades industriales como por ejemplo la manufactura de baterías. La disposición de productos que contienen plomo contribuye a la cantidad de plomo en vertederos municipales. Los usos del plomo en el pasado, por ejemplo en la gasolina, son una de las causas principales de la presencia de plomo en el suelo, y de los niveles más elevados de plomo que se encuentran cerca de carreteras. La mayoría del plomo en el suelo en áreas urbanas

descuidadas proviene de casas viejas con pintura con plomo y de material emitido por el escape de automóviles cuando la gasolina contenía plomo (ATSDR, 2016).

Una vez que el plomo cae al suelo, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior del suelo. Es por esta razón que los usos del plomo en el pasado, por ejemplo en la gasolina con plomo, y en pinturas y plaguicidas han tenido un impacto tan importante en la cantidad de plomo que se encuentra en el suelo (ATSDR, 2016).

Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. Pequeñas cantidades de plomo provenientes de cañerías o de soldaduras de plomo pueden liberarse al agua cuando el agua es ácida o «blanda.» El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años. La movilización del plomo desde partículas en el suelo al agua subterránea es improbable a menos que la lluvia que cae al suelo sea ácida o «blanda.» La movilización del plomo en el suelo dependerá del tipo de sal de plomo y de las características físicas y químicas del suelo (ATSDR, 2016).

Entre las fuentes de plomo en el agua de superficie o en sedimentos están la deposición de polvo que contiene plomo desde la atmósfera, el agua residual de industrias que manejan plomo (principalmente las industrias de hierro y acero y

las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos y apilamientos de minerales. Algunos compuestos de plomo son transformados a otras formas de plomo por la luz solar, el aire y el agua. Sin embargo, el plomo elemental no puede ser degradado (ATSDR, 2016).

Los niveles de plomo pueden ser más altos en plantas y animales en áreas donde el aire, el agua o el suelo están contaminados con plomo. Si los animales comen plantas u otros animales contaminados, la mayor parte del plomo que consumen pasará a través del tubo digestivo y será eliminada en las heces. (ATSDR, 2016).

El plomo es un metal carente de valor biológico, es decir, no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos. Debido a su tamaño y carga, el plomo puede sustituir al calcio (Pb^{2+} : 0,84Å; Ca^{2+} : 0,99Å), y además de manera preferente, siendo su sitio de acumulación, los tejidos óseos. Esta situación es particularmente alarmante en los niños, que debido a su crecimiento incorporan altas cantidades de calcio. Altas dosis de calcio hacen que el plomo sea "removido" de los tejidos óseos, y que pase a incorporarse al torrente sanguíneo. Una vez ahí puede inducir nefrotoxicidad, neurotoxicidad, e hipertensión (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

El agua en áreas no contaminadas, presenta concentraciones bajas de plomo (1 microgramo/Litro) en aguas superficiales, y alrededor de 8 microgramos/ Litro en los ríos (Ubillus, 2003).

Los niños generalmente absorben una mayor proporción del plomo por las vías, respiratoria y oral, sobre todo por esta última si existe desnutrición, deficiencia en calcio, hierro, fósforo y zinc, vitamina D y/o infecciones gastrointestinales, produciendo esto un efecto más severo que los adultos, porque están en un proceso activo de desarrollo y por ciertas características fisiológicas, patológicas y de conducta (Poma, 2008; Martínez et al., 2012 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Los servicios de salud pública, pueden identificar áreas en que la población tiene un riesgo mayor de intoxicación con plomo y establecer condiciones para el despistaje, identificación temprana y tratamiento de las personas afectadas. La determinación de plomo en sangre venosa es la prueba más sensible de exposición al plomo (Poma, 2008; Martínez et al., 2012 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Puesto que el plomo es un veneno acumulativo, es importante investigar continuamente las cantidades de este metal que entran al medio ambiente, que

constituye una amenaza para la salud humana (Dickson, 1999 Publicado por Luna, JA. & Barajas, G. 2009).

Tabla N°04: Efectos del plomo.

	EFFECTOS
PLOMO	<p>Niveles de plomo en sangre de 0,48µg/L pueden inducir en los niños: Daño durante el desarrollo de los órganos del feto, daño en el sistema nervioso central, reducción de las habilidades mentales e iniciación de desórdenes del comportamiento, daño en las funciones del calcio (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).</p> <p>Niveles del orden de 1,2µg/L pueden inducir: Descenso del coeficiente intelectual (CI), Problemas de desarrollo cognitivo y del comportamiento, (Déficits neurológicos que pueden persistir hasta la adolescencia), elevación de los umbrales auditivos, peso reducido en recién nacidos, desarrollo cognitivo temprano anormal (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).</p> <p>En adultos el metal puede acumularse en los huesos, donde su vida media es superior a los 20 años. La osteoporosis, embarazo, o enfermedades crónicas pueden hacer que éste plomo se incorpore más rápidamente a la sangre. Los problemas relacionados con la sobreexposición al plomo en adultos incluyen: Daño en los riñones, daño en el tracto gastrointestinal,</p>

	daño en el sistema reproductor, daño en los órganos productores de sangre, daños neurológicos, abortos (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).
--	--

Mercurio

Es un metal pesado plateado que a temperatura ambiente es un líquido inodoro. Es un mal conductor del calor comparado con otros metales, aunque no es mal conductor de la electricidad. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico. Cuando aumenta su temperatura, produce vapores tóxicos y corrosivos, más pesados que el aire (Martín, 2008 citado por Andrade & Ponce, 2016).

La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio. La fuente más importante de contaminación con mercurio son las emisiones al aire, pero se producen también emisiones de mercurio de diversas fuentes, que van directamente al agua y a la tierra. Una vez liberado, el mercurio permanece en el ambiente, donde circula entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas. Las emisiones

actuales, se añaden al fondo de mercurio existente en el mundo que sigue movilizándose, depositándose en la tierra y el agua y volviendo a moverse. (PNUMA, 2005 citado por Andrade & Ponce, 2016). En los ríos y lagos contaminados con este metal, se han registrado niveles de hasta 0,03 mg/L (Robertson, 1988).

Tabla N°05: Efectos del Mercurio.

	EFFECTOS
MERCURIO	<p>El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta (Arana, 2009 citado por Andrade & Ponce, 2016).</p> <p>El vapor de Hg se absorbe rápidamente en los pulmones. En forma líquida o vapor apenas se absorbe por la vía gastrointestinal. Por su gran liposolubilidad se difunde a los tejidos atravesando fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta. El Hg se oxida a ion mercuríco, perdiendo la capacidad de difundirse. Queda luego retenido en los glóbulos rojos, sistema nervioso central (SNC) y riñones. La vía de excreción más importante es la digestiva y, en</p>

	menor porcentaje, la urinaria, respiratoria y sudorípara. En orina, la semivida es de 40 - 90 días, este dato es importante pues se considera un marcador biológico de las exposiciones crónicas (Gaioli et al., 2012 citado por Andrade & Ponce, 2016).
--	--

Cadmio

El cadmio (cadmia en latín y en griego kadmeia, significa “calamina”, nombre que recibía antiguamente el carbonato de cinc) fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer, como una impureza en el carbonato de cinc. El cadmio no se halla en el ambiente como un metal puro, es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y menas de cobre. El cadmio es suave y de color blanco plateado es relativamente barato, ya que es un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, como el cinc y el cobre. Las principales fuentes de Cd en ambientes acuáticos, son debidas al lavado de los suelos agrícolas y a las descargas de la minería y la industria. Otro origen importante, son los desechos municipales y los lodos de las plantas de tratamiento. Su presencia en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Villanueva & Botello, 1992 citado por Marrugo, 2011 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Las principales fuentes de exposición de cadmio, en la población general a través de líquidos se dan por cañerías que contienen cadmio, en sus soldaduras o por el agua que ha sido contaminada por las fábricas que tiran sus desechos al río, como las que hacen acabado de metales, electrónica, manufactura, baterías, estabilizadores plásticos, plaguicidas (fungicidas), entre otras. (Pérez & Azcona, 2012 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Tabla N°06: Efectos del Cadmio.

	EFFECTOS
CADMIO	<p>Se acumula en el hígado, riñones, y en el tracto gastrointestinal. Sus efectos son los siguientes: Problemas en las agallas y riñones, pobre mineralización de los huesos, anemia, crecimiento retardado, anormalidades del desarrollo y comportamiento (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).</p> <p>El cadmio tiene efectos bien establecidos en los riñones, los huesos y los pulmones; se tiene menos evidencia de sus efectos neurotóxicos, teratogénicos o alteradores del sistema endocrino. La excreción es lenta, con una media de vida muy larga (décadas) en el cuerpo humano; se acumula en la mayor parte de los tejidos durante el envejecimiento. (Pérez & Azcona, 2012 citado por Andrade & Ponce, 2016).</p>

Cromo

El cromo es un elemento metálico de amplia distribución en la naturaleza, en forma de crocoita. Ocupa el cuarto lugar entre los 29 elementos biológicamente más importantes de la corteza terrestre. El cromo se encuentra en varios estados de oxidación, siendo los más comunes, el cromo (III) y el cromo (VI) (Téllez et al., 2004).

El cromo se comporta en dos formas diferentes al ponerse en contacto con el ser humano. El cromo (III) es un oligoelemento, indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos necesarios para la vida, específicamente tiene acciones en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos, además de desempeñar un papel muy importante en diferentes reacciones enzimáticas. El cromo (VI), es un elemento altamente tóxico para el ser humano y está clasificado por la IARC (International Agency for Research on Cancer) en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) ya que en exposición ocupacional produce cáncer en el sistema respiratorio (Téllez et al., 2004).

En los ecosistemas acuáticos, el Cr^{6+} se encuentra principalmente en forma soluble, que puede ser lo suficientemente estable como para ser transportado por el agua. Sin embargo, éste finalmente se convierte en Cr^{3+} , mediante la reducción de especies tales como las sustancias orgánicas, el ácido sulfhídrico,

el azufre, el sulfuro de hierro, el amonio y el nitrito (Lenntech, 2008 citado por Chávez Porras, A. 2010).

Por lo general, esa forma trivalente no migra de manera significativa sino que se precipita rápidamente y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo. Se ha comprobado que se acumulan en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan del fondo, como el bagre (*Ictalurusnebulosus*), en los bivalvos, como la ostra (*Crassostreavirginica*), el mejillón azul (*Mytilusedulis*) y la almeja de caparazón blando. En los suelos, el Cr^{3+} es relativamente inmóvil debido a su gran capacidad de adsorción en los suelos, pero el Cr^{6+} es muy inestable. Aun cuando se libera al ambiente, no existe garantía alguna de que permanezca en ese estado químico. Por ejemplo, la práctica de depositar residuos en rellenos sanitarios con contenido de Cr^{3+} provenientes de curtiembres, junto con otros desechos industriales ácidos o con desechos cloacales, que crean condiciones ácidas al descomponerse, puede transformar el Cr^{3+} en Cr^{6+} (Lenntech, 2008 citado por Chávez Porras, A. 2010).

Tabla N°07: Efectos del Cromo.

	EFFECTOS
CROMO	<p>Los efectos tóxicos del Cr^{3+} son menores a los del Cr^{6+}, conocido cancerígeno, ya que éste puede ocasionar manifestaciones agudas y crónicas en las personas que hayan estado en contacto directo. La ingesta produce un cuadro gastrointestinal en forma de vómitos, dolores abdominales, diarreas y hemorragias intestinales. Se han descrito casos de muerte, por colapso cardiocirculatorio; si el paciente sobrevive, puede aparecer una insuficiencia renal aguda. En muchos casos se presenta la intoxicación crónica, que es el contacto cutáneo con compuestos hexavalentes que producen úlceras de 5 a 10mm, no dolorosas, que suelen afectar el dorso de las manos y de los dedos; reciben el nombre de úlceras en “nido de paloma”. También pueden ocasionar dermatitis de contacto irritativas y alérgicas; como también, la exposición se relaciona con cuadros de bronquitis y de asma, ulceraciones y perforaciones nasales (Chávez Porras, A. 2010).</p>

Arsénico

El arsénico se encuentra en dos formas comunes: una gris y de aspecto metálico y otra no metálica y amarillenta. Se usa para librar al vidrio de los tonos verdosos y se agrega plomo para volverlo más duro. También se le emplea en la elaboración de diversos insecticidas. Antes del advenimiento de los antibióticos, se le empleaba como medicamento en dosis sumamente pequeñas para tratar padecimientos como la sífilis (Das, et al., 2004 citado por Álvarez, 2009). El arsénico es un elemento habitual en la atmósfera, suelos, rocas, aguas naturales y organismos vivos. Su movilidad en el ambiente es debida tanto a procesos naturales como a actividades humanas (Matschullat, 2000 citado por Álvarez, 2009).

La vida acuática y terrestre muestra una amplia gama de sensibilidades a las distintas especies arseniacales. En general las formas inorgánicas son más tóxicas que las orgánicas, y el arsenito más peligroso que el arsenato. Los arsenitos pueden fijarse a las proteínas, mientras que el arsenato afecta a la fosforilización oxidativa (en relación con Ciclo de Krebs) (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

Los organismos marinos contienen residuos arseniacales que van desde < 1 a 100 mg kg^{-1} , los cuales se encuentran como arsenoazúcares (en las algas) o arsenobetaina (en invertebrados y peces). Las plantas terrestres pueden acumular

arsénico por captación a través de las raíces, o por adsorción de arsénico aerotransportado, en las hojas (Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007).

La mayor parte de los problemas ambientales del arsénico son el resultado de la movilización por causas naturales (actividad volcánica, reacciones de degradación por la acción de la atmósfera, actividad biológica), pero otros factores promovidos por la actividad humana, como la combustión de los combustibles fósiles, la actividad minera, el uso de fertilizantes y herbicidas en la agricultura, o el uso de aditivos arsenicales en piensos animales o como conservantes de la madera, son responsables de problemas de contaminación por arsénico al menos a escala local. De las diferentes fuentes ambientales de arsénico, la que tiene mayor efecto en la salud humana es la presencia de este en aguas de bebida (Álvarez, 2009).

Tabla N°08: Efectos del Arsénico.

	EFFECTOS
ARSÉNICO	<p>Es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer, como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico, puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico, aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65mg suele provocar una muerte violenta. Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen fatiga, dolores musculares, pérdida del cabello, zumbido de los oídos, cicatrización difícil, depresión, laxitud, alucinaciones visuales y la disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte (Álvarez, 2009).</p> <p>La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes (OMS, 2016).</p>

Monitoreo del agua

El monitoreo del agua ya sea de un río o quebrada, consiste en determinar los cambios ocurridos en el agua, los animales y la tierra que le rodea, a través de varias observaciones o estudios. Así, podemos descubrir las enfermedades que puede generarse por ingesta de agua contaminada del río y sugerir el tratamiento necesario para sanarlo (Cuenca & Pazuña, 2011 citado por Andrade & Ponce, 2016).

Procesos de monitoreo de agua

En la gestión de los recursos hídricos, la calidad del agua es uno de los aspectos más importantes que se tiene en cuenta para los diferentes usos establecidos en el territorio nacional. Se busca conservar y proteger la calidad las aguas continentales y marinas de los efectos de las fuentes contaminantes y del cambio climático, con la finalidad de establecer un equilibrio del ecosistema acuático, considerándose a éste como indicador de la calidad óptima del recurso, beneficiándose al ambiente y a la salud pública (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2005).

El monitoreo de calidad del agua en cuerpos naturales, se ha venido realizando en el país por requerimiento de las autoridades ambientales sectoriales del Estado, en cumplimiento de los valores límite y los límites máximos permisibles

de la normatividad nacional, en temas de medio ambiente, principalmente en la década de los 90, por esa razón las instituciones públicas han venido monitoreando con fines diversos la calidad de los cuerpos de aguas naturales y los efluentes a través de diversos criterios y metodologías establecidas en los protocolos de monitoreo de la calidad de agua, obteniéndose resultados en muchos casos poco confiables (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2005).

Desde la promulgación de la Ley N°29338 “Ley de Recursos Hídricos” y su reglamento, a la Autoridad Nacional del Agua - ANA, como Autoridad máxima del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, se le faculta establecer el protocolo para el monitoreo de la calidad del agua que pueda ser homologado intersectorialmente y que garantice generar una única base de datos de la calidad del agua, en el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, que pueda ser manejada dentro del contexto de la gestión integrada y multisectorial de las cuencas hidrográficas (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2005).

Descripción de la zona de estudio

Cuenca del río Jequetepeque

La cuenca del Río Jequetepeque está ubicada en el norte del Perú, abarcando las Regiones de Cajamarca (Provincias de Cajamarca, Contumazá, San Pablo y San Miguel) y La Libertad (Provincias de Pacasmayo y Chepén) (FAO, 2003 citado

por Peña, P. & Vargas, V. 2006). Entre los paralelos 7°6' y 78°30' de latitud sur y los meridianos 78°30' y 79°40' longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Tal ubicación corresponde a la vertiente occidental de la cordillera de los andes. El área total de la cuenca es de 4 377,18km² y su extensión total de 555 kilómetros (Cobeñas, JC. c2015).

El río Jequetepeque tiene una longitud de 161,50km y la dirección de su recorrido es de este a oeste correspondiente a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico. Los niveles altitudinales varían entre los 0 y 4 188 msnm, con rangos de precipitación anual de 0 a 1 100mm. El río Jequetepeque en su recorrido, recibe el aporte de más de 30 ríos secundarios y de varias quebradas menores, generando caudales entre 230,23 m³/seg (época de lluvia) y 0,168 m³/seg (época de estío) (PEJEZA, 2004 citado por Peña, P. & Vargas, V. 2006).

Para el aprovechamiento del recurso hídrico se construyó la represa de Gallito Ciego en la década de los 80, con capacidad para almacenar 573,106 m³ de agua (FAO, 2003 citado por Peña, P. & Vargas, V. 2006). La utilización de esta represa permite el desarrollo de una intensa actividad agrícola y ganadera en la parte baja del valle (ANA. 2015).

Esta represa permite el mejoramiento de riego de 36,000 has. Y la incorporación de 6,700 has. A la agricultura de arroz, caña de azúcar y maíz. Fue construida sobre el lecho del río Jequetepeque en la localidad de Tembladera, distrito de Yonán, provincia de Contumazá, en el departamento de Cajamarca a 350 m.s.n.m (ANA. 2015).

El río Jequetepeque nace a la altura del pueblo de Llallán, en la confluencia de los ríos de Magdalena y Puches, y tiene solamente tributarios en la región de Cajamarca, careciendo de ellos en el departamento de La Libertad (Muro, LA. 2008).

Entre los principales tributarios tenemos: por la margen derecha, la quebrada de Payuc y Chullán; por la margen izquierda, las quebradas de Potrero, Honda, los Montes Nazarios y el río Santa Catalina, este último formando por las aguas del río Cholol y San Lorenzo (Muro, LA. 2008).

principales, secundarios y quebradas menores (SENAMHI, 2004 citado por Peña, F. et al., 2015).

Según el Portal Agrario del Ministerio de Agricultura del Perú (2007), se denomina a cada valle con el nombre del río principal (Peña, F. et al., 2015).

Río Huacraruco-San Juan–Magdalena-Chilete–Jequetepeque

El río Jequetepeque nace en una pequeña laguna ubicada al pie del cerro Agopití, de las aguas vertidas por las quebradas Calzada, Huascamonte y Clariyacu, que originan el río Huacraruco. Este río tiene un trayecto este-oeste, es alimentado por numerosas quebradas, principalmente en su margen izquierda por el río Pacachal; luego prosigue hasta la cercanía de la localidad de San Juan, donde, con el aporte de las escasas aguas de la quebrada La Tranca, se denomina río San Juan. Más adelante es alimentado por los ríos Chotén y Naranjo, para que, con el aporte del río Asunción en su margen izquierda, dé inicio al río Magdalena (Peña, F. et al., 2015).

El río Magdalena tiene entre sus principales afluentes; el río Chetillano, el río Chanta, y a la altura de Chilete confluyen los ríos San Pablo, por su margen derecha, y el río Huertas por su margen izquierda. A partir de estas confluencias, aguas abajo se denomina río Chilete (Peña, F. et al., 2015).

El río Chilete, por la margen izquierda recibe los aportes del río Contumazá, y por su margen derecha recibe los aportes del río San Miguel, donde empieza a llamarse Jequetepeque (Peña, F et al., 2015).

El régimen del río Jequetepeque es muy irregular; a partir del año 1988, a fin de permitir la regulación de sus descargas, entró en operación el reservorio Gallito Ciego. La represa está ubicada en el lecho del río Jequetepeque, ocupando áreas comprendidas desde la parte baja de Tembladera hasta el lugar denominado Gallito Ciego (Peña, F.et al., 2015).

Río Yanahuanga–Llapa-San Miguel-Puclush

Estos ríos cubren aproximadamente la quinta parte de la cuenca media y alta del río Jequetepeque. Es una de las subcuencas de mayor importancia, por ser de quinto orden de confluencia hidrográfica (Peña, F. et al., 2015).

Tiene sus orígenes en las lagunas ubicadas en la parte alta, en el sector nor-occidental de la cuenca donde se encuentran las confluencias de las quebradas Quinuamachay, Colpa y otras, que constituyen un drenaje heterogéneo y ramificado, conforman el río Shoclla, que posteriormente toma el nombre de río Tinte, que es un tributario de tercer orden. Aguas abajo recibe escasos aportes de

las quebradas Tranca, Piedra Grande, Lazareto y cambia de orientación hacia el oeste, denominándose río Rejo (Peña, F. et al., 2015).

El río Rejo aguas abajo, en su margen derecha, tiene aportes del río Tumbadén, formado por un conjunto de quebradas que solo contienen aguas en épocas de mayor precipitación y por el río Chacapampa, que recoge aguas de las filtraciones periglaciares de la lagunas Quellaymishpo y La Compuerta, que pasa a denominarse río Grande, la misma que tiene una longitud aproximada de 3 kilómetros y confluye con el río Llapa (Peña, F. et al., 2015).

El río Llapa tiene una conformación orográfica extensa longitudinalmente, baja desde las alturas, de las confluencias de los ríos Yanahuanga y Callejones. Posteriormente recibe el aporte de la quebrada Ojos y de otras menores, constituyéndose en el río Yanahuanga (Peña, F. et al., 2015).

El río San Miguel, tiene pocos tributarios, todos ellos menores, su cauce se origina en las alturas, muy cerca de la divisoria de aguas, por el lado norte de la cuenca Jequetepeque, incluso colinda con la cuenca del río Chancay Lambayeque. Se inicia de la confluencia del río Pincullo, que en su corto recorrido recibe el aporte de varias quebradas menores; presenta un régimen regular pero con bajo caudal. El río San Miguel, el mismo que pasa muy cerca

del pueblo del mismo nombre, no tiene tributarios representativos por su margen izquierda (Peña, F. et al., 2015).

El río San Miguel y el Llapa se unen formando el río Puclush, el cual recibe aportes provenientes de las quebradas El Milagro, Los Paucos, La Succha y Honda. Luego cambia de nombre, denominándose nuevamente río San Miguel, hacia el cual llegan los aportes de las quebradas El Pozo, Moyan y Yerba Buena, para desembocar en el río Chilete y formar parte del río Jequetepeque. El valle Puclush es el más importante del área, el más amplio y largo. Los otros valles secundarios de la parte alta tienen condiciones climáticas parecidas, mientras que los valles de la parte media del Jequetepeque, tienen condiciones climáticas secas y cálidas (Peña, F. et al., 2015).

Los ríos Llapa, Chacapampa, Tinte, Naranjo y Chotén se ubican en las partes altas y presentan condiciones climáticas húmedas y frías (Peña, F. et al., 2015).

Clima y vegetación

Las características climáticas de la cuenca del río Jequetepeque se encuentran influenciadas por la corriente marina de Humboldt, por las aguas frías procedentes del pacífico sur, por las corrientes cálidas procedentes de la zona ecuatorial ligadas al fenómeno El Niño y por la altitud de la cordillera de los

Andes. Estos elementos definen las tendencias en el comportamiento de los parámetros meteorológicos (Peña, F. et al., 2015)

La temperatura y los niveles de humedad le dan a la cuenca una alta diversidad de climas, desde los secos y calurosos a nivel del mar, hasta los fríos y húmedos en las partes altas (Peña, F. et al. 2015)

Como en la mayoría de las cuencas con vertiente en el océano pacífico, en la cuenca del río Jequetepeque, la mayor cantidad de lluvias se presenta durante la estación de verano, a diferencia de la estación de invierno donde las precipitaciones son escasas. Sin embargo, se distingue la existencia de una relación directa entre la precipitación y la altitud, a mayor altitud mayor precipitación, cuyo incremento se produce de 0 a 1100 milímetros, mientras que las temperaturas varían desde 2°C hasta 30°C (Peña, F. et al., 2015).

Las precipitaciones relativamente escasas en la zona cercana a la costa se debe principalmente a la temperatura de las aguas de la costa Peruana, mientras que las precipitaciones de la parte superior dependen del clima de la cuenca del amazonas y de la humedad proveniente del pacífico. En las regiones inferiores cercanas a la costa, con una precipitación anual menor de 200mm se caracterizan, por ser escasas, pero muy intensas lluvias. En las partes superiores de la cuenca

se observan precipitaciones anuales mayores que 1000mm Teniendo en cuenta la altura, las precipitaciones anuales se distribuyen en su mayoría más o menos uniforme durante 8 meses (Cuenca del Río... sf).

Las temperaturas varían según la altura. En la costa, en la zona de irrigación, la temperatura media anual se presenta alrededor de 23°C con una fluctuación mensual de aprox. 7°C en el transcurso del año. En las partes superiores las temperaturas anuales promedio se presentan entre 8°C y 14°C con muy ligeras fluctuaciones mensuales. En las cumbres las precipitaciones pueden llegar a presentarse también en forma de nieve. Los vientos relativamente uniforme soplan durante el día, del océano hacia tierra adentro y durante la noche, en sentido inverso (Cuenca del Río... sf).

Cobertura

La vegetación natural en la cuenca es escasa, a consecuencia de la sobre utilización por el uso doméstico, agrícola y/o ganadero; sin embargo podemos encontrar algunos lugares donde se observan bosques con relativa modificación (INADE, sf).

En la Tabla N°09 se presentan las áreas y porcentajes de los diferentes grupos de cobertura de suelos, que permite obtener una visión de las características del

paisaje florístico; así tenemos que en primer lugar en extensión lo ocupa los matorrales con un 45% del área total, le siguen los cultivos agropecuarios con el 12,67% y los pajonales con el 12,71%, especial atención debe merecer los bosques que solo cubren el 7,82% y entre ellos el bosque húmedo solo ocupa el 0,74 % y el bosque seco el 7,08%; de igual manera se observa que la reforestación es solo del orden del 0,21% del área total de la cuenca (INADE, sf).

Tabla N°09: Cobertura vegetal del suelo

COBERTURA VEGETAL	SÍMBOLO	Área ha.	%
Cultivos Agropecuarios	Cuap	110 753,57	18,64
Pajonales	Pj	75 212,34	12,66
Matorrales	Ma	274 213,09	45,15
Bosque húmedo	Bh-m	5 085,22	0,86
Bosque seco	Bs-m	50 289,35	8,46
Planicies y estribaciones sin vegetación	Plce Sv	34 758,27	5,85
Planicies costeras sin vegetación	Plea Sv	42 480,20	7,15
Reforestación	Rf	1 229,07	0,21
Lagos y lagunares	Lag	115,57	0,02
TOTAL		594 136,68	100,00

Fuente: Plano Temático. COBERTURA, obtenido de INADE (sf).

En la parte baja de la cuenca, en áreas circundantes al valle del río Jequetepeque, se tiene una vegetación natural, que debido a su aridez, se reduce a unos pocos árboles, arbustos y cactus muy resistentes a la sequía, que se mantiene con la humedad del aire, el agua subterránea y precipitaciones esporádicas. En los desiertos arenosos o pedregosos que a suficientes profundidades tengan agua subterránea o por lo menos humedad para las raíces de algunos árboles y

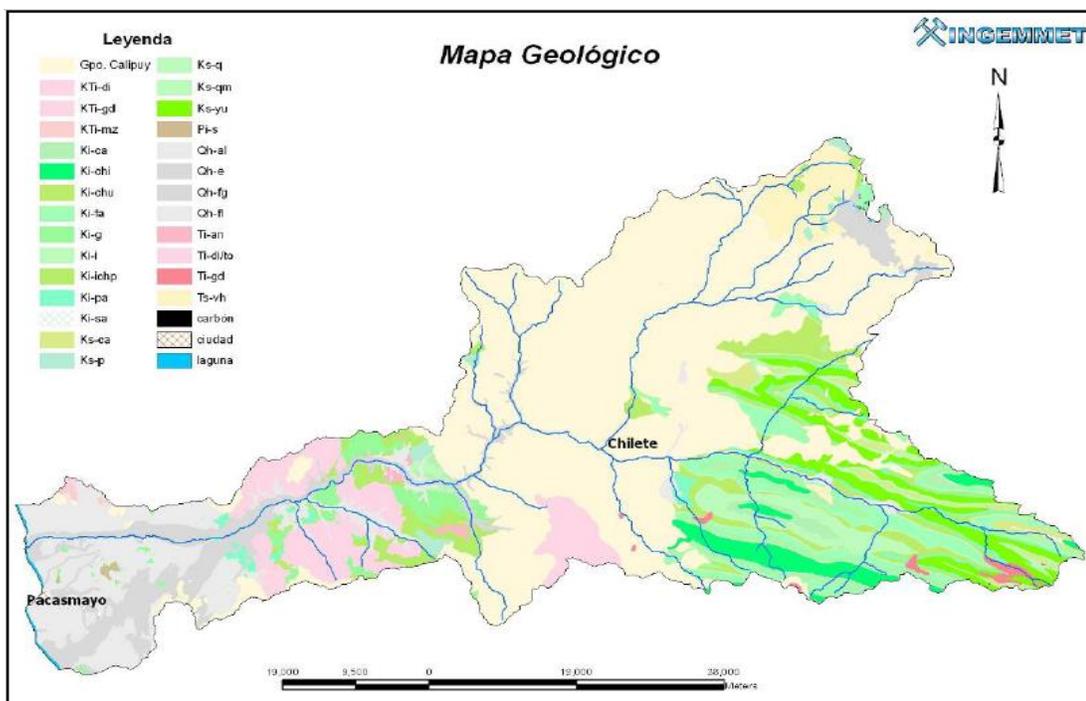
arbustos, se pueden encontrar Algarrobos (*Prosopis juliflora*), Zapote (*Caparis angulata*), vichayo (*Caparis ovalifolia*), Faique o espino (*Acacia tortuosa*), Chope (*Criptocarpus pyriformes*) y en la sombra de los árboles encontramos el Cuncuno (*Vallesia Dichotroma*), a orillas del río y en las praderas crecen el Sauce (*Salix Sp.*) y en zonas extremadamente secas y onduladas y sin la más mínima posibilidad de humedad se mantienen en forma esporádica los Cactus (*Cercus Sp.*). Las pequeñas formaciones boscosas existen en la parte baja de la cuenca se encuentran en Cañoncillo, San José de Moro, Tablazos, etc. (INADE, sf).

Marco Geológico

Las características geológicas en la cuenca están ligadas a su origen formacional y a la tectónica. La formación Salas es la más antigua, posiblemente Ordovícica, está compuesta por filitas, esquistos y metandesitas. El Grupo Goyllarisquizga del Cretácico inferior, está representado por las areniscas, calizas y lutitas de las formaciones Chimu, Santa Carhuaz y Farrat, las que se hallan fracturadas. Las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo y Yumagual, Pulluicana, Quilquiñan, Mujarrún y Cajamarca (cretácico medio-superior) son principalmente calizas y lutitas. A lo largo de la cuenca afloran monzonitas y granodioritas pertenecientes al Batolito de la Costa. Los depósitos volcánicos paleógenos y neógenos constituidos en su mayoría por flujos piroclásticos y de lava corresponden al Grupo Calipuy y al Volcánico Huambos. Finalmente se tienen los depósitos cuaternarios de origen aluvial, eólico, fluvial y fluvio-glaciar. Los de origen

aluvial y fluvial están conformados por gravas subangulosas y subredondeadas en un matriz areno limosa. Estos materiales se encuentran inconsolidados y porosos y afloran a lo largo del piso de valle y principalmente en la parte baja de la cuenca (Peña, P. & Vargas, V. 2006).

Figura N°06: Mapa Geológico de la cuenca del Río Jequetepeque.



Fuente: Publicado por Peña, P. & Vargas, V. (2006).

Situación actual en Cajamarca y, en específico, en la cuenca del Jequetepeque

En los últimos años han surgido pasivos ambientales de la pequeña minería y minería artesanal que deben ser incluidas, para su respectiva atención a nivel

regional y nacional. Desde el 2010 la Dirección Técnica Minera del MINEM ha venido elaborando un listado de pasivos mineros de alto y muy alto riesgo, priorizados por el estado, la misma que es publicada mediante resoluciones ministeriales (Chávez Quijada, M. 2015).

Cabe mencionar que el MINEM ha clasificado a los PAMs (pasivos ambientales mineros) en cinco categorías según el riesgo que representan: Muy alto, alto, medio, bajo e insignificante. En la tabla se muestra la priorización de PAMs por riesgos y por cuenca del último inventario publicado en marzo del 2015. En esta tabla se puede observar que un 50% de PAMs son altamente riesgosos. (4281 de 8616 PAMs corresponde a los de muy alto riesgo y alto riesgo). Siendo necesario un estudio o plan de cierre para la remediación de los mismos, de acuerdo al inventario de marzo del 2015, solo 861 PAMs cuentan con estudios ambientales y 2075 con planes de cierre (36 planes de cierre aprobados correspondiente a los 2075 PAMs), que representa alrededor de 50% del número de PAMs calificados con nivel de riesgo alto y muy alto (Chávez Quijada, M. 2015).

La remediación de PAMs de alto y muy alto riesgo están siendo priorizados mediante normativa legal para ser asumida por el estado – por el FONAM y por la empresa estatal Activos Mineros S.A.C (Chávez Quijada, M. 2015).

Tabla N°10: Priorización de PAMs por riesgos y por cuencas

Unidad hidrográfica	Categoría de priorización por riesgos y por cuencas						Total Ex Unidad Minera	Total PAMs
	Muy alta	Alta	Media	Baja	Insignificante	Otros		
Apurímac	116	85	53	71	7	315	46	647
Alto Huallaga	49	42	47	20	29	330	74	517
Mantaro	258	158	101	275	85	459	183	1336
Santa	526	120	164	15	0	35	90	860
Pisco, Grande, Ica	23	36	40	29	49	11	56	188
Ocoña, Quilca, Tambo, Camaná	87	69	96	66	57	46	57	421
Llaucano, Crisnejas, Alto Marañón	921	599	111	36	0	44	71	1711
Huarmey, Pativilca, Huaura, Casma	111	61	59	29	30	28	41	318
Rímac, Lurín	218	54	49	11	19	33	52	384
Ilo-Moquegua, Sama, Locumba, Caplina	0	7	29	74	70	4	34	184

Huancané, Ramis, Cabanillas	118	95	184	90	14	9	42	510
Illpa, Ilave, Callacame	38	255	54	2	1	3	12	353
Chicama, Jequetepeque	46	16	43	3	1	52	14	161
Moche, Virú, Chao	4	3	0	0	0	8	6	15
Chancay-Huaral, Chillón	22	8	1	7	0	45	11	83
Omas, Cañete, San Juan	7	66	27	7	4	0	8	111
Perené, Urubamba, Yaveró	2	46	106	12	22	20	26	208
Acarí, Yauca, Chala, Caparra, Atico, Caravelí	0	0	0	31	23	48	16	102
Motupe, La Leche-Chancay, Saña, Piura-, Cascajal, Olmos	0	15	18	3	13	7	6	56
Labor MINEM realizada en campo	2546	1735	1182	781	424	1497	845	8165
Otras unidades hidrográficas							88	451
Total pasivos ambientales mineros R.M. N°102-2015-MEM/DM							933	8616

Fuente: Informe 171 de la Defensoría del Pueblo. Julio de 2015. Tomado por Chávez Quijada, M. (2015).

Según el Informe 171 de la Defensoría del Pueblo (2015). Tomado por Chávez Quijada, M. (2015). Un aspecto a destacar del Inventario Nacional es la identificación de PAMs a nivel de cuencas, y en el caso de la región Cajamarca,

se consideran 06 cuencas con mayor número de PAMs son la cuenca del río Llaucano, que tiene 972 PAMs inventariados, seguido de la cuenca Crisnejas con 45 PAM del Jequetepeque con 29, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla N°11. Inventario de PAMs por cuencas en la región Cajamarca - MINEM.

Cuencas	N° PAMs
Chicama	1
Crisnejas	45
Jequetepeque	29
Llaucano	972
Motupe – La Leche – Chancay	10
Zaña	18
TOTAL	1075

Fuente: Inventario PAMs del MINEM (102 – 2015 – MEM/DM. Tomado por Chávez Quijada, M. (2015).al.

2.4. Marco Conceptual

Contaminación Ambiental

“Se denomina contaminación ambiental, a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población” (Aguilar, 2006).

Contaminación Hídrica

Se entiende por contaminación del medio hídrico o contaminación del agua, a la acción o al efecto de introducir materiales o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a sus usos posteriores o sus servicios ambientales (Bermúdez, M. 2010).

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado, de modo que no reúne las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural.

Cuenca Hidrográfica

Se entiende por cuenca hidrográfica, a aquel volumen limitado en su área por una divisoria de aguas y en su dimensión vertical por la biósfera y litósfera inmediatamente adyacentes, porción en la cual operan sistemas muy dinámicos tanto naturales como socioeconómicos (López & Hernández, 1973).

Esta unidad territorial constituye un sistema ambiental integrado por factores naturales, socioculturales y económicos, dinámicos e interrelacionados entre sí, los cuales operan dentro y fuera de la cuenca (Hernández, 1987).

Es un área físico – geográfica debidamente delimitada en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural, mediante uno o varios

cauces de caudal continuos, que confluyen a la vez en un cauce mayor que desemboca en un río principal, en un depósito natural de aguas, un embalse o directamente al mar (Sosa, P. 1993).

Metales Pesados

No se dispone actualmente de una definición oficial o, al menos, de una definición unívoca generalmente aceptada. Se han empleado diversos criterios o pautas para definir los Metales Pesados. Entre las principales propiedades consideradas para ello, se cuentan, respectivamente, la densidad, el peso atómico y la masa atómica. Los elementos generalmente citados como Metales Pesados son el Aluminio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, talio, vanadio, zinc. Se les se atribuyen, en general, efectos de contaminación ambiental, toxicidad y/o ecotoxicidad (Baudran, Y. 2005).

Contaminación

Es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas y biológicas del aire, tierra y agua, que puede afectar nocivamente la vida humana y la de especies beneficiosas (Odum, E. 1986). Contaminación es alterar nocivamente una sustancia u organismo por efecto de residuos procedentes de la actividad humana o por la presencia de determinados gérmenes microbianos (Diccionario Pequeño Larousse, 1986).

ECA

El estándar de calidad Ambiental (ECA), son instrumentos de gestión ambiental que consisten en parámetros y obligaciones que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas (Olea, C. 2012). Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (D.S. N°015-2015-MINAM)

D.S. N°015 – 2015-MINAM: Decreto Supremo que modifica y complementa normas reglamentarias para fortalecer el Marco Normativo del Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA.

Ciencias Ambientales

La ciencia ambiental es un área de conocimiento que comienza a desarrollarse a nivel nacional y mundial desde los años sesenta. Este nuevo campo de estudio surge ante la necesidad de comprender y encontrar soluciones a la grave y compleja crisis ambiental, que vive la sociedad globalizada en sus relaciones con

la naturaleza, de la cual solo se ha tomado conciencia en las últimas décadas (Lugo, U. 2010).

La ciencia ambiental, es referida como el conjunto de conocimientos y metodologías, provenientes de múltiples disciplinas, integrados con el objeto de comprender, predecir y accionar sobre las interrelaciones de las poblaciones humanas en su devenir histórico, social, cultural y tecnológico con la naturaleza y su evolución dinámica intrínseca. Los ámbitos de la ciencia ambiental, se congregan en torno a los valores de respeto por la naturaleza y de responsabilidad en el logro de una organización que garantice la equidad, la calidad de vida y la supervivencia humana (Giannuzzo, et al., 2004).

Se trata de una ciencia que basa sus objetivos de estudio, en los efectos sobre los seres vivos como centro de las problemáticas ambientales. En consecuencia, es una ciencia que se perfila relacionando los conocimientos y metodologías inherentes: químicos, físicos, biológicos, toxicológicos, geográficos, climatológicos, ecosistémicos, propios de las llamadas ciencias exactas, físicas, naturales y de la tierra (Giannuzzo, AN. 2010).

Tales conocimientos son articulados, a su vez, a conocimientos y metodologías de las ciencias sociales y humanas, con el fin de gestionar tales problemáticas y

en consecuencia de planificar, incluyendo las injerencias y derivaciones políticas, económicas y éticas, es decir, con el fin de prevenirlas, minimizarlas, remediarlas, normalizarlas. De este modo, el dominio de la ciencia ambiental es la intersección de las ciencias naturales, las sociales y las humanas, para el estudio, tratamiento, gestión y planificación de los problemas ambientales (Giannuzzo, AN. 2010).

Según Aguilera et al., (2011) estas ciencias se apoyan en su interacción con otras disciplinas, para entender de manera interdisciplinaria un problema de interés común; estas disciplinas pueden dividirse en las siguientes ramas:

- **Biología:** tiene como objeto de estudio a los seres vivos y, más específicamente, su origen, su evolución, sus propiedades: Génesis, nutrición, morfogénesis, reproducción, patogenicidad, etc.
- **Química:** Ciencia que estudia la composición, estructura y propiedades de la materia, como los cambios que esta experimenta durante las reacciones químicas y su relación con la energía
- **Geología:** es la ciencia y el estudio de la materia física y energía que constituyen la tierra.
- **Ciencias atmosféricas:** Es un término genérico para las ciencias que estudian la atmósfera, sus procesos, los efectos que otros sistemas tienen sobre la atmósfera y los efectos de la atmósfera en estos sistemas.

El que hacer de las Ciencias Ambientales puede definirse como la búsqueda de conocimiento nuevo, de conceptualizaciones y explicaciones en el ámbito del ambiente humano y de proposición de soluciones concretas. Lo más característico de su accionar es la relación directa con la calidad de vida humana apoyada en la sustentabilidad del funcionamiento, a corto y largo plazo, de su base biofísica sobre el planeta (Fuenzalida et al., 1993).

La definición de Ciencias Ambientales es estrictamente operacional: son ciencias que contribuyen al desarrollo económico (o bienestar humano) sobre una base ecológicamente sustentable. Las ciencias y profesiones que contribuyen a esta meta son múltiples y las Ciencias Ambientales constituyen la confluencia de distintos acercamientos disciplinarios al estudio y solución de problemas relacionados con la interacción hombre-ambiente. De hecho, el mayor desafío para las Ciencias Ambientales está en la materialización de un enfoque interdisciplinario (JAKSIC, FM. 1997).

De acuerdo a la definición propuesta, cualquier interacción hombre-ambiente es objeto de estudio para las Ciencias Ambientales. Sin embargo, situándose en el contexto nacional, es posible identificar los problemas ambientales que con mayor urgencia requieren ser enfrentados (JAKSIC, F M. 1997).

Ambiente

“El conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos y de factores sociales, capaces de causar efectos directos o indirectos, a corto o largo plazo, sobre los seres vivos y las actividades humanas” (I Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente Humano, realizada en Estocolmo, en 1972).

Esos elementos, además de ser heterogéneos entre sí, expresan funciones en relación a la conformación del conjunto. Así, las funciones que expresa cada elemento dentro del conjunto, como las que expresa el conjunto, son dependientes entre sí (García, R. 1994).

Dada las dependencias establecidas, es esperable que una alteración producida en el conjunto de elementos, en los elementos, en las relaciones, o en un fragmento de la estructura del gran sistema ambiental, se propague a través de la red de relaciones, provocando a su vez alteraciones que estructuren nuevas organizaciones, distintas respecto de las primeras. La graduación de los cambios producidos puede depender del grado de alteración, del tipo de alteración, del momento de ocurrencia, de propiedades como la resiliencia y la dinámica evolutiva y, como ya se expresó, de la localización de la alteración. Por otra parte, la o las causas de la alteración, pueden ser anticipadas, pueden ignorarse por completo o pueden conocerse sólo algunas. El ambiente presenta en forma continua problemas imprevisibles, pero generalmente explicables a posteriori (Mayer, 1998).

La complejidad del ambiente es a la vez una complejidad cambiante y dinámica, cuyo estudio requiere la articulación de “macro” y “micro” escalas espaciales y temporales, cuya valoración, además, varía en las distintas disciplinas (Reboratti, 2001).

2.5. Hipótesis

La concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, supera a los estándares de calidad del agua - categoría 3, Cajamarca - 2016.

2.5.1. Operacionalización de las variables

Tabla N°01: Operacionalización de variables

Hipótesis	Variable	Indicadores	Fuente o instrumentos de recolección de datos
<p>La concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, supera a los estándares de calidad del agua - categoría 3, Cajamarca - 2016</p>	<p>Concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque.</p>	<p>Metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en mg/L.</p> <hr/> <p>Categoría 3 ECAs D.S. N°015-2015-MINAM R.J. 010-2016-ANA LMP</p>	<p>Muestreo Procesamiento Informes de ensayo del laboratorio</p>

CAPÍTULO III

3. Metodología o Estrategias Metodológicas

El enfoque del estudio realizado es el cuantitativo ya que se llevó a cabo la recolección de información y datos (los cuales se fundamentan en mediciones realizadas), se analizaron los resultados en base a métodos estadísticos.

A continuación se presenta un esquema del proceso de investigación que se desarrolló:



Fuente: Cortes, M. (2014).

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación realizado es el descriptivo: con la finalidad de cuantificar la frecuencia del problema, con qué magnitud se presenta la situación problemática que queremos estudiar, en este caso el nivel de concentración de metales pesados en el agua.

3.2. Método de investigación

El método de investigación utilizado es el método cuantitativo.

El cual nos permite examinar datos de manera numérica, cuya naturaleza descriptiva permite demostrar hipótesis, explicar teorías por medio de resultados estadísticos

3.3. Área de investigación

Localización del área de estudio

Figura N°07: Cuenca baja del río Jequetepeque y sus 6 estaciones de muestreo.



Fuente: Google Earth.

Figura N°08: Cuenca del río Jequetepeque: Mapa de los puntos de muestreo. (M1=P1, M2=P2, M3=P3, M4=P4, M5=P5, M6= P6).

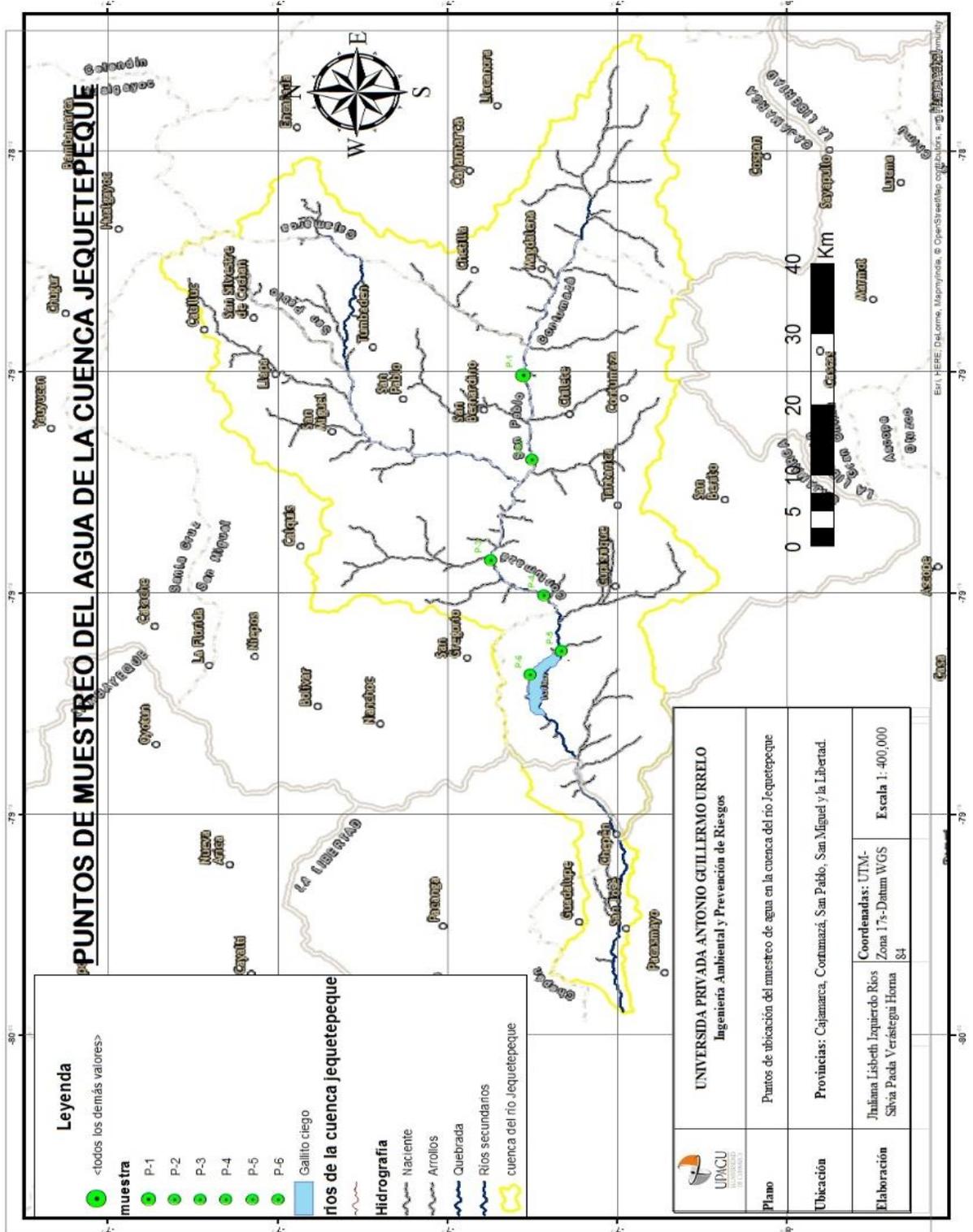


Tabla N°12: Coordenadas de los puntos muestreo

Puntos de muestreo	Coordenadas	Referencia Geográfica
P1	7°12'57,56"s	Chilete – San Pablo
	78°47'13,93"w	
P2	7°13'26,28"s	Chilete – San Pablo
	78°51'31,83"s	
P3	7°10'45,33"s	Quindén – San Miguel
	79°00'51,99"w	
P4	7°14'23,58"s	Tembladera – Contumazá
	79°03'28,04"w	
P5	7°15'33,97"s	Tembladera – Contumazá
	79°07'48,44"s	
P6	7°13'18,51"s	Tembladera – Contumazá
	79°10'04,64"s	

3.4. Universo

Agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque provincia de Cajamarca, Contumazá, San Pablo, San Miguel-Cajamarca y La Libertad.

3.5. Muestra

Un litro por cada una de las 6 estaciones de monitoreo en época de lluvia, así como en época de estiaje (12 muestras).

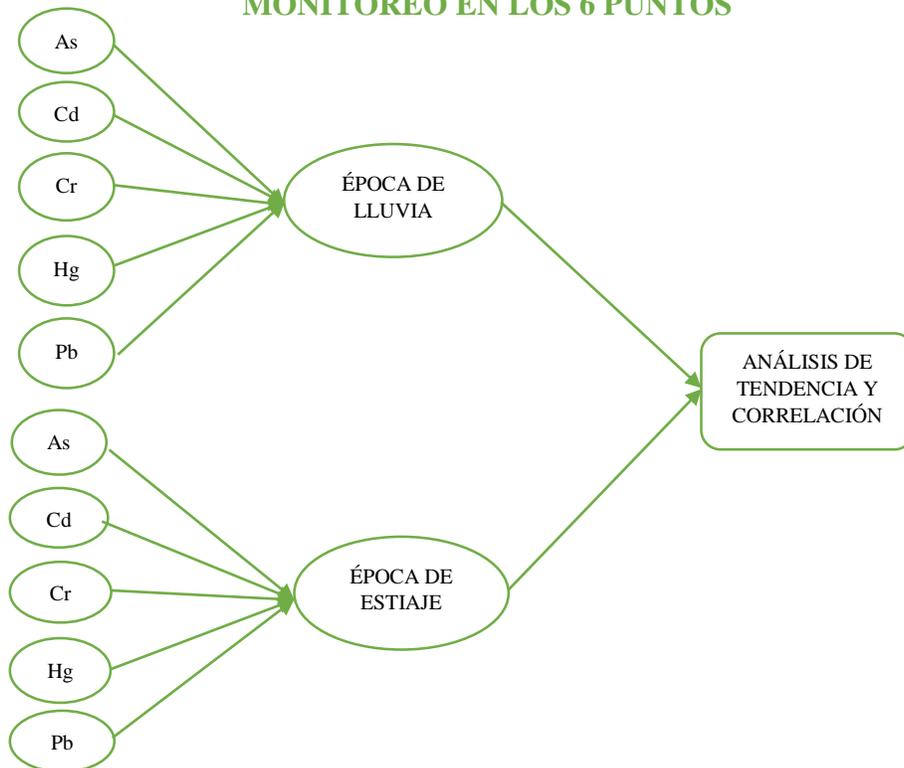
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para llevar a cabo la recolección de los datos obtenidos, se tuvo en cuenta los siguientes pasos a seguir.

- Identificar los puntos de muestreo.
- Recolectar muestras y cadena de custodia hacia el Laboratorio Regional del Agua, Cajamarca.
- Sistematizar los datos obtenidos por el Laboratorio Regional del Agua, Cajamarca.
- Comparar los resultados obtenidos del análisis de laboratorio con los ECA – categoría 3 establecido en el D.S. N°015 – 2015-MINAM.

Esquema del diseño analítico

MONITOREO EN LOS 6 PUNTOS



3.6.1. Instrumentos

Formatos

- Cadena custodia
- Fichas de laboratorio
- Libretas de campo

Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección

Para la ejecución del monitoreo de manera efectiva, se preparó con anticipación los materiales de trabajo (equipos de muestreo operativos debidamente calibrados).

Equipos

- GPS

Materiales

- Frascos esterilizados
- Goteros
- Guantes descartables

Indumentarias de protección

- Botas de jebe
- Gorra

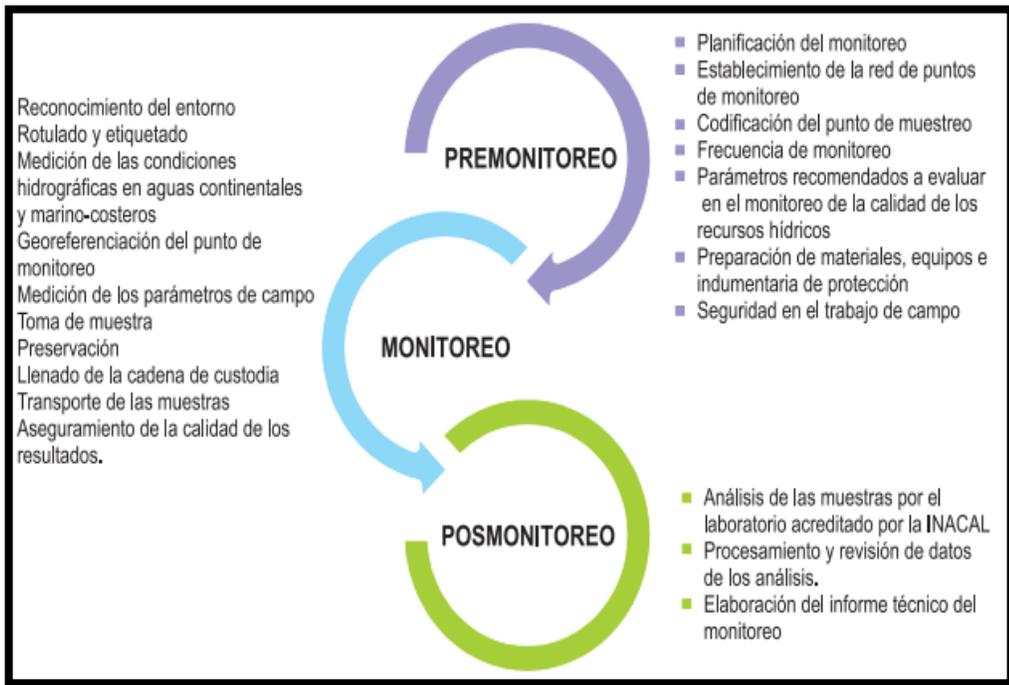
3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Procesamiento de datos

Planificación del monitoreo

La identificación del monitoreo se realizó en gabinete con la finalidad de diseñar el trabajo de monitoreo, incluyendo el establecimiento del ámbito de evaluación (cuenca), ubicación de las zonas de muestreo, puntos de monitoreo mediante el empleo de herramientas informáticas (Google Earth, Arcgis).

Figura N°09: Pasos para la realización del monitoreo.



Fuente: Resolución Jefatural N°010-2016- ANA. (2016).

3.7.2. Técnicas de análisis de datos

Una vez recogidos los datos necesarios, estos fueron consistenciados en forma manual, luego codificados y almacenados en las hojas de cálculo del programa Microsoft Excel.

El proceso de datos se culminó con el resumen e indicadores y la presentación en tablas simples y gráficos lineales, que permitieron analizar la variación y comparación de dichas variaciones para cada uno de los metales en estudio (As, Cd, Cr, Hg y Pb).

Análisis

El análisis descriptivo está basado en la observación de los indicadores y gráficos para determinar los objetivos propuestos. Luego se realizó el análisis de correlación para verificar la hipótesis formulada.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, en relación a los estándares de calidad del agua - categoría 3, Cajamarca-2016, a continuación se dan a conocer los resultados obtenidos, para lo cual se explicará cada uno de los instrumentos utilizados y procedimientos realizados para su mejor entendimiento.

Para la medición de cada uno de los parámetros se tuvo en cuenta el LCM (Límite de cuantificación del método). <LCM, significa que la concentración del analito es menor al del laboratorio establecido.

Tabla N°13. ECAS para agua categoría 3 – D.S. N°015-2015-MINAM.

Parámetros inorgánicos	Unidad	D1: Parámetros para riego de cultivos tallo alto y tallo bajo	D2: Parámetros para bebidas de animales
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cromo	mg/L	0,1	1
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05

FUENTE: MINAM (2015).

D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo.

D2: Bebida de animales.

Para fines de análisis tomaremos cada uno de los metales pesados por separado y estudiaremos el comportamiento de los niveles de concentración según el punto de muestreo. Luego analizaremos los niveles de concentración de un mismo punto de muestreo para cada uno de los metales pesados investigados y por último analizaremos en qué época ya sea de lluvia o estiaje, se presentó mayor concentración de dichos metales.

Al comparar las concentraciones totales de los metales pesados determinadas en la cuenca baja del Río Jequetepeque con los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM. Para aguas categoría 3, el cual se divide en dos subcategorías: D1 (Vegetales de Tallo Bajo y Alto) y D2 (Bebida de Animales), se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se muestran en tablas con sus respectivos gráficos.

La detección de la presencia o no de los metales pesados estudiados, es debido al Límite de Cuantificación del Método (LCM) utilizado por el Laboratorio Regional del agua, Cajamarca. Si la concentración de los metales pesados estudiados es menor al LCM, se considera que no hay presencia de los mismos, debido a que no se determina una concentración exacta.

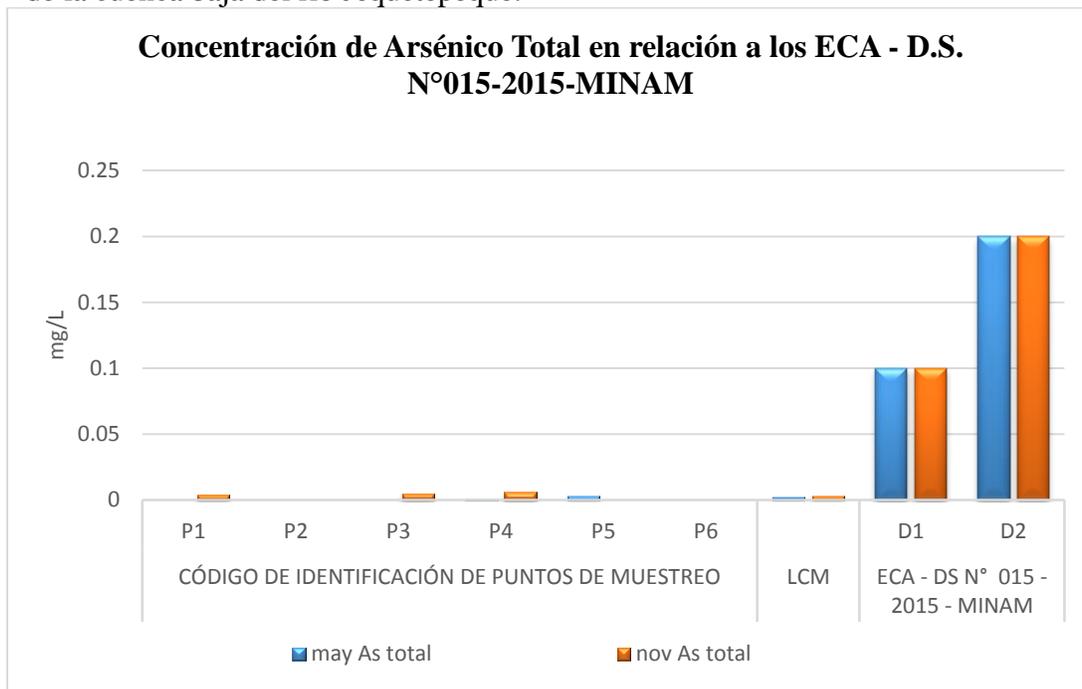
Tabla N°14. Resultados de la Concentración de Arsénico en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO TOTAL EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE - EN RELACIÓN A LOS ECA D.S. N°015 -2015-MINAM											
		Unidad	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO						LCM	ECA – D.S. N°015 – 2015-MINAM	
			P1	P2	P3	P4	P5	P6		D1	D2
May	As total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,001	0,003	<0,002	0,002	0,1	0,2
Nov	As total	mg/L	0,004	<0,003	0,005	0,006	<0,003	<0,003	0,003	0,1	0,2

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Las concentraciones de As, obtenidas en la cuenca baja del río Jequetepeque, como se muestra en la tabla N°14 y el gráfico N°05 en relación a los diferentes puntos de muestreo, muestran valores menores a los de los estándares establecidos por el D.S. N°015-2015-MINAM, por lo tanto dichas aguas superficiales no se consideran aguas contaminadas por este metal.

Gráfico N°05. Resultados de la Concentración de Arsénico en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.



Fuente: Tabla N°14.

De acuerdo a los valores obtenidos de la concentración de As en la cuenca baja del río Jequetepeque, no se hallaron concentraciones que superan los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM, para aguas categoría 3. D1 (Riego de cultivos de tallo alto y bajo): 0,1mg/L y D2 (Bebida de animales): 0,2mg/L.

Con respecto al mes de mayo se detectó presencia de As, en los puntos de muestreo P4: 0,001mg/L y P5: 0,003mg/L, y en el mes de noviembre se detectó

presencia de este metal en los puntos de muestreo P1: 0,004mg/L, P3: 0,005mg/L y P4: 0,006mg/L.

En los puntos en los que no se presenta ningún valor de la concentración de este metal, se consideran que los valores son menores al LCM del laboratorio establecido. De modo que los valores obtenidos con respecto al As, no presentan impactos ambientales negativos.

Según lo descrito anteriormente, la baja concentración de As en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Jequetepeque se debe a que no es un río contaminado, lo que condice con Cruz (2012) quién menciona que un río no contaminado tiene sus niveles de concentración de As bastante bajos, los cuales pueden variar dependiendo de factores como recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales.

Mientras que en otro estudio realizado por Ahuja, S. (2008) citado por Trelles, JA. (2013), afirma que: La liberación de As del suelo puede verse afectada por la humedad (básicamente lluvias), pH, temperatura, solubilidad, características redox de las especies de As presentes y su reactividad con el CO₂ y H₂O. WHO (2011), Ahuja, S. (2008) citado por Trelles, JA. (2013) mencionan que: el As

llega a las cuencas y fuentes de aguas naturales a través de la disolución de las rocas y depósitos naturales en el suelo, minerales de hierro provenientes de efluentes industriales (incluyendo desagües industriales) y por deposición atmosférica. Lo cual explica las diferentes concentraciones obtenidas en las diferentes épocas (lluvia y estiaje).

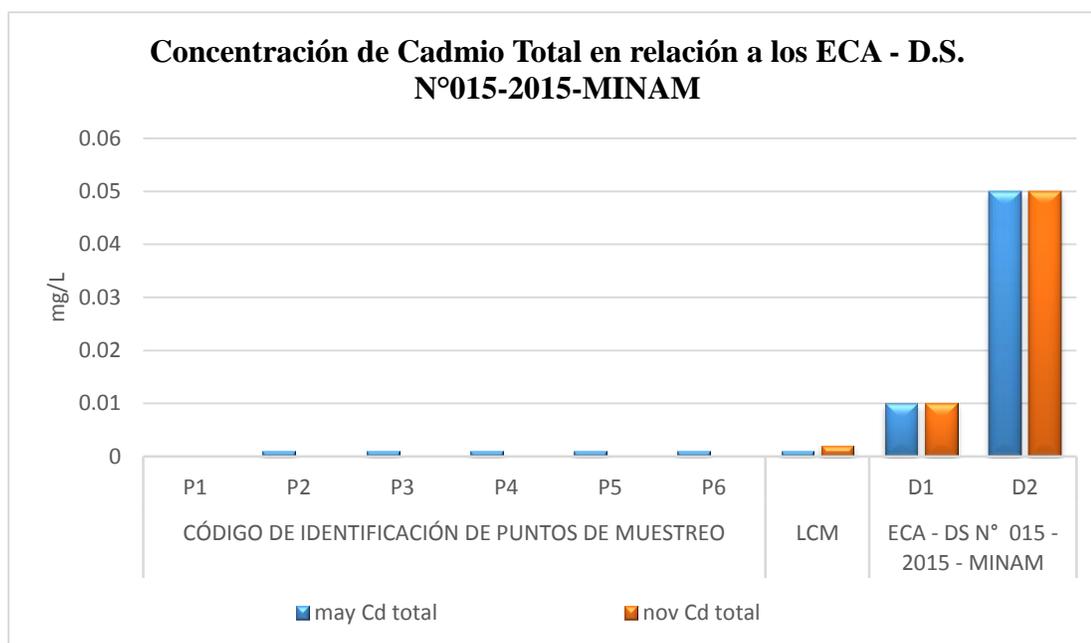
Tabla N°15. Resultados de la Concentración de Cadmio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

CONCENTRACIÓN DE CADMIO TOTAL EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE - EN RELACIÓN A LOS ECA D.S. N°015 -2015 – MINAM											
		Unidad	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO						LCM	ECA – D.S. N°015 - 2015–MINAM	
			P1	P2	P3	P4	P5	P6		D1	D2
May	Cd total	mg/L	<0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,05
Nov	Cd total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,01	0,05

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Las concentraciones de Cd obtenidas en la cuenca baja del río Jequetepeque, como se muestra en la tabla N°15 y el gráfico N°06 en relación a los diferentes puntos de muestreo, al igual que el As muestran valores menores a los de los estándares establecidos por el D.S. N°015-2015-MINAM, por lo tanto dichas aguas superficiales no se consideran aguas contaminadas por este metal.

Gráfico N°06. Resultados de la Concentración de Cadmio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.



Fuente: Tabla N°15.

De acuerdo a los valores obtenidos de la concentración de Cd en la cuenca baja del río Jequetepeque, no se hallaron concentraciones que superan los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM, para aguas categoría 3. D1 (Riego de cultivos de tallo alto y bajo): 0,01mg/L y D2 (Bebida de animales): 0,05mg/L.

Las concentraciones de Cd en la cuenca baja del río Jequetepeque, durante el mes de mayo es bajo en los puntos de muestreo: P2, P3, P4, P5 Y P6, con un valor de 0,001mg/L respectivamente, mientras que durante el mes de noviembre no se obtuvieron resultados de la presencia de Cd en ninguno de los puntos de

muestreo, lo que indicaría que los niveles de este metal pesado fueron menores al LMC en este caso a 0,002 mg/L.

Los valores de concentración de Cd en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Jequetepeque son bajos, para lo cual se puede afirmar que esta baja concentración de Cd, condice con Villanueva y Botello (1992) citado por Marrugo (2011) citado por Andrade y Ponce (2016), quienes mencionan que se puede deber al lavado de los suelos agrícolas y a las descargas de la minería y la industria, desechos municipales y los lodos de las plantas de tratamiento.

Así mismo estos valores pueden estar relacionados con el pH lo cual condice con Vílchez (2005) citado por Andrade y Ponce (2016) quienes mencionan que este metal puede alcanzar acuíferos por infiltración de estos compuestos, dependiendo en muchos casos de factores como el pH del medio o del propio vertido, como también pueden alcanzar zonas húmedas o lagunas por escorrentía o incluso por la alimentación desde acuíferos o ríos.

Basta (2005); Silviera (2003); citados por Sánchez y Rivero, (2013). Quien menciona que los procesos de intercambio iónico, adsorción-desorción, precipitación, disolución y formación de complejos; afectan la biodisponibilidad de los diferentes metales pesados.

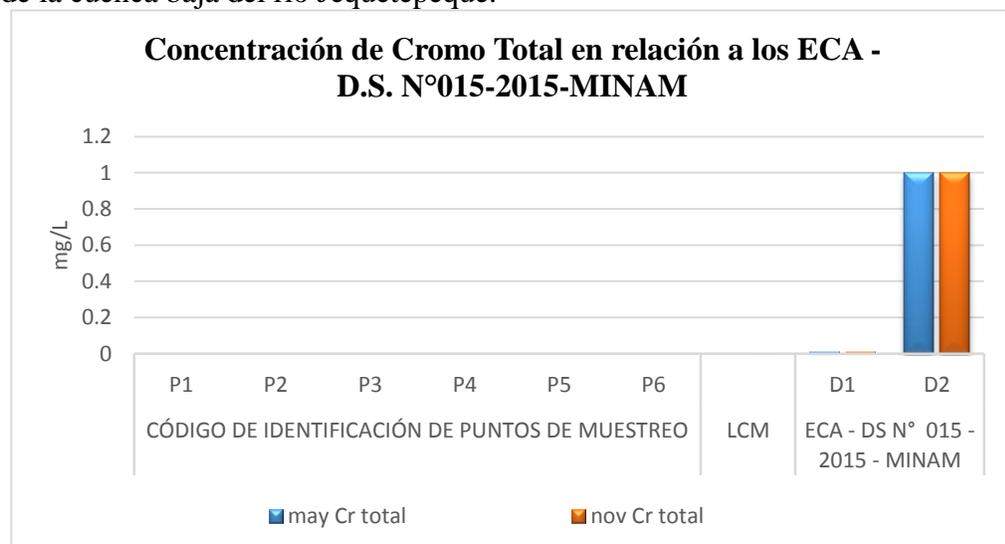
Tabla N°16. Resultados de la Concentración de Cromo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

CONCENTRACIÓN DE CROMO TOTAL EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE - EN RELACIÓN A LOS ECA D.S. N°015 -2015-MINAM											
	Unidad	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO						LCM	ECA - D.S. N°015 - 2015 – MINAM		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6		D1	D2	
May	Cr total	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,01	1
Nov	Cr total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,01	1

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Las concentraciones de Cr obtenidas en la cuenca baja del río Jequetepeque, como se muestra en la tabla N°16 y el gráfico N°07 en relación a los diferentes puntos de muestreo, no muestran valores que indiquen la presencia de dicho metal, por lo tanto dichas aguas superficiales no se consideran aguas contaminadas por este metal.

Gráfico N°07. Resultados de la Concentración de Cromo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.



Fuente: Tabla N°16.

De acuerdo a los valores detallados en el gráfico N°07, estos no exceden los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM categoría 3. D1 (Riego de cultivos de tallo alto y bajo): 0,01mg/L y D2 (Bebida de animales): 1mg/L, así mismo, en ambos casos, tanto en el mes de mayo como en el mes noviembre, los resultados obtenidos son menores al LMC (Límite de cuantificación del método), en este caso de 0,001mg/L y 0,002mg/L respectivamente. De modo que los valores obtenidos con respecto al Cr, no representan impactos ambientales negativos.

Según lo antes indicado no se encontraron concentraciones de Cr en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Jequetepeque, debido a que este metal precipita rápidamente lo cual condice con Lenntech (2008) quien menciona que el Cr en forma trivalente no migra de manera significativa sino que precipita y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo. Así mismo Benejam y Pujol (2000) mencionan que: si las concentraciones de Cr en el agua es baja, se debe a la distribución del metal y su capacidad de bioacumulación.

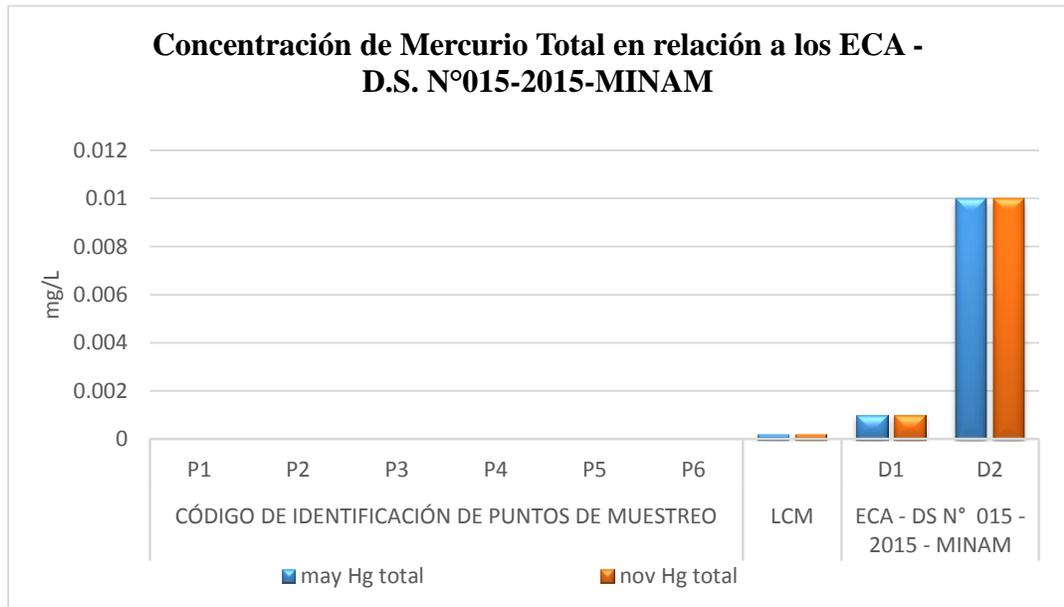
Tabla N°17. Resultados de la Concentración de Mercurio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

CONCENTRACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE - EN RELACIÓN A LOS ECA D.S. N°015 -2015-MINAM											
	Unidad	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	LCM	ECA – D.S. N°015 - 2015 – MINAM	
										D1	D2
May	Hg total mg/L		<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	0,001	0,01
Nov	Hg total mg/L		<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	0,001	0,01

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Las concentraciones de Hg en la cuenca baja del río Jequetepeque durante los periodos de monitoreo (mayo y noviembre del 2016) se detallan en la tabla N°17, y se representan en el gráfico N°08, para facilitar su comprensión.

Gráfico N°08. Resultados de la Concentración de Mercurio en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.



Fuente: Tabla N°17.

Al igual que en el caso de Cr, de acuerdo a los valores detallados en el gráfico N°08, no se encontraron valores de la concentración de Hg en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque en ambos casos, tanto en el mes de mayo como en el mes noviembre, resultados que son considerados menores al LMC (Límite de cuantificación del método), en este caso de 0,0002 mg/L. De modo que los valores obtenidos con respecto al Hg, no presentan impactos ambientales negativos.

Según lo antes indicado las concentraciones de Hg es baja en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Jequetepeque, a diferencia de otra investigación realizada por Sotero y Alva (2013) quienes en su estudio mencionan que: En el río Nanay, el Hg se encuentra presente en concentraciones mayores que lo indicado por las normas nacionales, con un valor de 0,008 mg/L. Así mismo por Robertson (1988) quien afirma que en los ríos y lagos contaminados con este metal, se han registrado niveles de hasta 0,03mg/L.

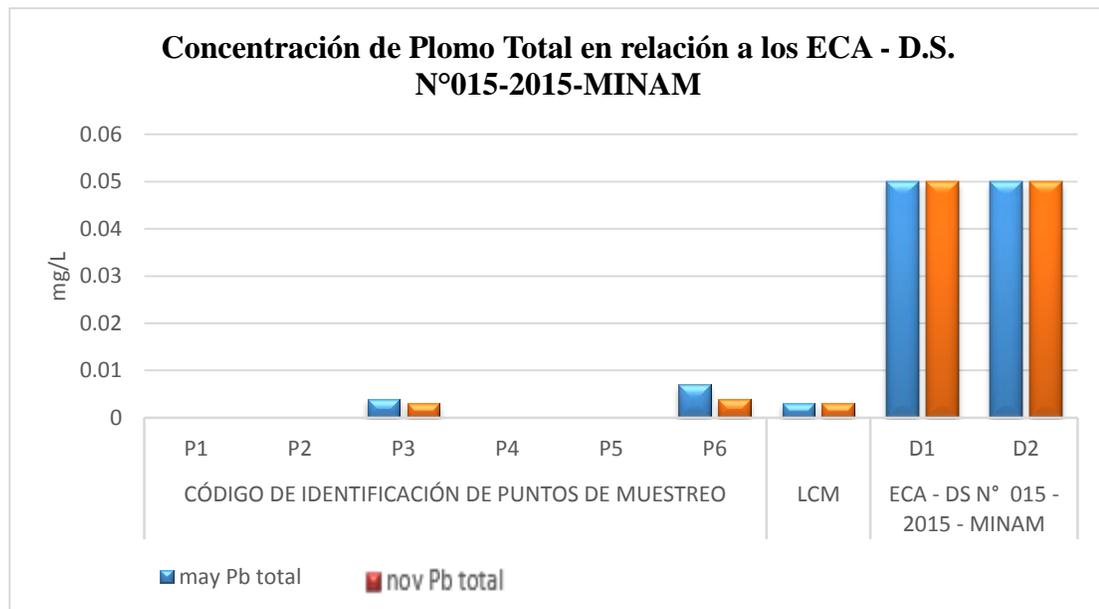
Tabla N°18. Resultados de la Concentración de Plomo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.

CONCENTRACIÓN DE PLOMO TOTAL EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JEQUETEPEQUE - EN RELACIÓN A LOS ECA D.S. N°015 -2015-MINAM											
		Unidad	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO						LCM	ECA – D.S. N°015-2015-MINAM	
			P1	P2	P3	P4	P5	P6		D1	D2
May	Pb total	mg/L	<0,003	<0,003	0,004	<0,003	<0,003	0,007	0,003	0,05	0,05
Nov	Pb total	mg/L	<0,003	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	0,004	0,003	0,05	0,05

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Las concentraciones de Pb obtenidas en la cuenca baja del río Jequetepeque, como se muestra en la tabla N°18 y el gráfico N°09 en relación a los diferentes puntos de muestreo, se muestran valores menores a los de los estándares de calidad del agua establecidos por el D.S. N°015-2015-MINAM, por lo tanto dichas aguas superficiales no se consideran aguas contaminadas por este metal.

Gráfico N°09. Resultados de la Concentración de Plomo en el agua superficial de la cuenca baja del río Jequetepeque.



Fuente: Tabla N°18.

De acuerdo a los valores obtenidos de la concentración de Pb en la cuenca baja del río Jequetepeque, no se encontraron concentraciones que superan los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM, para aguas categoría 3. D1 (Riego de cultivos de tallo alto y bajo): 0,05mg/L y D2 (Bebida de animales): 0,05mg/L.

La concentración de Pb en el mes de mayo en los puntos P3 y P6 se obtuvieron concentraciones de 0,004mg/L y 0,007mg/L respectivamente, mientras que en los puntos P1, P2, P4 y P5 los valores fueron menores al LMC: 0,003 mg/L.

Con respecto al mes de noviembre, hubo presencia de Pb en bajas concentraciones tanto en el punto P3 como en el punto P6, con concentraciones de 0,003mg/L y 0,004mg/L respectivamente, mientras que en los puntos P1, P2, P4 y P5, no se encontró presencia de metales pesados, ya que los valores son menores al LMC: 0,003 mg/L.

Según lo antes indicado anteriormente, en el mes de mayo se presentó en mayor concentración de Pb en los puntos de muestreo (P3: 0,004mg/L y P6: 0,007mg/L) que el mes de noviembre (P3: 0,003mg/L y P6: 0,004mg/L), resultados que pueden estar asociados con la presencia de lluvias en el mes de mayo, lo cual se relaciona con las afirmaciones de ATSDR (2016) quien menciona que: la presencia de Pb está relacionada con la erosión de los suelos en la cuenca, por la construcción de carreteras y caminos que desestabilizan los taludes de las laderas que son cortadas, y que en épocas de lluvias son erosionadas por no contar con ningún tipo de protección, esto se debe a que los suelos o tierras pueden presentar pequeñas cantidades de plomo por los diferentes usos del Pb tanto en el pasado como en la actualidad, por ejemplo el Pb que cae al suelo desde el aire producto de la combustión de gasolina de los vehículos, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior del suelo, así mismo el desgaste y desprendimiento de pedazos de pintura con plomo, usada en diferentes estructuras, en el caso de nuestra investigación, pinturas usadas para la

señalización de carreteras cuyos compuestos pueden tener componentes de plomo, los cuales pueden ser arrastrados a las fuentes de agua en épocas de lluvia.

Ubillus (2003) afirma que el agua en áreas no contaminadas, presenta concentraciones bajas de Pb (0,001mg/L) en aguas superficiales, y alrededor de 0,008mg/L en los ríos, lo cual indica que las áreas en las que se tomaron las muestras para la realización de la presente investigación no están contaminadas, ya que los valores obtenidos son menores a 0,008mg/L.

De acuerdo a los valores obtenidos, la concentración de Pb es baja en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Jequetepeque, a diferencia de otras investigaciones realizadas, en donde autores como Alcívar y Mosquera (2011) afirman que: En el Estero Salado de Guayaquil-Ecuador, se determinó la concentración de Pb, en las matrices de agua superficial reportando valores de: 0,01mg/L, reflejando la problemática ambiental existente en este ecosistema debido principalmente a las actividades industriales.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En cuanto a los resultados y en relación con los estándares establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM para agua categoría 3, se concluye que: Los valores obtenidos de la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) de la cuenca baja del río Jequetepeque, se encuentran por debajo de los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM para agua categoría 3.
- Los resultados obtenidos en cada uno de los metales pesados en los diferentes puntos de muestreo son: Para As se encontró en el P5: 0,003 mg/L durante el mes de mayo, y en los puntos P1: 0,004 mg/L, P3: 0,005 mg/L y P4: 0,006 mg/L durante el mes de noviembre. Para Cd el P2, P3, P4, P5 y P6 hubo una misma concentración de 0,001mg/L en el mes de mayo. Para Pb en los puntos de muestreo P3: 0,004mg/L y P6: 0,007mg/L durante el mes de mayo, mientras que durante el mes de noviembre en los puntos P3: 0,003mg/L y P6: 0,004mg/L.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Jequetepeque solo fue

detectada la existencia de algunos metales los pesados: As, Cd y Pb, mientras que en ninguno de los puntos muestreados se halló la presencia de los metales pesados: Cr y Hg.

- De acuerdo los resultados obtenidos se concluye que los puntos de muestreo con más concentración de metales pesados en las diferentes épocas fueron: Para As, el punto con mayor concentración fue en el punto de muestreo P4:0,006mg/L en época de estiaje. Para Cd, los puntos de muestreo P2, P3, P4, P5 y P6, se obtuvo una misma concentración de 0,001mg/L en época de lluvia. En el caso de Pb, el punto con mayor concentración fue el P6:0,007mg/L en época de lluvia.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a las diferentes facultades de ingeniería de las universidades del Perú, plantear líneas de investigación y continuar con la realización de investigaciones similares.
- Se recomienda a las autoridades del Gobierno Regional y Municipal a través de la Gerencia de RENAMA y Desarrollo Ambiental realizar un monitoreo periódico en las cuencas para evaluar la concentración de los metales pesados, tanto en época de estiaje como de lluvias.

- A las autoridades del Gobierno Regional y Municipal a través de la Gerencia de RENAMA y Desarrollo Ambiental, realizar monitoreos participativos de la calidad del agua de todas las cuencas.

6. REFERENCIAS

- Abollino, O.; Aceto, M.; Malandrino, M.; Mentaste, E.; Sarzanini, C. y Barberis, R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119: 177.
- Aguilar, L. (2006). Contaminación Ambiental. Consultado en la página web: <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com>
- Aguilera, C.; Miguel, J.; Ortuño, T.; Andreina, M. Velazco K.; Rosales, B., (2011). Ciencias del Ambiente. Universidad Nacional experimental de Táchira. EEUU. 20011. Encontrado en: <http://es.slideshare.net/Estudiourb/ciencias-ambientales-8756502>
- Ahuja, S. (2008) Arsenic Contamination in Groundwater: Mechanism, analysis and remediation. John Wiley and Sons. Inc. West Sussex, United Kingdom citado por Trelles, JA. (2013). “Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes”.
- Alcivar, M. y Mosquera. J. (2011). Concentración de metales pesados (Cr total, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el estero salado (Guayaquil), Agosto a octubre del 2011.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/618#sthash.HY8WOaJ3.dpuf>
- Álvares de los Santos, R. (2009). Contaminación por metales pesados de la presa Francisco Zarco en el Estado de Durango. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

- ANA (Autoridad Nacional del Agua) 2012. Política y estrategia nacional de recursos hídricos. Perú. Disponible en:
http://www.ana.gob.pe/media/527865/política%20y%20estrategia%20nacional_.pdf
- ANA (Autoridad Nacional del Agua) (2015). Estudio de Evaluación de Recursos Hídricos de la Cuenca del río Jequetepeque. componente II: Aguas subterráneas. Lima.
- Andrade Chunga, EM. y Ponce García, WD., (2016). Determinación de los niveles de metales pesados en la microcuenca del río Carrizal del Cantón Bolívar, provincia de Manabí. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.<http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/283>
- Angelova V. Ivanova, R. Delibaltova, V. and Ivanov, K. (2004). Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, 19: 197–205.
- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) 2016. Resúmenes de Salud Pública - Plomo (en línea). Disponible en https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html
- Banco de la República, (2015). Banco de la República Actividad Cultural. Obtenido de Banco de la República Actividad Cultural: Consultado en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/calidad ambiental>

- Barrantes, E. (2016). La realidad del agua en la cuenca del Jequetepeque y del Perú. Encontrado en: <http://www.grufides.org/blog/edilberto-barrantes-la-realidad-del-agua-en-la-cuenca-del-jequetepeque>
- Barrios, C.; Torres, R.; Lampoglia, T. & Agüero R. 2009. Guía de orientación en Saneamiento Básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades: Sistemas de Agua y Saneamiento Rural.
- Baudran, Y. (2005). Metales Pesados, Ambiente y Salud. Perú. Encontrado en: <http://www.sertox.com.ar/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=295>
- Benejam, MF. & Pujol, RO. “Reducción de la contaminación en la curtición al Cromo”, Revista Ingeniería Química, no. 365, pp. 172-181, 2000. Citado por Chávez, A. (2010). Descripción De La Nocividad Del Cromo Proveniente De La Industria Curtiembre Y De Las Posibles Formas De Removerlo.
- Bermúdez, M. (2010). Contaminación y Turismo Sostenible. CET S.A. Consultado en: <http://galeon.com/ecoturismocr/contaminacion.pdf>
- Brañes, R. (1991). Manual de derecho ambiental mexicano. México. Fundación mexicana para la educación ambiental: fondo de cultura Económica.
- Brooks (2002). Water: Locallevel Management. Ottawa, International Development Research Centre (IDRC). Citado por Umbría et al., (2009). inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Impacto%20del%20cambio%20de%20uso%20de%20suelo%20forestal%20a%20huertos%20de%20aguacate.pdf

- Burga, M. Miranda T. Rivasplata, M. Silva C. Tapia, M. (1995). Cuenca del Jequetepeque Diagnóstico Preliminar. 1ra ed. Chepén: CESDER
- Campos, N. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa María, Caribe Colombiano, Caldasia 16: 231 - 144 pp.
- Casiello, F. 2015. La cuestión del agua en el contexto de Laudato si. Argentina. Disponible en: <http://www.infobae.com/2015/11/18/1770561-la-cuestion-del-agua-el-contexto-laudato-si/>
- Castañé, M. Topolián, L. Cordero R. Salibián, A. (2003). Influencia de la especiación de los metales pesados en el medio acuático como determinante de su toxicidad. Rev Toxicol, 20:13-8.
- Castañeda Ceja, R. 2015. Los metales pesados y sus efectos ambientales. México. Disponible en: <https://es.slideshare.net/raulcc1950/los-metales-pesados-y-sus-efectos-ambientales>
- Castillo (2001). “Contaminación por Metales Pesados en Agua, Sedimento y Biota del Lago Junín, Enero a Diciembre del 2000”.
- CEDEPAS (Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social), 2009. Cuenca río Jequetepeque. (en línea, video). Cajamarca, Perú. 7 min. 38 seg. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=v57dwkb4fl8>
- CEPAL/ CLADES. 1981. Tesouro de medio ambiente para América Latina y el Caribe. Santiago, Disponible en https://prezi.com/zod_m3cfphv-/gestion-ambiental/
- Cevilla, JC. sf. Plan Nacional de Recursos Hídricos-Memoria final: Calidad del agua. S.I. Disponible en:

http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/b_memoria_final_arte_3_0_0.pdf

- Chaparro Ávilalos, E. 2009. Procesos mineros y su vinculación con el uso del agua. Curso: Políticas para el uso sostenible del agua y prestación eficiente de servicios públicos vinculados a ella. CEPAL. Santiago de Chile. Disponible en http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Eduardo_Chaparro_agua_y_mineria.pdf
- Chávez Quijada, M. (2015). Los pasivos ambientales mineros: diagnóstico y propuestas. Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible (GRUFIDES). Jesús María. Disponible en: <file:///C:/Users/NetGeo/Downloads/pasivosambientales2015.pdf>
- Chunga Castro, F. 2006. Cuenca social del Jequetepeque: espacios socio territoriales – administrativos en la gestión del agua. Lima Perú.
- Cobeñas JC. c2015 Estudio hidrológico de la cuenca del rio Jequetepeque. Encontrado en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_f31XcBVMigJ:es.slideshare.net/RENATOING/estudio-cuencariojequetepeque+&cd=10&hl=es&ct=clnk&gl=pe
- Cornelis, R. Nordberg, M. (2007). General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation. Handbook on the toxicology of metals. pp 29-35
- Cortes, M. 2014. Los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación. Encontrado en <https://es.slideshare.net/MarcoCortes/los-enfoques-cuantitativo-y-cualitativo-en-la-investigacin>

- Cousillas, A. sf. Informe Toxicológico: Contaminación del agua. Disponible en http://cedoc.infod.edu.ar/upload/Informe_Toxicologico_agua_adriana_cousillas.pdf
- Coyla, U. sf. Mercurio contaminante ambiental. Diapositiva.
- Cruz, AM. (2012). “Contaminación por metales pesados de cuerpos de agua cercanos al río Nazas en la región de Nazas Durango”.
- Díaz Arredondo, MA. (1998). Distribución de plaguicidas organoclorados y anélidos poliquetos en los sedimentos superficiales de la Bahía de Santa María, Sinaloa, México. Tesis de maestría. CICESE. Ensenada, B.C. 185 p. citado por García Gutiérrez, C. y Rodríguez Meza, GD. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Dirección Regional de la Producción de Cajamarca. (2001 - 2003). Evaluación Preliminar de Metales Pesados en Peces de la Región Cajamarca.
- Doménech X. (1995). Química de la hidrósfera. Origen y destino de los contaminantes. Miraguano Ediciones, Madrid.
- Dourojeanni, A. Jouravlev, A. y Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. “Recursos Naturales e Infraestructura”. No. 47. Santiago de Chile: CEPAL y Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.eclac.org/drni/publicaciones/xml/5/11195/lc11777-P-E.pdf>
- Eling, Herbert H. (1987). The Role of Irrigation Networks in Emerging Societal Complexity During Late Prehispanic Times, Jequetepeque Valley, North Coast,

Peru. Ph.D.dissertation. Departament of Anthropology, University of Texas, Austin.

- Fano Malnati, L. 2006. La contaminación de las aguas en el Perú: Rol del ministerio de salud en su control. Lima, Perú. Encontrado en : <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=156069&indexSearch=ID>
- FCEA (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental), fs. Agua y salud: Contaminación del agua por metales. Disponible en <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/agua-y/agua-y-salud/1291-saneamiento-basico/3218-contaminacion-del-agua-por-metales>.
- Fernández, B. (2015). “Ecotoxicología del Arsénico: Movilización y aguas, relevancia clínica y métodos de Eliminación”.
- Fernández Muerza, A. (2001). Metales pesados: Toda una amenaza (en línea). Revista Eroski Consumer (Sección Medio Ambiente) Mzo. 2001. Fundación EROSKI. España. Disponible en: <http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php>
- Fuenzalida, H. (Coordinador), Fuentes, ER. Maldonado, P. Ormazábal, C. Sancha, AM. Trier, A. (1993). Ciencias Ambientales En Chile: Diagnóstico y proyecciones (Capitulo III).p.83-116. En: Allende, J.E. & T.Ureta(Eds) Análisis y proyecciones de la ciencia Chilena. Academia Chilena de Ciencias, Alfabeto impresores, Santiago. 330p.

- Garau Lleonart, M. (2009). Control de la calidad de aguas y sedimentos para el estudio del impacto por metales en la cuenca con actividad minera del Jequetepeque, Perú, Abril 2009.
- García, I. and Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Encontrado en <http://edafologia.ugr.es>.
- García, R. (1994). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. In: Leff, E & Brañes, R. (Org.). Ciencias sociales y formación ambiental. Barcelona: Gedisa., p. 85-125.
- Garrido, T. Costa, C. Fraile, J. Orejudo, E. Niñerota, J. Ginebreda, A. Olivilla, L. y Figueras, M. (1998). Análisis de la presencia de plaguicidas en diversos acuíferos de Cataluña. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. Valencia, España. 7 p. citado por García Gutiérrez, C. y Rodríguez Meza, GD. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Giannuzzo A.; Rodríguez, V. & Viana, M. (2004). Los conceptos de ecología y ambiente y la relación entre ecología y ciencia ambiental. Actas de la II Reunión Binacional de Ecología argentino chilena, Mendoza, Argentina.
- Giannuzzo, AN. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. Sao Paulo. P. 152. Encontrado en:
<http://www.scielo.br/pdf/ss/v8n1/a06v8n1.pdf>

- Godoy PM.; Palomino Huamán, VS.; Martínez VL. 2012. Los efectos de la lluvia ácida en la agricultura de la sierra peruana. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos93/efectos-lluvia-acida-agricultura-sierra/efectos-lluvia-acida-agricultura-sierra.shtml>
- GreenFacts (Facts on Health and the Environment), 2001. Compuestos inorgánicos de arsénico. Disponible en <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/compuestos-inorganicos-arsenico.htm>
- Guías para la calidad del agua potable., (1995). 2 Ed. Vol 1. 134 p. S,l. Encontrado en: http://docplayer.es/7795474-Estandares-de-calidad-ambiental-de-agua-grupo-no-3-riego-de-vegetales-y-bebida-de-animales.html#show_full_text
- Hirata, R. (2002). Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas. Revista Latino-Americana de Hidrogeología. São Pablo, Brasil. 2: 81-90. Citado por García Gutiérrez, C. y Rodríguez Meza, GD. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México.
- INADE (Instituto Nacional de Desarrollo) sf. Gestión de Oferta de agua en Cuencas de Proyectos Hidráulicos del INADE: Erosión en la Cuenca Media y Alta del río Jequetepeque. sl. Disponible en http://www.condesan.org/portal/sites/default/files/publicaciones/archivos/PSa nchez_INADE_1_.pdf

- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) 2015. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015. Lima, Perú. Disponible en <http://www.regionlalibertad.gob.pe/ineiestadisticas/libros/libro37/libro.pdf>
- INGETEC S.A., (2003). Informe de Auditoria y Evaluación Ambiental. V. 1.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura, Construcción y Saneamiento, (2003). Perú Actualización del Plan de Ordenamiento Ambiental para la protección del reservorio Gallito Ciego y del valle agrícola. Proyecto Especial Jequetepeque- Zaña.
- JAKSIC, F M. (1997). Ecología, ecologistas y ciencias ambientales. Revista Chilena de Historia Natural 70: 177-180, 1997. Encontrado en: http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1997/2/Editorial_1997.pdf
- Jeffrey, P y Gearey, M. (2006). “Integrated water resources management: lost on the road from ambition to realistaion?” Water Science & Technology. Vol. 53, No. 1. p. 1-8. Disponible en: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/1026?mode=simple>
- Kabata, A. y Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida. Citado por Peña Fernández, A. (2011).
- Lee, S. and Moon, HS. (2003). Heavy Metals in the Bed and Suspended Sediments of Anyang River, Korea: Implications for Water Quality. Environmental Geochemistry and Health 25:433 - 452.
- Lenntech (2008). Efectos ambientales del cromo. Citado por Chávez Porras A., (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. Universidad de Medellín.

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#Efectos%20ambientales%20del%20Cromo>.

- Ley De Recursos Hídricos. N° 29338. Atr.3, Art.99. Lima, Perú. 31 Mzo. 2009.
- Lira, J. sf. Sostenibilidad aplicada: ¿El agua es para todos? Lima, Perú. Disponible en <http://blogs.gestion.pe/sostenibilidadaplicada/2016/06/el-agua-es-para-todos.html>
- Los elementos de la tabla periódica ordenados por su densidad en g/cm³. sf. Disponible en <http://www.lenntech.es/tabla-peiodica/densidad.htm>
- Lucho, CA. Álvarez, M. Beltrán, RI. Prieto, F. and Poggi, H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. Environmental International, On Line: 0160-4120-D 2004 doi:10.1016/j.envint.2004.08.002.
- Lugo, U. (2010). Introducción a la Ciencia Ambiental: Conceptos Básicos Centro de estudios ambientales UACh. 2010. Encontrado en: <http://cienciambiental.orgfree.com/Presentations/Introduccion%20a%20la%20ciencia%20ambiental.pdf>
- Luna Encinas, JA & Barajas Pérez, G. 2009. Metales pesados y su toxicología (en línea). Escuela Politécnica de Guadalajara. Sistema de educación media superior Universidad de Guadalajara. Disponible en <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2173>

- Madrd, G. (2011). Genotoxicidad de metales pesados (Hg, Zn, Cu, Pb Y Cd) Asociado a explotaciones mineras en pobladores de la cuenca del río san Jorge del departamento de Córdoba, Colombia.
- Mapanda, F. Mangwayana, EN. Nyamangara, J. and Giller, KE. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems Environment* 107:151-165.
- Martínez, JF. 1997. Sistemas de Gestión Medioambiental. <http://www.uv.es/dmoreno/ISO14000.pdf>
- Martínez, M. (2009). *Ciencia y Arte en la Metodología Cualitativa*. Segunda edición. México: Ed. Trillas.
- Mayer, M. 1998. Educación ambiental: de la acción a la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 1, p. 217-31.
- MINSA, (2005). Contaminación con metales pesados. Consultado en http://www.minsa.gob.pe/portalweb/06prevencion/prevencion_2.asp?s ub5=3
- Ministerio de agricultura, (2005). Protocolo ANA Perú. Obtenido de Protocolo ANA Perú:
http://www.gwp.org/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf
- Molina Montoya, NP.; Aguilar Casas, P. & Cordovez Wandurraga, C., 2010. Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. Vol. 8.

Disponible en <file:///C:/Users/NetGeo/Downloads/Dialnet-PlomoCromoIIIYCromoVIYSusEfectosSobreLaSaludHumana-5599145.pdf>

- Montes Botella, C. Tenorio, MD. (2003). Water Characterization and Seasonal Heavy Metal Distribution in the Odiel River (Huelva, Spain) by Means of Principal Component Analysis. *Archives of Environmental Contamination Toxicology* 45:436.
- Morales. AF. 2013. La contaminación del agua en el Perú. Facultad de ciencias sociales-geografía. Disponible en <https://www.slideshare.net/armagedon9647/la-contaminacion-del-agua-en-el-peru>
- Morse, J. Presley, B. Taylor, R. Benoit, G & Santschi, P. (1993). Trace metal chemistry of Galveston Bay: water, sediments and biota. *Mar. Envir. Res.*, 36: 1-37.
- Muro, LA. (2008). Espacios públicos, encuentros sociales y ritual funerario en San José de Moro: Análisis de la ocupación Mochica Tardío en el Área 45, Sector Oeste de San José de Moro”. Tesis. Perú, Universidad Católica del Perú. Encontrado en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/438>
- Ocola, J. (s. f.). Protección del agua: vigilancia y control de vertimientos – paver. Perú. Autoridad Nacional del agua. Disponible en: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/4-proteccion_del_agua_vigilancia_y_control_de_vertimientos_paver._lic._juan_ocola_0.pdf

- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) (1988) Plan de Ordenamiento Ambiental de la cuenca del río Jequepeque para la protección del reservorio Gallito Ciego y del valle agrícola. Lima: ONERN.
- Olea, C., (2012). Ecología hoy. Obtenido de:
<http://www.ecologiahoy.com/estandares-de-calidad-ambiental>.
- ONU., (2014). Decenio Internacional para la Acción " El Agua Fuente de Vida". Obtenido: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- REVISTA CENIC. (2013).
- Ordoñez Gálvez, JJ. (2011). Cartilla técnica: aguas subterráneas-acuíferos. Lima, Perú. Disponible en: <http://conselva.org/wp-content/uploads/2016/07/Ordo%C3%B1ez-G%C3%A1lvez.-2011.-Qu%C3%A9-es-cuenca-hidrogr%C3%A1fica-2.pdf>
- Oyarzun, R. & Higuera, P. 2007. Minerales, metales, compuestos químicos, y seres vivos: una difícil pero inevitable convivencia. Disponible en <http://www.uclm.es/users/higuera/mam/MAM7.htm#Arriba>
- Palacios. N. (2010). Nuestras descuidadas Cuencas Hidrográficas, Diario Expreso, Perú.
- Peña, EC. Carter, DE. Ayala Fiero, F. (2001). Toxicología ambiental. Evaluación de riesgos y restauración ambiental. Southwest hazardous waste program. A superfund basic research and training program at the College of Pharmacy. The University of Arizona citado por Peña Fernández, A. (2011).
- Peña Fernández, A. (2011). "Presencia y distribución medioambiental de metales pesados y metaloides en Alcalá de Henares, Madrid. Evaluación del

riesgo para la población y biomonitorización de la población escolar”.
Universidad de Alcalá.

- Peña, F.; Carpio, J.; Vargas, V. 2015. Hidrogeología de la cuenca de los ríos Jequetepeque (13774) y Chamán (137752): Regiones Cajamarca, La Libertad y Lambayeque. 1ed. Lima, Perú, INGEMMET. Encontrado en:
<http://es.calameo.com/read/000820129d816c1921a71>
- Peña, P. & Vargas, V. 2006. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Del Río Jequetepeque: Regiones Cajamarca y la Libertad (en línea). San Borja, Lima. p. 467,468. Encontrado en:
<http://es.calameo.com/read/000820129df01662b20ed>
- Planas Martin, M. (2011). Evaluación sobre metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú, año 2009.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2009. Informe sobre desarrollo Humano-Parte II: una visión desde las cuencas, Cap. 3 Disponibilidad y usos del agua (en línea). Perú. 290 p. Disponible en <http://hdr.undp.org/sites/default/files/idh2009-peru-vol1-2.pdf>
- Poggio, L. Vrsčaj, B. Schulin, R. Hepperle, E. Ajmone Marsan, F., (2009). Metals pollution and human bioaccessibility of topsoils in Grugliasco (Italy). Environ Pollut; 157(2):680-689 citado por Peña Fernández, A. (2011)
- Purves, D. (1985). Trace element contamination of the environment. Elsevier, Amsterdam, pp 260. Disponible en:
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94296/02INTRODUCCION.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Química General. 2015. Química General: Metaloides. S.l. Disponible en: <http://www.quimicas.net/2015/05/ejemplos-de-metaloides.html>
- Ramírez, A. (2016). Estudio de la contaminación por pesticidas de las aguas superficiales de la provincia de Jaén. Universidad de Jaén. <http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/2862>
- Ramos, L. Fernández, MA. González, MJ. and Hernández, LM. (1999). Heavy Metal Pollution in Water, Sediments, and Earthworms from the Ebro River, Spain. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 63:305.
- Rajesh, N. y Yogesh, K. (2001), Surfactant enhanced chromium removal using a silica gel column. *Universitas Scientarum*, [Artículo electrónico], vol. 6, (no. 1). <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/499/49911595006.pdf>. Citado por Chávez Porras, A. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. Universidad de Medellín.
- Real Instituto de Tecnología de Suecia. (1973). Las aguas residuales en la industria minera metálica. Misión Minera del Perú. Tomo I. Estocolmo - Suecia. 1 – 12pp.
- Reboratti, C. (2001). Una cuestión de escala: sociedad, ambiente, tiempo y territorio. *Sociologías*, 5, p. 80-93.
- Resolución Jefatural N°010-2016- ANA. 2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima, Perú. 11 ene. Disponible en <http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana>

- Reyes Cubas, CM. 2012. Estudio de la contaminación de las aguas del río chillón. Tesis maestro. Lima, Perú. Universidad nacional de ingeniería. 296 p. Disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1082/1/reyes_cc.pdf
- Rinehart, WE. Y Gad, SC. (1986). “Current Concepts in Occupational Health: Metals - Chromium”, American Industrial Hygiene Association Journal, vol. 47, no. 11, pp. 696-699, citado por Chávez Porras A. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. Universidad de Medellín.
- Robertson, W.O., Dreisbach, R.H. (1988). Toxicología clínica, Editorial el Manual Moderno, México, Distrito Federal, México, pp 205-231.
- Rosas, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible en <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6978/02INTRODUCCION.pdf?sequence=2>
- Rosas, NM. (2008). Avances citado por García Gutiérrez, C. y Rodríguez Meza, GD. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Santos, A. Alonso, E. Callejón, M. y Jiménez, JC. (2002). Distribution of Zn, Cd, Pb and Cu Metals in Groundwater of the Guadamar River Basin. Water, Air, Soil Pollution, 134:273-283.
- Sevilla Gildemeister, JC. 2014. Usos del agua. Autoridad Nacional del Agua (ANA).Disponible en file:///C:/Users/NetGeo/Downloads/Foro_CIP_-_Usos_del_Agua_-_Mayo_2014.pdf.

- Sevilla Gildemeister, JC. sf. Plan nacional de recursos hídricos - Memoria final.
Disponible en
http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/b_memoria_final_parte_3_0_0.pdf
- Smolders, AJ. Lock, RA. Van der Velde, G. Medina, RI. and Roelofs, JG. (2003). Effects of Mining Activities on Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, and Macroinvertebrates in Different Reaches of the Pilcomayo River, South America. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 44:314.
- Sosa, P. (1993). Seminario-Taller Manejo de Cuencas. Mérida. Encontrado en:
<https://sites.google.com/site/cuencahidrografica/cuenca-hidrografica/definiciones-de-cuenca-hidrografica>
- Sotero Solís, V. & Alva Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. Universidad Científica del Perú.
<http://dx.doi.org/10.22386/ca.v3i1.49>
- Stratus Consulting INC, (2003). Reporte de la Evaluación independiente de la calidad y cantidad del agua en la cercanía del distrito minero Yanacocha. Cajamarca, Perú,
- Taboada Castro, MM. Diéguez Villar, A. and Taboada Castro, MT. (2002). Effect of soil use and agricultural practices on heavy metal levels in surface waters. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33:2833.

- Tahri, M. Benyaïch, F. and Bounakhla, M. (2005). Multivariate analysis of heavy metal contents in soils, sediments and water in the region of Meknes (central Morocco). *Environmental Monitoring and Assessment* 102:405-417.
- Tabra, S. 2013, La preocupante y desigual situación del agua en el Perú. SERVINDI. Disponible en <https://www.servindi.org/actualidad/84511>
- Topalián, ML. Castañé, PM. Rovedatti, MG. and Salibián, A. (1999). Principal Component Analysis of Dissolved Heavy Metals in Water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 63:484.
- Trelles, JA. (2013). “Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes”.
- Ubillus Limo, J. 2003. Estudio sobre la presencia de Plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003 (en línea). Cap.3 sl. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/ubillus_lj/cap3.pdf
- Umbría Núñez, I. Trezza Peña, R. y Hervé Jégat, (2009). Uso, manejo y conservación del agua un problema de todos. Academia – Trujillo – Venezuela. www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29775/1/articulo2.pdf
- UNIPLOM, 2004. El Plomo Hechos y realidades: Fuentes, niveles y desplazamientos del plomo en el medio ambiente. Disponible en <http://www.uniplom.es/fuentes.htm>
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). sf. El agua y las cuencas hidrográficas: El agua. (en línea). Disponible en https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5338930.pdf

- Washington Department of Ecology, (1995). Sediment Sampling Analysis Plan Appendix: Guidance on the Development of Sediment Sampling and Analysis Plans Meeting the Requirements of the Sediment Management Standards. Ecology Publication No. 95-XXX, Washington Department of Ecology, Seattle.
- Wilmer, (2011). Determinación del grado de influencia del efluente líquido de la Compañía Minera Aurex S.A. en el ecosistema acuático del río San Juan.
- Wong, WW. Chung, SW. Kwong, KP. Yin Ho, Y. Xiao, Y. (2010). Dietary exposure to aluminium of the Hong Kong population. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess 27(4):457-463 citado por Peña Fernández, A. (2011).
- World Health Organization (WHO). (2011) Arsenic in drinking water. Background for document for development of WHO Guidelines for Drinkingwater Quality. Geneva, Switzerland. Citado por Trelles, JA. (2013). “Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes”.
- Yang, W. Yang, L. and Zheng, J. (1996). Effect of metal pollution on the water quality in Taihu Lake. GeoJournal (Historical Archive) 40:197 – 200.

7. LISTA DE ABREVIATURAS

ANA:	Autoridad Nacional del Agua.
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo.
CEDEPAS:	Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social.
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CLADES:	Centro Latino Americano de Desarrollo Sustentable.
DS.:	Decreto Supremo.
ECA:	Estándar De Calidad Ambiental.
EPA:	Agencia de Protección Ambiental.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
IIAP:	Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana.
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
MINEM:	Ministerio de Energía y Minas.
MINSA:	Ministerio de Salud del Perú.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
PAMs:	Pasivos Ambientales Mineros.

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad Agraria.

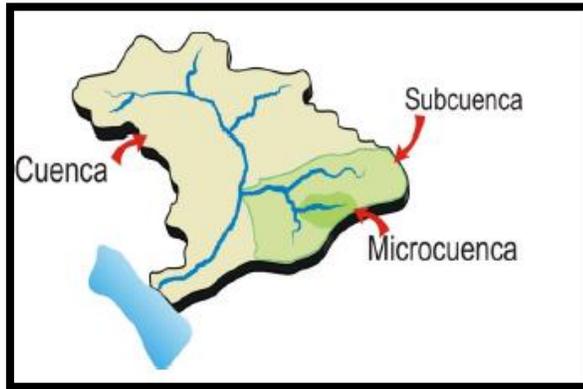
SGMA: Sistema de Gestión Medioambiental.

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

8. ANEXOS

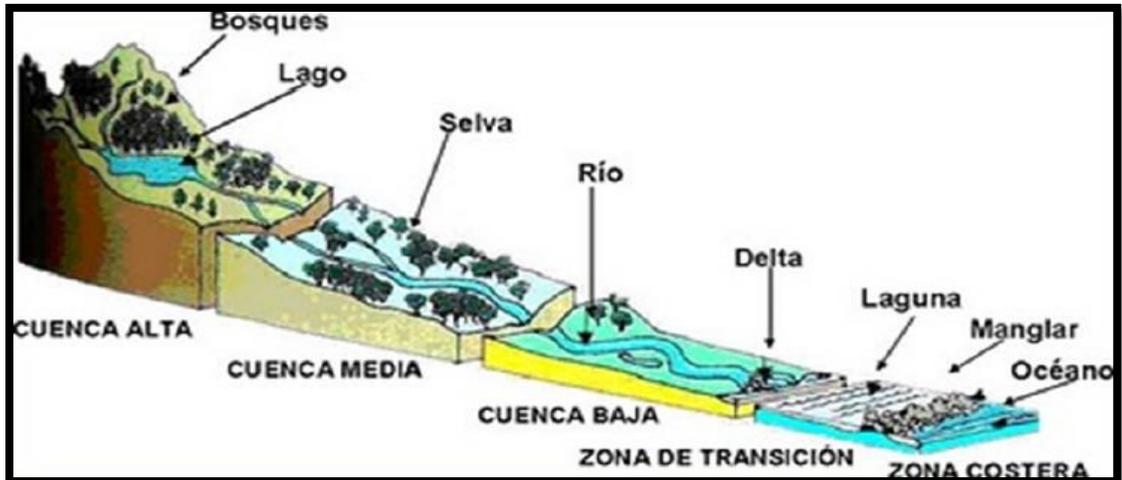
ANEXO I

Figura N°10: Cuenca, subcuenca y microcuenca



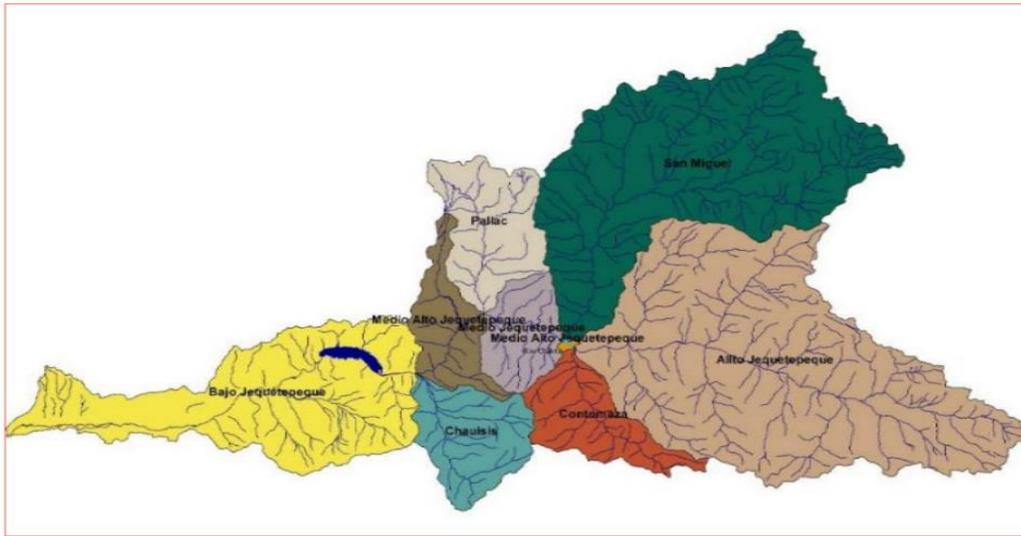
Fuente: Adaptado por Casaverde (2011).

Figura N°11: Partes de una cuenca



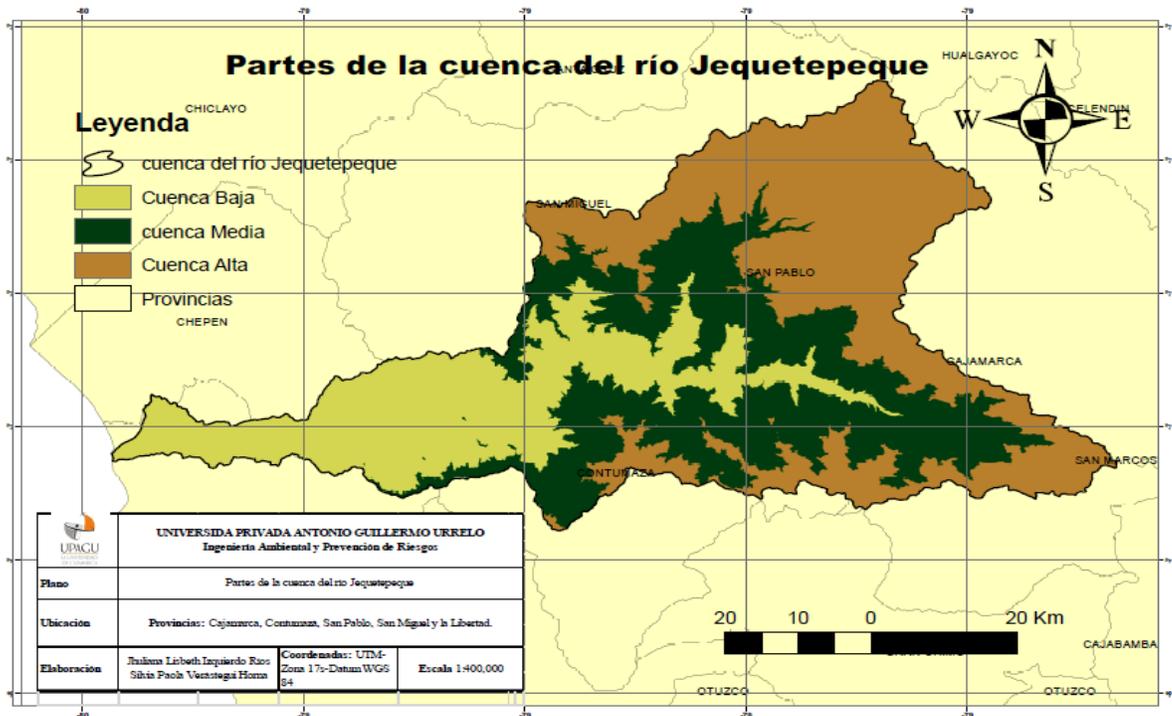
Fuente: www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle, adaptado por Ordoñez (2011).

Figura N°12: Subcuencas del río Jequetepeque



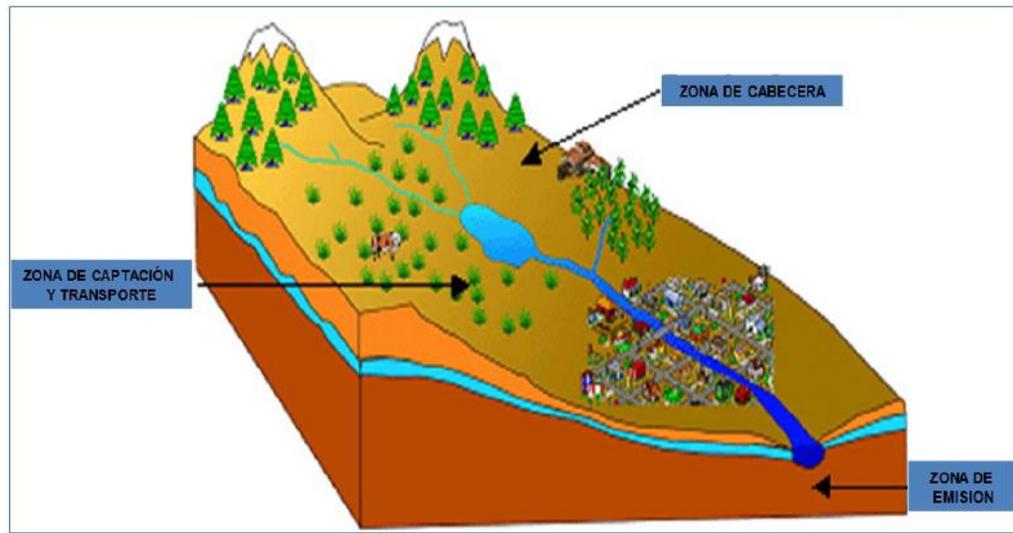
Fuente: ANA (2015).

Figura N°13: Partes de la cuenca del río Jequetepeque



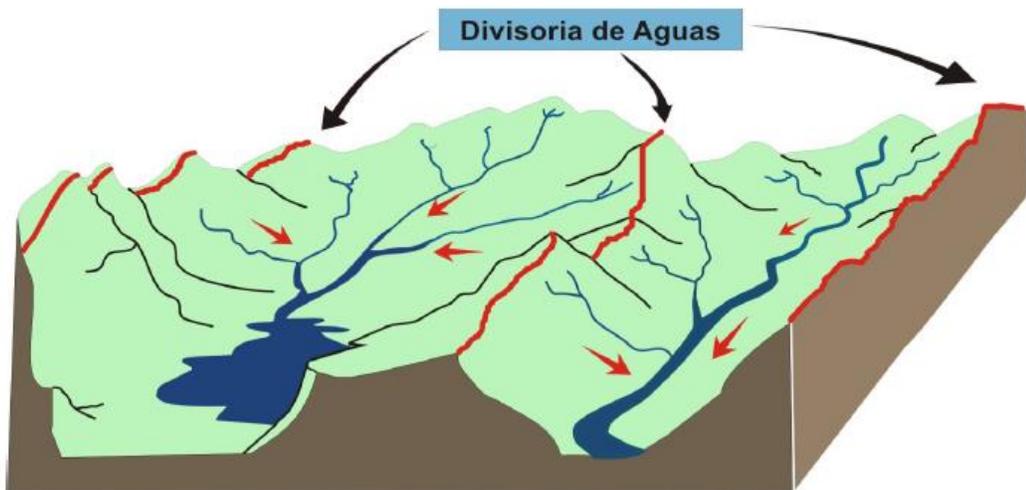
Fuente: Propia

Figura N°14: Zonificación de la cuenca



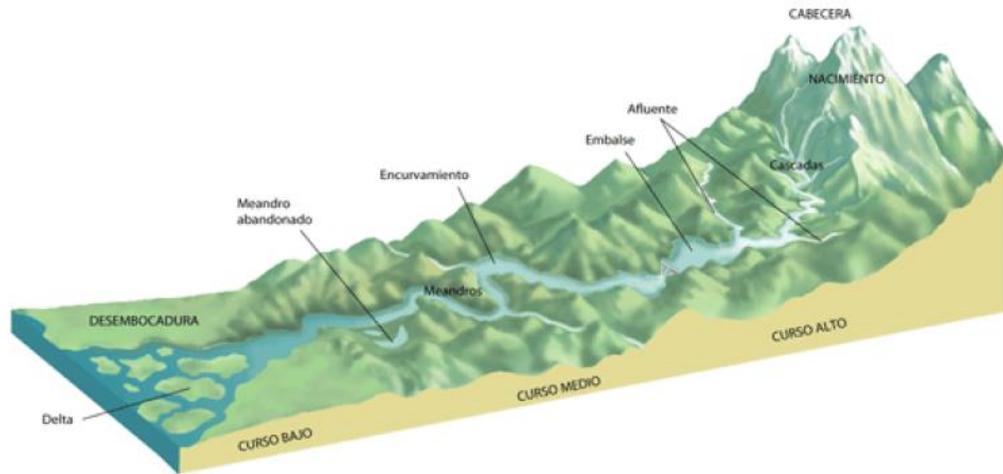
Fuente: Pladeyra (2003), adaptado por Ordoñez (2011).

Figura N°15: Divisoria de aguas



Fuente: (<http://recuperapatzcuaro.com/lacuenca.php#>, adaptado por Casaverde 2011) Adaptado por Ordoñez (2011).

Figura N°16: Partes de un río



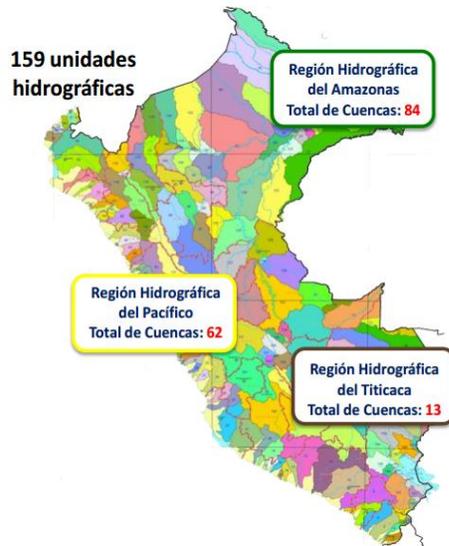
Fuente: http://kalipedia.com/klpgeogra_17.Kes#, Adaptado por Ordoñez (2011).

Figura N°17: Tipos de cuencas: a) Exorreicas, b) Endorreicas y c) Arreicas.



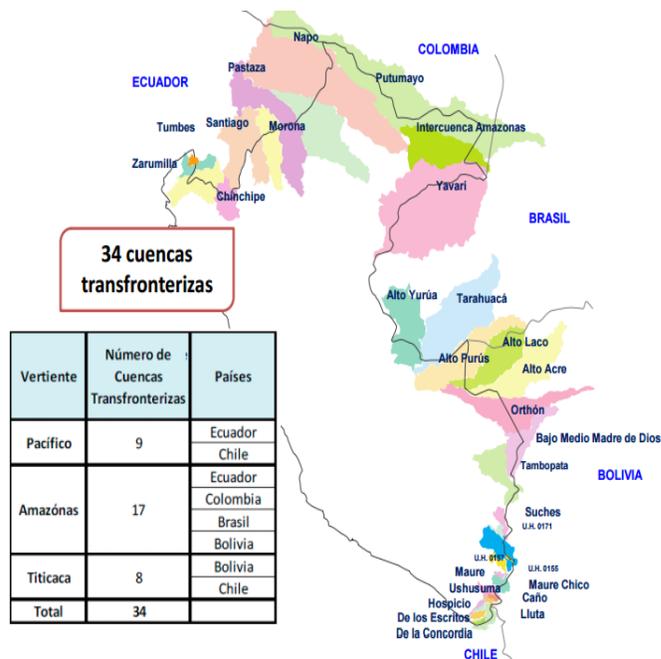
Fuente: <http://recuperapatzcuaro.com/lacuena.php#>, Adaptado por Ordoñez (2011).

Figura N°18: Unidades hidrográficas del Perú.



Fuente: ANA (2012).

Figura N°19: Unidades hidrográficas transfronterizas.



Fuente: ANA (2012).

ANEXO II

Estándar de Calidad Ambiental para agua- Categoría 3:

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
FÍSICOS - QUÍMICOS			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad	(uS/cm)	2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/l	0,2	0,5
Fenoles	mg/l	0,002	0,01
Fluoruros	mg/l	1	**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/l	100	100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/l	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3

Fuente: MINAM (2015).

Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/l	0,2	0,5
Cobalto	mg/l	0,05	1
Cromo Total	mg/l	0,1	1
Hierro	mg/l	5	**
Litio	mg/l	2,5	2,5
Magnesio	mg/l	**	250
Manganeso	mg/l	0,2	0,2
Mercurio	mg/l	0,001	0,01
Níquel	mg/l	0,2	1
Plomo	mg/l	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,02	0,05

Fuente: MINAM (2015).

** : No presenta valor en ese parámetro para la subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.

- $\Delta 3$: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.