



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO SANTA, POR LOS RELAVES  
MINEROS UBICADOS EN TICAPAMPA - RECUAY – ANCASH - 2018**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
HUERTA RAMÍREZ ALCIDES JAVIER**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**LIMA – PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis, dedico a mí madre y hermanos por sus consejos y su apoyo constante.

### **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que me brindaron sus conocimientos que han contribuido en mi formación profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: .....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 <i>Problema general</i> .....	4
1.2.2 <i>Problemas específicos</i> .....	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5 IMPORTANCIA .....	5
1.6 LIMITACIONES .....	6
CAPÍTULO II: .....	7
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7

2.1 MARCO REFERENCIAL.....	8
2.1.1 <i>Antecedentes de la investigación</i> .....	8
2.1.2 <i>Referencias históricas</i> .....	15
2.2 MARCO LEGAL.....	15
2.2.1 <i>Ley</i> .....	15
2.3 MARCO CONCEPTUAL .....	19
2.4 MARCO TEÓRICO .....	21
2.4.1 <i>Definiciones</i> .....	21
<b>CAPÍTULO III: .....</b>	<b>38</b>
3.1. METODOLOGÍA.....	39
3.1.1 <i>Método</i> .....	39
3.1.1.1 <i>Ubicación geográfica</i> .....	39
3.1.1.2 <i>Procedimientos para la toma de muestras</i> .....	40
3.1.2 <i>Tipo de investigación</i> .....	43
3.1.3 <i>Nivel de investigación</i> .....	43
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	44
3.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.3.1 <i>Hipótesis general</i> .....	44
3.3.2 <i>Hipótesis específicas</i> .....	44
3.4 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.4.1 <i>Variable independiente</i> .....	45
3.4.2 <i>Variable dependiente</i> .....	45
3.4.3 <i>Operacionalización de variables</i> .....	46
3.5 COBERTURA DEL ESTUDIO .....	47
3.5.1 <i>Universo</i> .....	47
3.5.2 <i>Población</i> .....	47

3.5.3 Muestra.....	47
3.5.4 Muestreo .....	47
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....	48
3.6.1 Técnicas de la investigación .....	48
3.6.2 Instrumentos de la investigación .....	48
3.6.3 Fuentes.....	48
3.7 PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN. ....	48
3.7.1 Estadísticos .....	48
3.7.2 Representación .....	49
3.7.3 Técnica de comprobación de hipótesis .....	49
Antes de proceder con la prueba de hipótesis se ha comprobado la normalidad de las distribuciones utilizando el test de Anderson – Darling.....	49
CAPÍTULO IV:.....	52
ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
4.1 Resultados .....	53
4.1.1 Caracterización de las aguas del río Santa.....	55
4.2 Discusión de los Resultados .....	56
4.3 Contratación de hipótesis .....	65
CONCLUSIONES .....	71
RECOMENDACIONES .....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
Anexos .....	77

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

INGEMMET: Instituto Geológico Mineral Metalúrgico

S.A: Sociedad Anónima

MINEM: Ministerio de Energía y Minas

OMS: Organismo Mundial de Salud

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)

CNA: Consejo Nacional del Agua

PVC: Poli cloruro de Vinilo

TM: Tonelada Métrica

TGI: Tracto Gastrointestinal

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

ANA: Autoridad Nacional del Agua

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> .....	37
<b>Tabla 2</b> .....	41
<b>Tabla 3</b> .....	53



**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> .....	40
<b>Figura 2</b> .....	56
<b>Figura 3</b> .....	57
<b>Figura 4</b> .....	58
<b>Figura 5</b> .....	59
<b>Figura 6</b> .....	60
<b>Figura 7</b> .....	61
<b>Figura 8</b> .....	62
<b>Figura 9</b> .....	63
<b>Figura 10</b> .....	64

## RESUMEN

En la presente investigación se ha evaluado el proceso dinámico de contaminación de un tramo de las aguas del río Santa por causa de los relaves (Pasivo Ambiental Minero - PAM), ubicado, en el margen izquierdo del río, altura del Km. 173 – Carretera Pativilca – Huaraz, frente a la ciudad de Ticapampa, Recuay, Ancash.

Los relaves, contienen sustancias tóxicas, elementos pesados con elevada concentración y otros componentes, al entrar en contacto con el medio acuático producen efectos contaminantes; en el presente caso, los relaves por haber sido depositado de manera precaria sin ningún tipo de protección a inmediaciones del río Santa paralelo a su cauce, fácilmente se incorporan al cuerpo de las aguas por acción de los diferentes fenómenos físicos, químicos o geológicos a que están expuestos.

Para evaluar la presencia de metales pesados en el área de potencial interés se han geo localizados 10 puntos en el tramo del río comprendido entre las progresivas Km 173 - Km 174 de la carretera Pativilca – Huaraz y se han tomado muestras de cada punto para identificar y medir la concentración mediante la técnica de la espectrometría de absorción atómica de los elementos metálicos como el arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb), luego de obtener los resultados, estos han sido objeto de tratamiento probabilístico inferencial y contrastaste con el ECA de cada elemento metálico, llegándose a establecer que hay suficiente evidencia estadística para afirmar que la concentración de los elementos metálicos determinados superan los ECA, concluyéndose que si existe contaminación de las aguas del río por la presencia de metales pesados.

**Palabras claves:** Relaves, contaminación, metales pesado

### **ABSTRACT**

In the present investigation the dynamic process of contamination of a section of the waters of the Santa River due to the tailings (Mining Environmental Passive - PAM), located on the left bank of the river, height of Km. 173 - Road was evaluated. Pativilca - Huaraz, in front of the city of Ticapampa, Recuay, Ancash.

The tailings, contain toxic substances, heavy elements with high concentration and other components, when coming into contact with the aquatic environment produce polluting effects; in the present case, the tailings by having been deposited in a precarious manner without any protection to the Santa River near its channel, are easily incorporated into the body of the waters by action of the different physical, chemical or geological phenomena to which are exposed.

To evaluate the presence of heavy metals in the area of potential interest, 10 points have been geo-located on the stretch of the river between the progressive Km 173 - Km 174 of the Pativilca - Huaraz highway and our points have been taken from each point to identify and measure the concentration using the technique of atomic absorption spectrometry of metallic elements such as arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb), after obtaining the results these have been the subject of inferential probabilistic treatment and contrasted with the ECA of each metallic element, arriving to establish that there is sufficient statistical evidence to affirm that the concentration of the determined metallic elements exceeds the RCTs, concluding that if there is contamination of the waters of the river due to the presence of heavy metals.

**Keywords:** Tailings, pollution, heavy metals



## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los problemas más severos que afecta a las sociedades del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha reducido exponencialmente (Chen, 2013). La tasa de contaminación del agua puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios.

El río Santa forma una de las cuencas hidrográficas más importantes de la vertiente del pacífico, se constituye como el medio acuático superficial imponente de la región Ancash y parte de la región La Libertad, sus aguas es consumido mayoritariamente por la población, la agricultura, los sistemas pecuario, minero y energético; desde décadas atrás, viene siendo contaminada por diferentes fuentes antrópicas, siendo uno de ellos los relaves mineros ubicados en la ciudad de Ticapampa, provincia de Recuay, Ancash, dicho cuerpo contaminante se formó hace varias décadas atrás producto de la explotación minera por parte de la Cía. Minera Alianza y su antecesora The Anglo French Ticapampa Silver Mining Company Ltda., en la fase del tratamiento metalúrgico por flotación de rocas sulfurosas, por su composición natural los relaves son fuente de metales pesados.

Los relaves al haber sido depositado de manera precaria, por la acción de diversos fenómenos físico-químico, geológicos como la erosión, la percolación, el viento y la lluvia se incorporan a las aguas del río Santa produciendo su contaminación.

En el presente estudio, dentro del área de potencial interés se ha encontrado la presencia de metales pesados y metaloides, arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd) cuyas concentraciones superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el

agua, en tal sentido, el alto grado de concentración con una exposición prolongada así como por la bio-acumulación generan toxicidad, existiendo una probabilidad mayor que el consumo de las aguas afecten la seguridad alimentaria y la salud pública de los consumidores.

Con el objeto de cumplir con el propósito de la investigación, la tesis se ha estructurado en cuatro capítulos. Capítulo I “Planteamiento del Problema”. Contiene la descripción de la realidad problemática, así como los problemas de investigación tanto general como específicos, los objetivos generales y específicos, la justificación e importancia de la investigación. Capítulo II “Fundamentos Teóricos”. Trata los antecedentes de la investigación, las referencias históricas, el marco legal y teórico. Capítulo III “Planteamiento Metodológico”. Se presenta la metodología, el método, tipo de investigación, nivel de investigación, hipótesis de la investigación, variables, población, muestra los resultados de la investigación y la contrastación entre la información recolectada y la información teórica empleada para el estudio. Capítulo IV “Organización, Presentación y Análisis de Resultados”: Está conformado por la organización, representación y análisis de resultados, para finalmente terminar con las conclusiones y recomendaciones de acorde a las observaciones encontradas y anexos.

**CAPÍTULO I:**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Caracterización de la realidad problemática.**

Hasta fines del siglo pasado, las actividades extractivas de recursos naturales no renovables como los minerales, el petróleo y otros, en diferentes partes del mundo y en nuestro país no tenía los estándares de control ambiental como las que se ha impuesto en la actualidad; en tal sentido, las empresas que desarrollaban actividades relacionadas con dichos recursos lo realizaban sin ningún tipo de restricción legal que permitiera minimizar, eliminar o mitigar los efectos negativos de sus operaciones; en consecuencia, generaron residuos sólidos contaminantes hoy convertidos en pasivos ambientales o también llamado externalidades, al no ser tratados o eliminados afectaron y afectan en la actualidad gravemente a los componentes ambientales como el suelo, aire, los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, ocasionando daños irreparables a los ecosistemas y la salud de las personas que se encuentran en el entorno donde se ubicaban los sistemas de producción y el área de influencia, perdiéndose de esa manera la calidad de vida.

En la cuenca superior del río Santa, dentro de la provincia de Recuay, margen derecho (Cordillera Blanca) y margen izquierdo (Cordillera Negra), desde décadas pasadas se desarrolla la actividad minera bajo el sistema de explotación subterránea, teniendo como actores a la minería formal e informal, los cuales explotaban y explotan yacimientos mineros de manera mecanizada y/o artesanal, en consecuencia, en el ciclo de producción de la actividad para obtener el elemento metálico valioso generaron residuos sólidos contaminantes denominados relaves, al no ser tratados adecuadamente y o eliminados culminada la vida útil de la mina se convierten en pasivos ambientales.



Los depósitos de relaves que generan la contaminación del área de potencial interés se encuentran ubicados aguas abajo, margen izquierdo del río altura del Km 173 de la carretera Pativilca-Huaraz a inmediaciones de la ciudad de Ticapampa, provincia de Recuay, departamento de Ancas, su origen se remonta a más de 110 años atrás como consecuencia de las operaciones mineras metalúrgicas que desarrollaron las empresas The Anglo French Ticapampa Silver Mining Company Ltda. y su sucesora Cía. Minera Alianza S.; en sus inicios, estaba conformado básicamente por los residuos de amalgamación de la Ag utilizando el Hg procedente de Huancavelica para producir la famosa “Plata bella” para remitir a la Casa de la Moneda de Lima, para su refinación y acuñación de los soles de nueve décimos; de manera más extensiva los relaves fueron acumulados entre los años 1964-1984 por parte de la Cía. Minera Alianza S.A. como consecuencia del tratamiento metalúrgico denominado concentración de minerales por flotación de rocas sulfurosas, cuya composición química es la combinación del azufre con elementos metálicos como el Pb, Zn, Cu y Cd, siguiendo la siguiente fórmula:  $AnX_p$ , siendo A uno o más metales y X azufre, al combinarse en el proceso de flotación con otros compuestos y el agua formaron una mezcla denominada ganga, por su aparente menor valor económico fue retirado del ciclo de producción y arrojado a espacios territoriales que eran más conveniente económicamente a la empresa minera, sin tener en cuenta que el producto que desechaban contenían elementos metálicos tóxicos peligrosos para el hombre y su ambiente.

## **1.2 Formulación del problema.**

### **1.2.1 Problema general**

¿Evaluar la contaminación del río Santa en el área de potencial interés por causa de los relaves mineros ubicados en la ciudad de Ticapampa?

### **1.2.2 Problemas específicos**

P1: ¿Cuál es el nivel de concentración del Pb, Cd y As en las aguas del río Santa, en el área de potencial interés?

P2: ¿Cuál es el impacto de los relaves al ecosistema del río Santa y sus posibles efectos en la salud de la población?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Determinar la presencia del Pb, Cd, As en las aguas del río Santa en el área de potencial interés por causa de los relaves, así como los posibles impactos al medio ambiente y a la salud de las personas.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Cuantificar la concentración del Pb, As y Cd presentes en el agua del río Santa en el área de potencial interés que causan su contaminación.
- Determinar los riesgos de la salud del consumidor del agua del río Santa que habitan en la zona de influencia directa.

## **1.4 Justificación**

La contaminación de los sistemas acuáticos superficiales a nivel nacional por causa de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) siendo alguno ellos los relaves mineros, en los últimos años ha sido y es fuente de preocupación de muchos organismos no

gubernamentales así como de personas naturales y el propio estado, toda vez que con el transcurso del tiempo se ha percibido y logrado determinar los graves impactos negativos que producen a los ecosistemas así como a la salud de las personas que se encuentran dentro del área de influencia directa e indirecta de dichos cuerpos contaminantes debido a la falta de una adecuada remediación o de su eliminación total ; tales acontecimientos no son ajenos a los depósitos de relaves ubicados en la ciudad de Ticapampa, pues estos fueron depositados hace varios años y nada han hecho los organismos del estado encargados de velar por la conservación del ambiente para implementar acciones orientadas a la remediación, tratamiento o eliminación a sabiendas que se constituye como un espacio contaminante para el hombre, su ambiente acuático, superficial y aéreo; en tal sentido, al conocer como con el transcurso del tiempo se han exterminado los servicios ambientales que brindaba el río por causa de los relaves, me he sentido motivo a realizar la presente investigación, ello con la finalidad de poner su contenido al servicio de la comunidad académica y de otras instituciones para difundir de manera técnica y sustentada los daños que se han producido en la salud de las personas, el ambiente (suelo, aire y agua) por causa de los relaves pues estos contienen sustancias tóxicas.

### **1.5 Importancia**

La presente investigación se va constituir en un instrumento técnico importante, para difundir en los diferentes medios de información los efectos adversos que producen los relaves a las aguas del río y a los demás componentes del ambiente, así como a la salud del hombre, ya que en la actualidad se observa palmariamente los daños que produce.

## **1.6 Limitaciones**

Una de las principales limitaciones que he encontrado en desarrollo de la investigación ha sido la creciente de las aguas del río en temporada de avenida, puesto que diluye la concentración de los elementos pesados contenidos en las aguas del río, otra limitación ha fue la falta de instituciones públicas y/o privadas en la zona de estudio para brindar los servicios de ensayos químicos de las muestras del agua del río Santa para determinar la concentración de los elementos metálicos.

**CAPÍTULO II:**  
**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

## 2.1 Marco referencial

### 2.1.1 Antecedentes de la investigación

#### a. A nivel internacional

- Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & Gonzales (2016), en el estudio que realizaron sobre contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria; especifican que, la contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. En esta revisión, se aborda el problema específico de contaminación por mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en ambiente y alimentos. Se presenta una descripción sobre las fuentes de contaminación y exposición en seres vivos, así como la incorporación y retención en alimentos y productos de consumo humano. Se abordan casos de estudio y resultados obtenidos en algunos países del mundo incluido Colombia”.
- Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, (206), estudiaron la “Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera”, la zona de estudio se encuentra ubicado en la parte sur del estado de Chihuahua, México, municipio de San Francisco del Oro, lugar donde se ubica una industria minera que cuenta con presas de jales que cubren una superficie de aproximadamente 140 Ha y que sirve de confinamiento de los desechos de la industria minera, evaluaron que, la contaminación en el suelo

por plomo, cadmio, zinc y arsénico a diferentes distancias y niveles de profundidad y determinaron su relación con características físico-químicas.

La zona de interés abarcó 3 km lineales en dirección de vientos dominantes a partir de la fuente de contaminación. Se extrajeron 30 muestras de suelo para análisis de concentraciones de metales y de características físico-químicas a tres diferentes profundidades: 0-40, 40-60 y 60-80 cm en 10 sitios la distancia entre sitios fue de 300 m. La concentración de metales se evaluó utilizando la técnica ICP, las muestras con pequeñas concentraciones se leyeron mediante absorción atómica. El análisis estadístico fue modelos de regresión entre características físico-químicas, distancias, profundidades y concentraciones de metales pesados. Los resultados mostraron que la mayor concentración se da en sitios cercanos a los jales, disminuyendo la concentración a medida que se aleja de ellos. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales. El Arsénico se asoció con distancia a la fuente, textura y materia orgánica; el Plomo con la distancia a la fuente y textura; el Cinc con distancia a la fuente y el Cadmio con la distancia a la fuente, pH y profundidad de suelo.

- Lenom Justin Cajuste; Antonio Vázquez Alarcón; C. (2001), en el estudio, “cadmio, níquel y plomo en agua, suelo y cultivos en el valle del Mezquital, provincia de Hidalgo”, mediante un estudio de impacto ambiental evaluaron la concentración de cadmio y plomo en aguas de su río, suelo y cultivos, destacaron la necesidad de tener normas que establezcan la acumulación tolerable de metales pesados en el suelo. En la actualidad la superficie

cultivada es de 90,000 Ha y se producen cultivos y forrajes como maíz, alfalfa, frijol, cebada y trigo entre otros.

El procedimiento consistió en obtener muestras de agua, suelo, tejido vegetal y grano en tres especies y en nueve espacios, en el agua la concentración de plomo fue de 0,13 mg/L, en el follaje de trigo en sólo un mes aumentó de 0,8 mg/L a 1,4 mg/L; esto se cree por la alta carga de estos metales en el aire y en sus aguas de regadío provenientes del río. En cuanto a la concentración de cada metal en el agua, se aprecia una tendencia del Pb a incrementarse durante el período de muestreo, mientras que las concentraciones de Cd y Ni son más estables en la parte inicial, pero se incrementan hacia el final; por el análisis del agua de cada sitio el número de riegos y la lámina utilizada en cada uno fue posible cuantificar la cantidad de metales que se acumula anualmente en el suelo. La concentración de Cd en el agua durante el presente estudio superó el valor máximo permisible de calidad del agua para riego agrícola, las concentraciones de Ni y Pb fueron 3 y 60 veces inferiores, respectivamente, al valor máximo permisible para agua superficial”.

- Agustín Gómez-Álvarez, Arturo Villalba-Atondo, Gil (2004), en el estudio “Metales Pesados en el Agua Superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999”, desde su origen cerca de la ciudad de Cananea, Sonora, México hasta el límite con Estados Unidos de América, analizaron el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica, los sulfatos y metales pesados totales: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn, utilizándose la metodología recomendada por la EPA (Environmental Protection Agency) y la CNA



(Comisión Nacional del Agua). El estudio en su Etapa I se llevó a cabo durante el período febrero-noviembre de 1997, realizándose cuatro muestreos con periodicidad trimestral (febrero, mayo, agosto y noviembre); en la Etapa II, realizada en los meses de abril y agosto de 1999, se hicieron únicamente dos muestreos. En ambas etapas se colectaron muestras de agua superficial en 8 estaciones de muestreo. Se comparó la calidad del agua superficial a través de los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE 1989). Con base en los resultados obtenidos, se observó la presencia de valores elevados de algunos metales pesados totales (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), conductividad eléctrica y sulfatos; así como valores bajos de pH en ambas etapas, en las estaciones de muestreo más cercanas a la explotación minera (específicamente al Depósito Concentradora Vieja). Dichos valores fueron superiores a los máximos permitidos establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua. En la Etapa I, la mayor parte de los parámetros evaluados presentaron los valores más altos en los muestreos realizados en mayo, agosto y noviembre de 1997; mientras que en la Etapa II, se manifestaron en agosto de 1999. En orden de importancia, se encontró que la explotación minera de la región es la principal fuente de contaminación del río San Pedro. Las descargas de aguas negras sin tratamiento provenientes de la ciudad de Cananea, se consideran como la segunda fuente de contaminación más importante de este río.

- Idrovo, Sarmiento, Restrepo, Díaz, & González(1999) en el estudio Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana señalan que: El embalse del Muña en los últimos 30 años ha incrementado el contenido de material orgánico en descomposición. La población de Si bate ha percibido una asociación entre esta contaminación y la aparición de enfermedades respiratorias, dérmicas y cáncer. Para aclarar esta situación se realizó una evaluación ambiental preliminar, un estudio ecológico exploratorio de mortalidad, un estudio de prevalencia de morbilidad, un estudio de corte transversal de absorción de metales y la caracterización sociocultural de la población. Los resultados no muestran un perfil anormal en la morbi-mortalidad de esta población. Se explican estos hallazgos y se sugieren nuevos estudios para mejorar el entendimiento de la posible asociación entre el embalse contaminado y la salud humana.

#### **b. A nivel nacional**

- Juarez (2012) en la investigación: Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efectos en la agricultura en el cono este de Lima, estableció que: El contenido de Cd y Cr en los ocho años evaluados en la cuenca han sido aceptables para el regadío de hortalizas en la cuenca baja. Sin embargo, tres de ocho años para As y siete de ocho años para Pb han afectado las zonas de producción de hortalizas en la cuenca baja. Los años de mayor contaminación por Pb y As fueron el 2000 y 2002.

100% de las muestras de As total en suelos, 40% de las muestras de Cd total en suelos y 4% de las muestras de Pb total en suelos superan el LMP

sugerido para suelos. Ninguna muestra de Cr total en suelos supera el LMP para suelos.

La contaminación de suelos por aguas contaminadas presenta un riesgo importante en el consumo de hortalizas de follaje para As. El As puede ser fácilmente bio-acumulado hasta niveles riesgosos en huacatay y lechuga.

- Echegaray Rosales, Guerin, Arellano , & Hinojosa Blanco (2004), en la investigación que realizaron: Contribución al estudio de la posible contaminación del río Rímac, tomaron muestras de tres estaciones dentro del tramo del río, los cuales estuvieron conformados por el puente Ricardo Palma, puente Los Ángeles y el km. 16 de la carretera central, los muestreos se realizaron entre febrero de 1983 y octubre de 1984, determinando que algunos valores de concentración de metales pesados, como el cadmio ( 0.01 mg/L), el cobre (1.50 mg/L.) están por encima de su límite permisible; el plomo en un 70% de las muestras estaban por encima del límite permisible (0.10 mg/L), en cambio el Zn los valores de concentración se hallaban por debajo del límite permisible (15 mg/L).
- Malarín & Remy (1994), en el estudio: La contaminación de aguas superficiales en el Perú: una aproximación económica-jurídica, evaluaron el problema de contaminación de aguas superficiales con mención de estudios de casos, entre ellos el río Rímac, pero contextualizado en un ámbito general. Los autores señalan que en general los ríos de la costa central tienen mayores niveles de contaminación por plomo durante los meses de noviembre y diciembre que en otros meses del año.

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) ha elaborado el catastro de vertimientos considerando los puntos de emisión y volumen total de aguas residuales de la actividad minera, para el caso del río Rímac (seis puntos de vertimiento con metales de plomo, zinc, plata y cobre) ha estimado un volumen total de 3.11 millones de m<sup>3</sup>/año, ocupando el tercer lugar en importancia después del río Mantaro y Locumba.

- Rojas (1986); en la investigación: Contaminación del río Rímac por metales pesados provenientes de la industria minera, realiza un muestreo intensivo de aguas (entre las 12 y las 24 horas con toma de muestras cada 2 horas) que se centra en dos puntos de la zona alta del río Rímac, específicamente las nacientes del río San Mateo. Las evaluaciones efectuadas nos indican que tanto las aguas del río San Mateo como de la quebrada Parac transportan cantidades significativas de plomo y zinc, y que sus aguas sufren incrementos notables de estos elementos al pasar por determinadas áreas donde no existe ningún tipo de aporte visual, por lo que no es posible justificar el balance con los vertimientos a excepción de que exista aportes de otra naturaleza. Igualmente, en el caso de descargas de relaves crudos (los cuales están compuestos por partículas de diferentes diámetros), señala que es de suponer que una fracción, los más finamente divididos y coloidales discurren en suspensión conjuntamente con la masa de agua, pero las de mayor tamaño tenderán a sedimentar en el lecho del río o a ser arrastradas por las corrientes por deslizamiento o rodamiento.

### **2.1.2 Referencias históricas**

Existe evidencias y demuestran que el oro, así como la plata fueron explotados por nuestros antepasados antes de la conquista de los españoles; en la época de la conquista el oro fue extraído por reducción directa (fundición) de minerales excepcionalmente ricos, pero principalmente la producción fue por amalgamación con mercurio. En la amalgamación de los minerales de oro como lo describe Georgius Agrícolas (1556) en su libro De Re Metallica (sobre los metales) empleaban molinos de mineral impulsados por caballos para moler el mineral en un patio circular o «arrastra», algunas veces en adición a molinos primitivos cuya energía era proporcionada por caídas de agua donde ésta fuera disponible (Dammert,1997).

En la época de la conquista la cantidad de roca chancada y de desmonte fue pequeña y se hicieron esfuerzos para recuperar y conservar el mercurio, el cual era tanpreciado como el propio mineral. Sin embargo, existe vestigios que demuestran que grandes cantidades de mercurio permanecen distribuidas alrededor de la ubicación de las viejas minas de plata en el Perú y constituyen un serio riesgo ambiental aún hoy día (INGEMET, 1998).

## **2.2 Marco legal**

### **2.2.1 Ley**

El marco legal en el cual se ha desarrollado la presente investigación está conformado por los siguientes dispositivos:

**Constitución Política del Perú.**

Es la ley de leyes que regula las actividades que se desarrollan en nuestro País. La Constitución, en el artículo 2º, numeral 22 dice: “Toda persona tiene derecho a: la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado de desarrollo de su vida”.

**Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente.**

Es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú.

**Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos.**

Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

**Ley N° 26821 - Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los RR.NN.**

En el artículo 2º, señala que el objetivo de la ley es la de promover y regular el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, renovables y no renovables, estableciendo un marco adecuado para el fomento a la inversión, procurando un equilibrio dinámico entre el crecimiento económico, la conservación de los recursos naturales y del ambiente, así como el desarrollo integral de la persona humana.

**Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.**

Establece los derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de

minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

**Decreto Supremo N° 057-2004-PCM - Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.**

Dentro del Título I, Manejo de Residuos Sólidos, capítulo I, art. 9° sobre las disposiciones generales de manejo de residuos sólidos señala: “El manejo de los residuos que realiza toda persona deberá ser sanitaria y ambientalmente adecuado de manera tal de prevenir impactos negativos y asegurar la protección de la salud”.

**Ley N° 28245 – Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.**

El año 2004 se promulgó en el Perú la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, orientada a fortalecer el marco institucional ambiental que era liderado por el CONAM.

**Decreto Supremo N° 008-205-PCM-** Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

**Decreto Supremo N° 001-2010-AG** - Reglamento de la Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos

**Decreto Supremo N° 04-2017-MINAM** – Aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y Disposiciones Complementarias.

La norma compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo, la norma modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de



los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

**Ley N° 27446 - Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.**

Crea el Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA), sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas en el proyecto de inversión.

### **2.3 Marco conceptual**

Según la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales (Ministerio del Ambiente , 2010) se entiende como:

**Área de potencial interés:** Extensión de terreno sobre el que se realizarán efectivamente las labores de muestreo. Se trata de áreas identificadas durante la fase de identificación en las cuales existe alguna evidencia potencial de contaminación.

**Amenaza potencial:** Proceso mediante el cual se determina un peligro o amenaza que comprometa la calidad del agua, aire o suelo el cual pone en riesgo a la salud del ser humano y a la biodiversidad como consecuencia de la exposición a fuentes contaminantes del ambiente en un lugar y tiempo determinado como consecuencia de actividades de origen natural o antropogénico.

**Biodisponibilidad:** Parámetro que expresa el grado de accesibilidad de un compuesto para ser asimilado por los seres vivos. Cuanto más biodisponible sea un contaminante mayor será su efecto nocivo sobre los seres vivos.

**Contaminantes:** Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede el nivel de fondo, susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

**Cadena de custodia:** Procedimiento documentando de la obtención de muestras, su transporte, conservación y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas de análisis físico-químico, realizado por el personal responsable.

**Calidad de suelo:** Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural antropogénicas.

**Conservación de suelos:** Procedimientos para minimizar los problemas de degradación de los suelos, determinando la forma de uso y manejo más apropiada.

**Degradación del suelo:** Deterioro de la calidad del suelo por alguno o varios de los siguientes procesos: erosión, compactación, contaminación, salinización, acidificación, etc.

**Ecosistema:** Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.

**Escenario de exposición:** Es el área física que comprende el área geográfica en riesgo.

**Evaluación del riesgo ambiental:** Es el proceso mediante el cual se determina si existe una amenaza potencial que comprometa la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano como consecuencia de la exposición a

todos los productos tóxicos presentes en un sitio, incluyendo aquellos compuestos tóxicos presentes que son producto de actividades industriales ajenas al sitio o cualquier otra fuente de contaminación, y define un rango o magnitud para el riesgo.

**Pasivos ambientales:** Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o inactiva y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circulante y la propiedad.

**Receptores:** Organismo de origen humano, animal o vegetal, población o comunidad que está expuesta a contaminantes.

**Riesgo ambiental:** Se define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.

**Ruta de exposición:** Es la trayectoria que sigue un contaminante desde la fuente de emisión hasta el cuerpo receptor identificado como potencialmente expuesto

## 2.4 Marco teórico

### 2.4.1 Definiciones

**Mineral.** Elemento o combinación química formado mediante un proceso inorgánico natural, con una composición química definida con un arreglo de átomos ordenado o estructura cristalina. Mientras que las rocas son mezclas de minerales que pueden tener una composición muy variada.

**Mena.** Se considera mena aquellos minerales que tengan un valor comercial determinado, o que el valor metálico o sus compuestos puedan ser posibles de recuperar por un proceso de beneficio económico.

**Ganga.** Se consideraría al mineral que se encuentra junto a la mena y disminuye la concentración del mineral valioso, esta vendría a ser la parte que se trata de descartar en la etapa de concentración y que no tiene valor comercial.

**Chancado de minerales.** Es la primera etapa de la concentración, proceso mediante el cual el mineral extraído de su fuente de origen en grandes bloques es reducido por medios mecánicos a un tamaño adecuado para su molienda.

**Molienda.** Es la segunda etapa de la concentración, este proceso se inicia en el momento que se recibe los fragmentos homogenizados del chancado para seguir reduciendo su tamaño y conseguir una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm) que permite tener gran porcentaje de las partículas del mineral de manera independiente (Donroso y Garcia, 2000).

**Planta Concentradora de Minerales.** Es la unidad metalúrgica de producción constituida por una serie de equipos y máquinas instaladas donde la mena es alimentada y procesada hasta obtener uno o más productos valiosos denominados concentrados y un producto no valioso denominado relave; en esta etapa de la metalurgia extractiva los minerales no sufren ningún cambio.

**Concentración de minerales.** La concentración de minerales es necesaria para rentabilizar toda la operación minera para ciertos tipos de minerales, logrando disminuir el impacto negativo y del gasto de tratamiento a pesar del costo

adicional y de las pérdidas de recuperación causadas por el proceso de concentración (Dammert, 1997).

**Flotación.** Es el proceso de concentración de minerales en el cual se procura separar las partículas de menas útiles de los estériles o gangas, mediante un tratamiento físico químico que modifica su tensión superficial para lograr que burbujas de aire finamente divididas se adhieran a las primeras y las enriquezca en una espuma.

**Relaves.** Es un conjunto de desechos tóxicos subatómicos, mayoritariamente constituido por una mezcla de tierra, metales y agua, básicamente están conformado por metales en su forma de iones tales como cobre, plomo, zinc, níquel, fierro, arsénico, cadmio, cianuro de sodio (en la minería aurífera), reactivos químicos: Ácidos ( $H_2SO_4$ , ácido sulfúrico), álcalis: Espumas y colectores modificadores: Cianuro de sodio  $NaCN$ , sulfato de sodio  $Na_2SO_3$ , floculantes y coagulantes como sales de aluminio y fierro, compuestos de nitrógeno, provenientes de las voladuras (fragmentación de la roca), aceites y petróleo usado en la lubricación y combustible, sólidos suspendidos, provenientes del agua de la mina, afluentes y otros (Dammert, 1997).

**La bioacumulación.** Es el un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente se analizan (metabolizado) o se excretan los compuestos acumulan en cosas vivas cualquier momento se toman y se almacenan más rápidamente que ellos (Donrroso y Garcia, 2000).

**Contaminación de las aguas.** La contaminación consiste en una modificación de la calidad del agua generalmente provocada por el hombre, 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. (Carta del agua, Consejo de Europa).

**La calidad del agua. Según la OMS (2000),** el agua está contaminada cuando su composición se haya alterada de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural. Una definición de la contaminación del agua dice que el medio acuático está contaminado cuando la composición o el estado del agua están modificados, directa o indirectamente, por el hombre (Ministerio de Medio ambiente, 2000) o por eventos de la naturaleza.

Las filtraciones, los vertidos y la contaminación atmosférica (la lluvia ácida) han originado que, en muchos casos, el agua natural no sea agua potable. Esto ha originado la necesidad de utilizar parámetros de control. Estos parámetros dependen de la procedencia del agua y de su uso (consumo humano, uso industrial, vertidos, etc.).

### **Principales indicadores de calidad del agua**

La forma de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o ratios de las medidas de ciertos parámetros de control tales como los físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que viene definida por ciertos estándares o criterios

**Parámetros físicos:** Características organolépticas, color, olor, sabor, elementos flotantes, temperatura, sólidos conductividad, radioactividad.

**Parámetros químicos:** pH, Materia Orgánica (Carbono orgánico total, COT), DBO, DQO, nitrógeno y compuestos derivados (amoníaco, nitratos, nitritos, etc.), fósforo y compuestos derivados (fosfatos), Aceites y grasas, Hidrocarburos, Detergentes, Cloro y cloruros, Fluoruros, Sulfatos y sulfuros, Fenoles, Cianuros, Haloformos, Metales, Pesticidas, Gases disueltos, Oxígeno, Nitrógeno, Dióxido de carbono, Metano, Ácido sulfhídrico

**Estándares de Calidad Ambiental (ECA).** Es 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. (Ley General del ambiente. (Ley N°28611).

**Límites Máximos Permisibles(LMPs).** Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (Ley General del Ambiente. Ley N°28611).

Con la finalidad de uniformizar a nivel nacional los parámetros contaminantes de agua, el estado ha emitido normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para agua, convirtiéndose en instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

**Los ECA para agua se encuentran clasificados en las categorías:**

**Categoría 1:** Uso poblacional y recreacional.

Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. Aguas superficiales destinadas para recreación.

**Categoría 2:** Actividades marinos costeras.

**Categoría 3:** Riesgo de vegetales y bebidas de animales.

**Categorías 4:** Conservación del ambiente acuático, lagunas y lagos ríos (costa, sierra y selva), ecosistemas marinos costeros

**Aguas residuales.** Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por las actividades humanas y que por su calidad requieren de tratamiento previo antes de ser usadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o al sistema de alcantarillado.

**Metales pesados.** Se conoce como metal pesado a cualquier elemento metálico que tenga una relativa alta densidad (igual o superior a  $5 \text{ g/cm}^{-3}$ , cuando está en forma elemental o cuyo número atómico (Z) es superior a 20 y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas.

Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor de 0.01% (Donrroso y Garcia, 2000).

Hay dos grupos de metales pesados los cuales son:



**Grupo I. Metales pesados Oligoelementos o micronutrientes.** Dentro de este grupo de metales pesados están el As, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se, y Zn, elementos que se encuentran en muy bajas concentraciones en el suelo y agua, pasado cierto umbral biológico se vuelven tóxicos.

La ausencia de estos elementos causa enfermedades y su exceso intoxicaciones (Ahumada & Contreras, 2002)

Este tipo de metales son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales puesto que son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pasado cierto límite se vuelven tóxicos.

**Grupo II. Metales pesados sin función biológica conocida.** Son aquellos metales pesados cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos, resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse, dentro de este grupo tenemos al mercurio, cadmio, arsénico, cromo, talio, y el plomo, en un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire como elementos de rastro, algunos metales pesados (ejemplo cobre, selenio, cinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento (Ahumada & Contreras, 2002) .

Cabe resaltar que el envenenamiento por metales pesados podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable con aguas de relaves, tuberías del plomo, las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena de alimentos.

### **Efectos de los metales pesados en el ambiente y la salud.**

Se sabe muy poco sobre los efectos de los metales en los ecosistemas. En los lugares en que aguas de drenaje de minas fluyen en cursos de agua dulce se producen con frecuencia efectos ecológicos evidentes como, por ejemplo, una gran reducción de la fauna invertebrada y la ausencia de peces, así como la desaparición de la flora acuática

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática; es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio (capacidad de interacción de un contaminante en el sistema biológico). Los metales que se bioconcentran (concentración del contaminante en los tejidos de la biota con la concentración de ese mismo contaminante en el medio) en las algas marinas son el aluminio, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo y zinc. En la biota acuática se acumulan principalmente el cadmio y el mercurio; el manganeso en el esqueleto de los peces (Glynn & Heinke, 1999).

Esta acumulación depende de la acidez del medio acuoso y de la disminución de la concentración acuática del calcio.

Los metales que tienen más probabilidades de causar problemas en la salud de las personas son el cobre, el cadmio, el mercurio, el manganeso, el cobalto y el níquel. Se les consideran tóxicos si resulta perjudicial para el crecimiento o el metabolismo de las células al exceder cierta concentración, algunos de ellos constituyen venenos graves incluso a concentraciones muy bajas (Harte J., 1991).

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, y si esta se halla reducida finamente aumenta las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Cervantes C., 2010).

La toxicidad de un metal depende de su vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células.

**Contaminación por metales pesados.** Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicos 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 ingerido 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 (Harte J., 1991).

El plomo es un metal escaso en la corteza terrestre, se calcula que representa el 0.00002%, tiene un punto normal de fusión de 327.4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11.35 g/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. Se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo,  $PbS$ ) que se utiliza como mena del plomo, la anglosita (sulfato de plomo II,  $PbSO_4$ ) y la cerusita (carbonato de plomo,  $PbCO_3$ ). Gran

parte del plomo se obtiene por reciclado de chatarras como las placas de baterías y de las escorias industriales como soldaduras, metal para cojinetes, recubrimientos de cables, etc. (Balvin Diaz, 1995).

Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Cerca del 10 % del plomo ingerido es excretado en la orina y en menor cantidad en el sudor, en el pelo y en las uñas. El 90 % del plomo que se encuentra en el cuerpo humano se deposita en el esqueleto óseo y es relativamente inerte, y el que pasa a través del torrente sanguíneo puede depositarse en los tejidos.

Los signos más comunes de intoxicación por plomo son los gastrointestinales, sus síntomas comprenden anorexia, náusea, vómito, diarrea y constipación, seguida de cólicos.

La Organización Mundial de la Salud recomienda que para los niños el nivel de plomo en sangre no debe rebasar los 30 mg/100 mL de sangre y tomar medidas drásticas cuando el nivel de plomo en la sangre de los adultos alcanza los 40 mg/100 mL de sangre. Limitan la exposición a compuestos inorgánicos de plomo a 50 mg/m<sup>3</sup> de aire durante un tiempo promedio de 8 horas para un trabajador sin mascarilla para respirar. Las medidas sanitarias para controlar la exposición a compuestos de plomo recomiendan el uso de ventilación, de mascarillas para respirar y ropa apropiada. (Gonzales A. et al., 2004)

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, por lo que en la

Edad Media se utilizaban como agentes de asesinato y de suicidio. 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. El mercurio se utilizaba como componente de las amalgamas dentales.

Los investigadores han encontrado que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser mutilados (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.

**La contaminación del agua por mercurio.** Es producida por industrias químicas que producen cloro, fungicidas, pinturas, plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio,  $\text{HgS}$ ), 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 (Glynn & Heinke, 1999).

**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 aleación de fierro, en la producción de fierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares.

El cadmio es tóxico para todas las formas de vida y en el hombre puede provocar daños en el aparato digestivo, riñones y en los huesos (produce descalcificación 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 (Cervantes C., 2010)

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

**La contaminación del agua por arsénico.** El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico.

El alto nivel de arsénico inorgánico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados.

La exposición prolongada al arsénico inorgánico, principalmente a través del consumo de agua contaminada o comida preparada con esta y cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico puede causar intoxicación crónica. Los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas y cáncer de piel.

El arsénico representa una amenaza importante para la salud pública cuando se encuentra en aguas subterráneas contaminadas. Las principales fuentes de exposición son: el agua destinada a consumo humano, los cultivos regados con agua contaminada y los alimentos preparados con agua contaminada.

Los pescados, mariscos, carnes, aves de corral, productos lácteos y cereales también pueden ser fuentes alimentarias de arsénico, aunque la exposición a través de estos alimentos suele ser muy inferior a la exposición a través de aguas subterráneas contaminadas. En el marisco, el arsénico está presente principalmente en su forma orgánica menos tóxica.

Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como

entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte.

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC.

**Origen doméstico y urbano.** Las aguas residuales provenientes del uso doméstico de las urbes y ciudades son portadoras de metales pesados; estos tipos de vertidos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. 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 (Manual de Contaminación Ambiental, 1994)



Las emanaciones gaseosas hacia la atmosfera que son producidas por el parque automotor, no solo afectan a las ciudades donde se desarrollan estas, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales que se vierten a la atmosfera son mayoritariamente el Cd, Cu, Ni, Pb y Zn, siendo el Pb el más abundante proviene de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste por rozamiento entre el suelo y los neumáticos. Los 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: i) a través de la precipitación de partículas por causa de la lluvia, ii) indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes) donde previamente se produjo la deposición por efecto de la escorrentía superficial de las aguas de lluvia y de los riegos que se producen en las ciudades (Moreno, 2003).

Cabe resaltar que el problema más severo de contaminación que genera la explotación minera es el «drenaje ácido de roca» o ARD (Acid Rock Drainage) que es una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo. Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, existe la necesidad de prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado (Aduvire, 2006).

Los ARD son sustancias acuosas tóxicas en diverso grado para el hombre, la fauna y la vegetación, contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores mineras, procesos

de concentración de minerales, presas de residuos y escombreras de mina (PAMs). Existen reportes de la muerte de miles de peces y crustáceos de ríos, afecciones al ganado y destrucción de cultivos y riveras, así como la introducción de una coloración y turbiedad en aguas de ríos y lagos (Aduvire, 2006).

Los drenajes ácidos de roca además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre. Debido al elevado coste que representa el tratamiento en depuradoras convencionales, es necesario buscar una solución a este problema (Aduvire, 2006).

Las principales fuentes de generación de drenaje ácido de roca son:

- Labores subterráneas
- Acopios de estériles o Minerales económicos
- Rajos abiertos (= cortas)
- Pilas de lixiviación
- Vertientes naturales
- Depósitos de relaves

**Tabla 1**

Límites Máximos Permisibles para Minería

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite en cualquier momento</b>	<b>Límite para el promedio anual</b>
Ph		6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo	mg/L	0.1	0.08
Hexavalente			
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

**Fuente:** D.S N° 010-2010-MINAM

**CAPÍTULO III:**  
**PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

### **3.1. Metodología**

La metodología empleada ha consistido en estructurar la investigación en tres etapas:

- Etapa de campo: En ella se efectuó el reconocimiento de la cancha de relaves, la identificación de puntos donde aparentemente se observa contaminación de las aguas del río para continuar con la toma de muestras; para tal evento, se siguió las pautas implementadas en el protocolo nacional del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales diseñados por el ANA.
- Etapa de gabinete o de laboratorio: Consistió en la realización de los análisis químicos de las muestras obtenidas dentro de área de interés con la finalidad de determinar la concentración de tres elementos metálicos, plomo, cadmio, arsénico.
- Etapa de procesamiento de la información: proceso en que se ha realizado el tratamiento estadístico, probabilístico e inferencial de los análisis químicos.

#### **3.1.1 Método**

El método que se ha empleado en la investigación es analítico

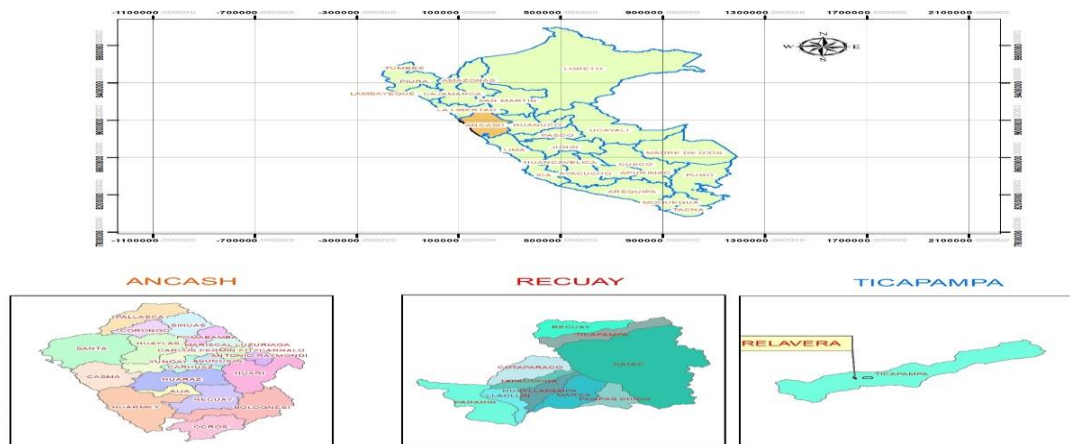
##### **3.1.1.1 Ubicación geográfica.**

El río Santa pertenece la Región Hidrográfica del Pacífico como parte de la Unidad Hidrográfica 137, que se ubica entre  $-7.967620$ ,  $-10.226387$  latitud sur y  $-78.645365$ ,  $-77.169280$  longitud oeste, cuenta con pisos ecológicos desde el nivel del mar hasta 6,768 msnm que corresponde a la parte más elevada del nevado Huascarán, tiene una extensión de 11,596.5153 Km<sup>2</sup>, su longitud es de

aprox. 320 Km, perímetro de 960.32 Km y un ancho de 38 Km (Autoridad Nacional del Agua, 2008).

El área de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Ticapampa, provincia de Recuay, departamento de Ancash (altura del Km 173- 174 carretera Pativilca

—  
f  
u  
a  
r  
a  
z  
)



**Figura 1:**

Ubicación de la relavera

**Fuente:** Propia

### ***3.1.1.2 Procedimientos para la toma de muestras.***

**Puntos de muestreo.** Antes de pasar a tomar las muestras de las aguas del río Santa, previamente se recorrió la ribera del río desde la progresiva km. 172 hasta el Km. 174 de la carretera Pativilca – Huaraz, habiéndose identificado visualmente 10 puntos que aparentemente mostraban contaminación.

**Tabla 2**

Coordenadas UTM de los puntos muestreados

Coordenadas	UTM,	Zona	18L
DATUN: WGS84			
Puntos	ESTE	SUR	
1	232,069.51	8,920,436.82	
2	232,057.00	8,920,453.00	
3	232,051.15	8,920,628.02	
4	232,032.32	8,920,672.00	
5	232,011.09	8,920,737.82	
6	231,987.68	8,920,830.80	
7	231,942.00	8,920,960.21	
8	231,899.24	8,921,059.90	
9	231,801.62	8,921,209.20	
10	231,769.09	8,921,259.34	

Fuente: Propia

**Accesibilidad:** Los puntos de muestreo han sido ubicados en lugares de fácil acceso, de tal manera que facilitó obtener las muestras, transportar equipos, recipientes y materiales de muestreo.

**Representatividad:** La recolección de las muestras se ha realizado de manera que sea lo más representativo posible de las características generales del cuerpo de agua. Esto significa, que ha sido necesario que el cuerpo de agua se encuentre totalmente mezclado con el contaminante en el punto donde se ha tomado la muestra; evaluando

la turbulencia, velocidad y apariencia física del mismo para asegurar la homogeneidad de la muestra. Cabe señalar, que una excesiva turbulencia puede afectar los valores de algunos parámetros como oxígeno disuelto y pH.

**Identificación:** El punto de muestreo ha sido identificado claramente.

**Registro de datos de campo:** Se ha elaborado la ficha de registro de campo para ser utilizada en el monitoreo posterior que contiene la siguiente información:

Coordenadas UTM del punto de muestreo, origen de la fuente, descripción clara y definida del punto de muestreo, hora y fecha de muestreo, localidad, distrito, provincia y departamento.

Se ha registrado todas las mediciones realizadas en el monitoreo, los parámetros tomados en cuenta fueron el pH y la temperatura del agua en cada punto del muestreo.

Para determinar el pH, se ha usado del papel indicador de pH y para la temperatura un termómetro digital.

**Identificación de las muestras de agua:** Antes de la toma de muestra los recipientes fueron etiquetados con letra clara y legible la cual fue protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

- Número de Muestra
- Código de identificación
- Origen de la Fuente.
- Descripción del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.



- Tipo de análisis requerido.

- Nombre del responsable del muestreo.

**Conservación y envío de las muestras de agua.** Las muestras recolectadas se conservaron en cajas térmicas a temperatura recomendada, disponiendo para ello con preservantes de temperatura.

La determinación de la concentración (mg/L) de los metales pesados en el cuerpo del agua, se ha realizado mediante el análisis químico de la espectrometría de absorción atómica.

**Análisis de aguas:** En la presente investigación se han realizado 30 análisis químicos para determinar la concentración de los elementos metálicos pesados.

a) Diez análisis de aguas para la determinación de plomo:

b) Diez análisis de aguas para la determinación de arsénico:

c) Diez análisis de aguas para la determinación de cadmio.

### **3.1.2 Tipo de investigación**

De acuerdo con las características del estudio seleccionado, el tipo de investigación corresponde a teórica aplicada.

### **3.1.3 Nivel de investigación**

La investigación, debido a sus características de estudio, reúne las condiciones de explicativo-correlacional y transversal.

Es transversal, porque se “recolectan los datos en un solo momento en un tiempo único, su propósito es describir las variables y analizar su incidencia e

interrelación en un momento dado” (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014, p.151) este tipo de diseño se ajusta a la presente investigación dado que se ha tenido un tiempo limitado y toda la información fue recolectada en un solo momento, fue como tomar una foto.

Es explicativo – causal, porque según Kerlinger (1983), es “un tipo de investigación concluyente que tiene como principal prioridad obtener evidencias de la relación causa y efecto de un fenómeno” p. 204.

### **3.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental.

La investigación se desarrolló con una estrategia que permita comprobar las hipótesis planteadas, para ello se realizó un diagnóstico situacional del área delimitada de estudio, donde se conozca la situación de las variables ambientales.

### **3.3 Hipótesis de la investigación**

#### **3.3.1 Hipótesis general.**

La concentración del Pb, Cd y As, presentes en las aguas del río Santa en el área de potencial interés, superan los ECA para agua; en consecuencia, generan su contaminación.

#### **3.3.2 Hipótesis específicas**

El consumo de las aguas del río Santa en el área de potencial interés al contener Pb, Cd, As con alto grado de concentración producen efectos negativos a la salud.

Las aguas del río Santa al contener elementos metálicos pesados que superan los ECA para agua degradan el sistema acuático.

### **3.4 Variables de investigación.**

#### **3.4.1 Variable independiente.**

X: La concentración de los metales pesados en las aguas del río Santa en el área de potencial interés superan los ECA para agua.

#### **3.4.2 Variable dependiente.**

Y: Las aguas del río Santa en el área de potencial interés al contener metales pesados que superan los ECA para agua, están contaminadas y su consumo puede ser dañino para la salud.

### 3.4.3 Operacionalización de variables

<b>Variable independiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Valorización</b>
X: La concentración de los metales pesados en las aguas del río Santa en el área de potencial interés superan los ECA para agua.	Razón: Soluto/disolvente (mg/L)	Presencia de Pb, Cd, As en las aguas del río Santa	Análisis químico de las aguas del río	Cumplimiento de los ECA
<b>Variable dependiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Valorización</b>
Y: Las aguas del río Santa en el área de potencial interés al contener metales pesados que superan los ECA para agua, están contaminadas y su consumo puede ser dañino para la salud.	Salud de las personas que consumen las aguas Presencia de vida animal y vegetal	Reporte del muestreo de análisis de la salud de la población. Nula presencia de vida acuática	Análisis químicos de las aguas, estadísticas de enfermedades.	Resultados con presencia de As, Pb, Cd, en el análisis de salud de los pobladores

### **3.5 Cobertura del Estudio**

#### **3.5.1 Universo**

El universo está conformado por las aguas del río Santa

#### **3.5.2 Población**

Está representada por las aguas del río Santa, aguas abajo entre la ciudad de Ticapampa – Recuay

#### **3.5.3 Muestra**

Se conforma de 10 muestras tomadas de las aguas del río Santa, seleccionados aleatoriamente ubicados entre el Km. 172 hasta el Km. 174 de la carretera Pativilca – Huaraz, especialmente donde macroscópicamente se observa la presencia de contaminantes.

#### **3.5.4 Muestreo**

Se ha realizado el muestreo de tipo identificación debido a que el objetivo es investigar la existencia de contaminantes en las aguas del río Santa a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer la casusa – efecto, y establecer si las aguas superan o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo.

Los resultados analíticos del muestreo de identificación serán comparados con los ECA para agua. Si los valores detectados en el agua superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el agua está contaminada y se procede con la fase de caracterización.

### **3.6 Técnicas e instrumentos**

#### **3.6.1 Técnicas de la investigación**

La técnica que se ha utilizado ha sido el del muestreo y análisis químico de las aguas del río Santa en la zona de potencial interés siguiendo la técnica de la absorción atómica, cumpliendo con los protocolos internacionales y nacionales.

#### **3.6.2 Instrumentos de la investigación**

- Instrumentos mecánicos, para la toma de muestras de parámetros físicos, químicos del agua.
- Instrumentos digitales, para precisar los puntos de muestreo de campo y realizar la ubicación geográfica, para la caracterización de los pasivos ambientales (GPS)
- Equipo de medición portátil multipropósito

#### **3.6.3 Fuentes**

Las fuentes que se han utilizado en la presente investigación han estado constituidas por libros, videos, revistas, páginas web y otros relacionados con la contaminación ambiental.

### **3.7 Procesamiento estadístico de la información.**

#### **3.7.1 Estadísticos**

Luego de obtener los resultados de los análisis químicos analíticos mediante el cual se ha identificado y medido la concentración de cada uno de los tres elementos metálicos pesados presentes en las aguas del río Santa, estos han sido objeto de un proceso estadístico paramétrico para determinar las medidas

de tendencia central (media, moda, mediana), de dispersión (desviación estándar, varianza) y finalmente de un análisis probabilístico.

### 3.7.2 Representación

Los resultados se representan gráficamente en un sistema de coordenadas cartesianas, constituidas por barras, rectas y curvas de distribución.

### 3.7.3 Técnica de comprobación de hipótesis

Antes de proceder con la prueba de hipótesis se ha comprobado la normalidad de las distribuciones utilizando el test de Anderson – Darling.

Teniendo en cuenta que uno de los parámetros para medir la calidad del agua superficial es el valor ECA de los elementos metálicos presentes, se ha planteado la siguiente hipótesis:

**HIPÓTESIS NULA (Ho)** :  $\mu =$  al valor de los ECA

**HIPÓTESIS DEL INVESTIGADOR(H1)** :  $\mu \neq$  al valor de los ECA

Donde:

$\mu$  = representa la media poblacional y se le ha asignado el valor del ECA para Agua, Categoría 1, Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas Superficiales destinadas a la producción de agua potable de cada elemento metálico; seguidamente, se ha procedido a realizar el contraste de hipótesis utilizando la Distribución t de Student, puesto que es el estadístico que se adapta a las características de la muestra ya que su número de elementos(n) es diez (10); en tal sentido, los grados de libertad(n-1) es igual a nueve (9). La prueba de hipótesis se ha realizado tomando como parámetro de contraste la media poblacional ( $\mu$ ) versus la media de la muestra ( $\bar{x}$ ).

**NIVEL DE CONFIANZA(1- $\alpha$ ):**

El nivel de confianza se ha fijado al 95% ( $1-\alpha=0.95$ ).



**NIVEL DE SIGNIFICANCIA O NIVEL DE RIESGO( $\alpha$ ):**

Dado que el nivel de confianza es al 95%, el nivel de significancia o nivel de riesgo resulta igual al 5% ( $\alpha = 0.05$ ).

**REGLA DE LA DECISIÓN**

Si, el valor del nivel de significancia- P-valué es menor que  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis del investigador ( $H_1$ ).

Si, el valor del nivel de significancia-P-valué es mayor a  $\alpha$ , se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ .

Los resultados del contraste de las hipótesis, muestran que en los tres elementos metálicos pesados el valor de P-valué es menor de 0.05, concluyéndose que los valores de la concentración de cada uno superan los ECA para agua; en tal sentido; existe suficiente evidencia estadística para poder afirmar que las aguas del río Santa dentro del área de influencia de los relaves se contaminan por causa de los metales pesados proveniente de los residuos sólidos denominados relaves que se ubican al margen derecho del río a la altura de la ciudad de Ticapampa - Recuay – Ancash

**CAPÍTULO IV:**  
**ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### 4.1 Resultados

Para la evaluación de la calidad del agua y determinar la presencia de elementos metálicos como Pb, Cd, As, se ha realizado la toma de muestras de las aguas del río en diez (10) puntos diferentes dentro del área de potencial interés, posteriormente las muestras fueron trasladadas a las instalaciones del Laboratorio TMS para proceder con el análisis químico e identificar los elementos pesados, así como el valor de la concentración de cada uno ellos siguiendo la técnica de la absorción atómica; los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

Resultados de los análisis químicos

<b>N°</b>	<b>Muestra</b>	<b>Arsénico (As)</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Cadmio (Cd)</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Plomo (Pb)</b> <b>(mg/L)</b>
1	Punto 01	0.025	0.029	0.0278
2	Punto 02	0.035	0.035	0.035
3	Punto 03	0.043	0.0389	0.045
4	Punto 04	0.059	0.0456	0.065
5	Punto 05	0.069	0.0657	0.123
6	Punto 06	0.076	0.0798	0.145
7	Punto 07	0.065	0.0674	0.156
8	Punto 08	0.053	0.047	0.145
9	Punto 09	0.042	0.0342	0.098
10	Punto 10	0.025	0.0268	0.0589

**Fuente:** Laboratorio de Tecnología de Materiales y Suelos

#### **4.1.1 Caracterización de las aguas del río Santa**

Los resultados de los análisis químicos (Tabla 3) muestran que el pH (6.5-8.5) se encuentra dentro de los valores fijados por los ECA, para agua, Categoría 1 Poblacional y Recreacional Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, deduciéndose que el agua tiene características alcalinas.

Debemos tener presente que las aguas alcalinas no son buenas para el riego de vegetales porque causan obstrucciones en los diferentes componentes de un sistema de suelo agrícola y no permite una adecuada absorción de los nutrientes presentes en el agua y suelo.

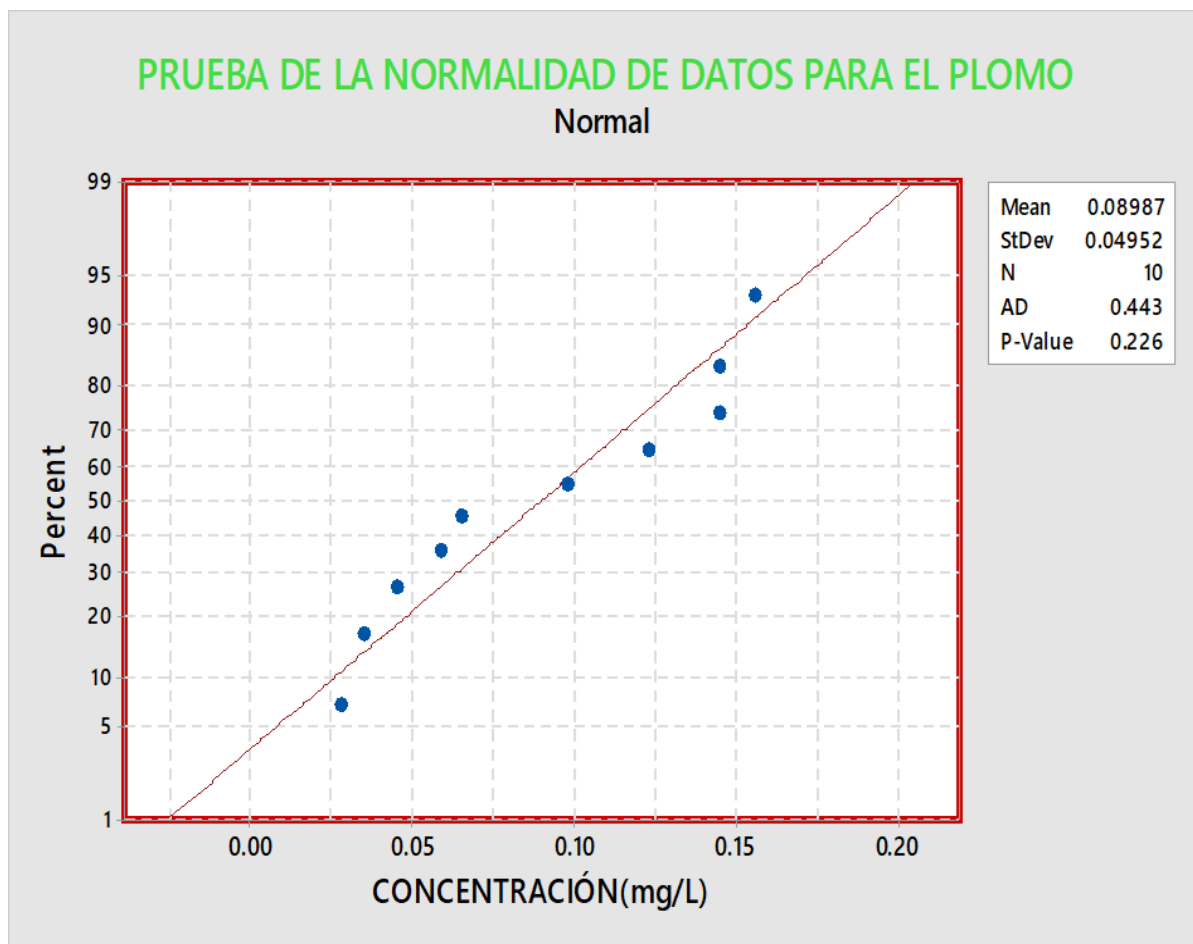
Asimismo, los análisis químicos indican que la concentración del Pb, Cd y As en el área de potencial interés superan los límites establecidos por el ECA para Agua (Categoría I, Poblacional y Recreacional) Subcategoría A: Aguas Superficiales destinadas a la Producción de Agua Potable, que fija en 0.010 mg/L para el plomo y el arsénico y 0.003 mg/L para el cadmio, concluyéndose que el agua contiene elementos pesados cuyas concentraciones exceden los ECA.

## 4.2 Discusión de los Resultados

### 4.2.1 CONCENTRACIÓN DEL PLOMO

Figura 2

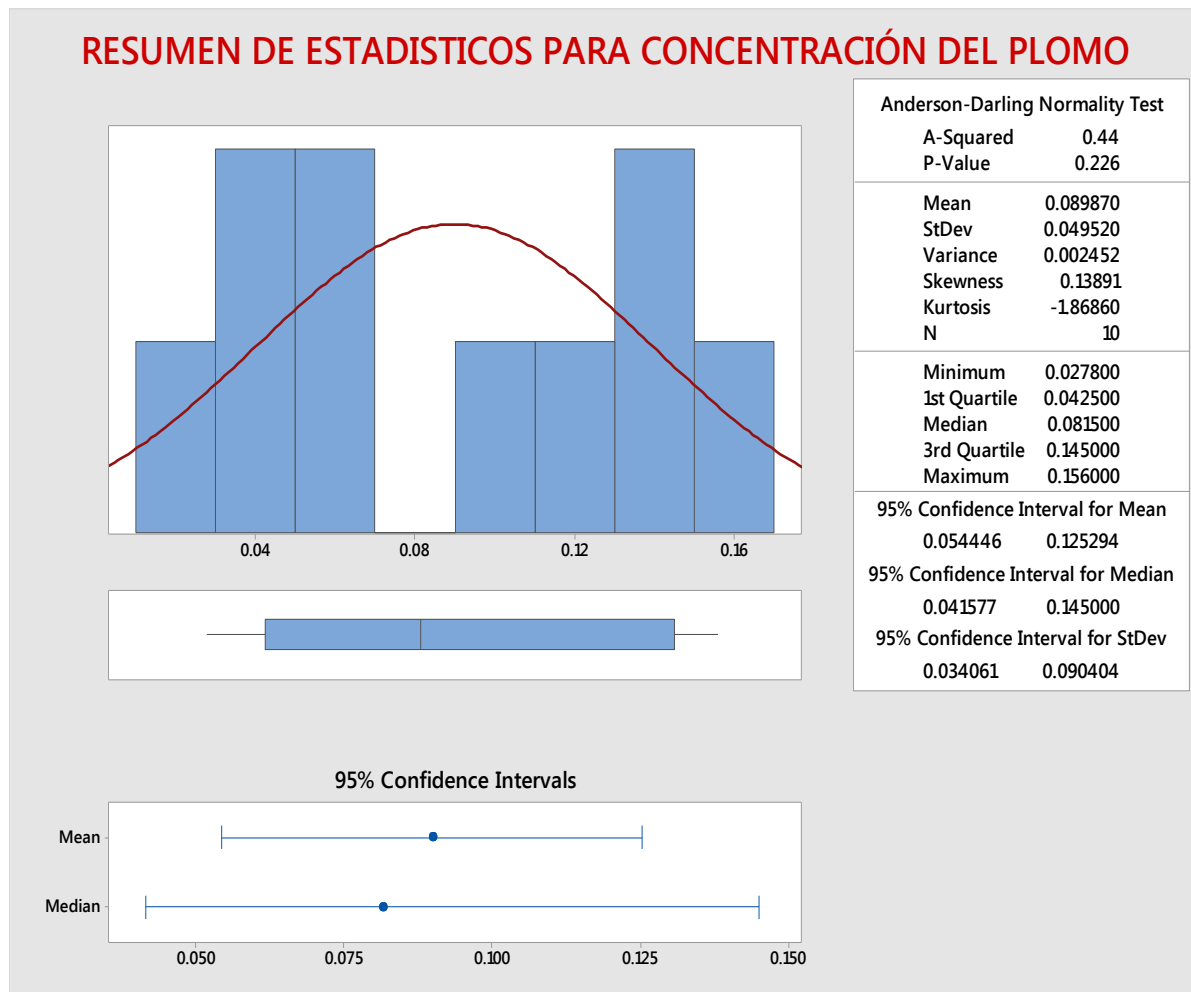
Prueba de normalidad de datos para el plomo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

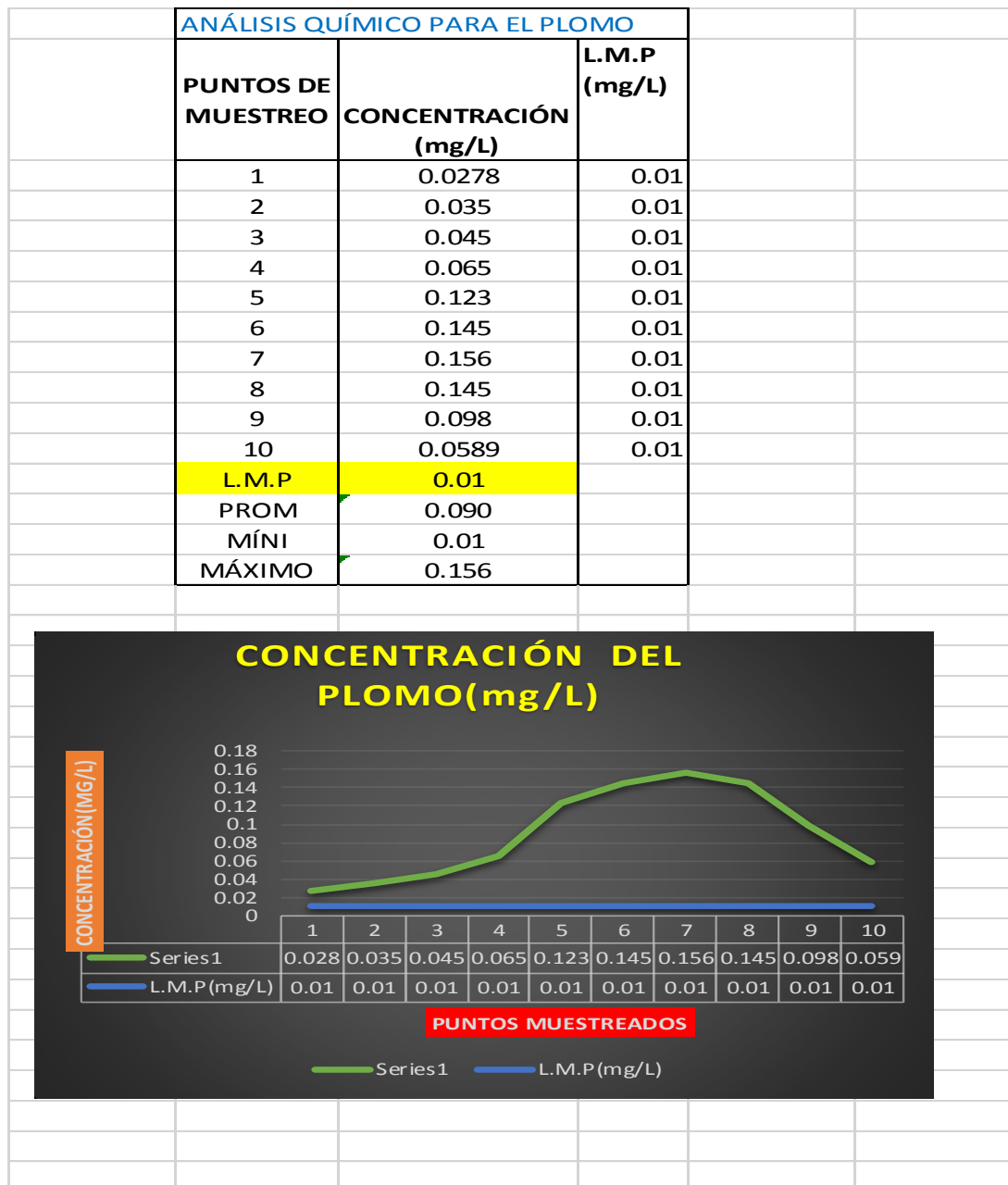
Prueba de Anderson – Darling para el plomo



Fuente: Elaboración propia

Figura 4

Variación de la concentración del plomo



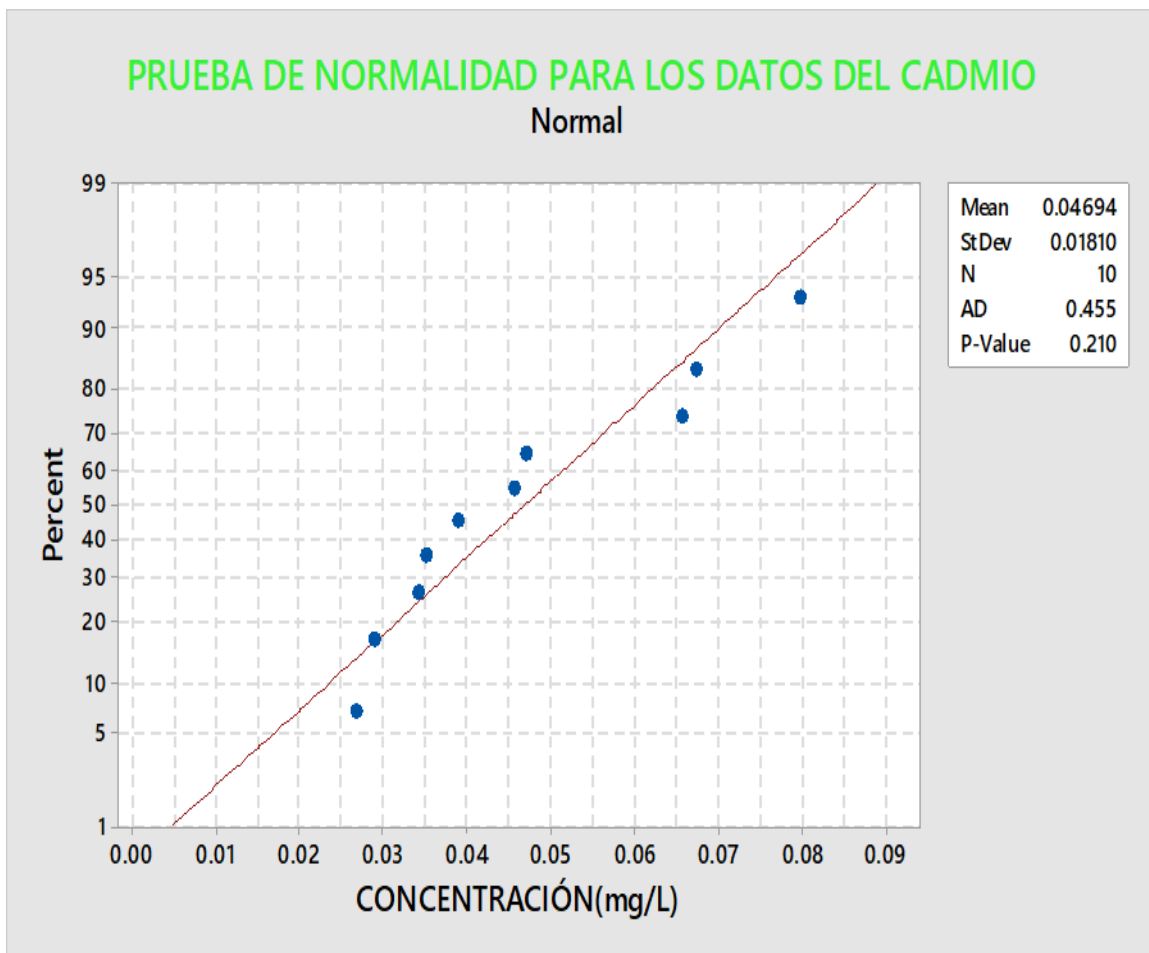
Fuente: Elaboración propia



## 4.2.2 CONCENTRACIÓN DEL CADMIO

Figura 5

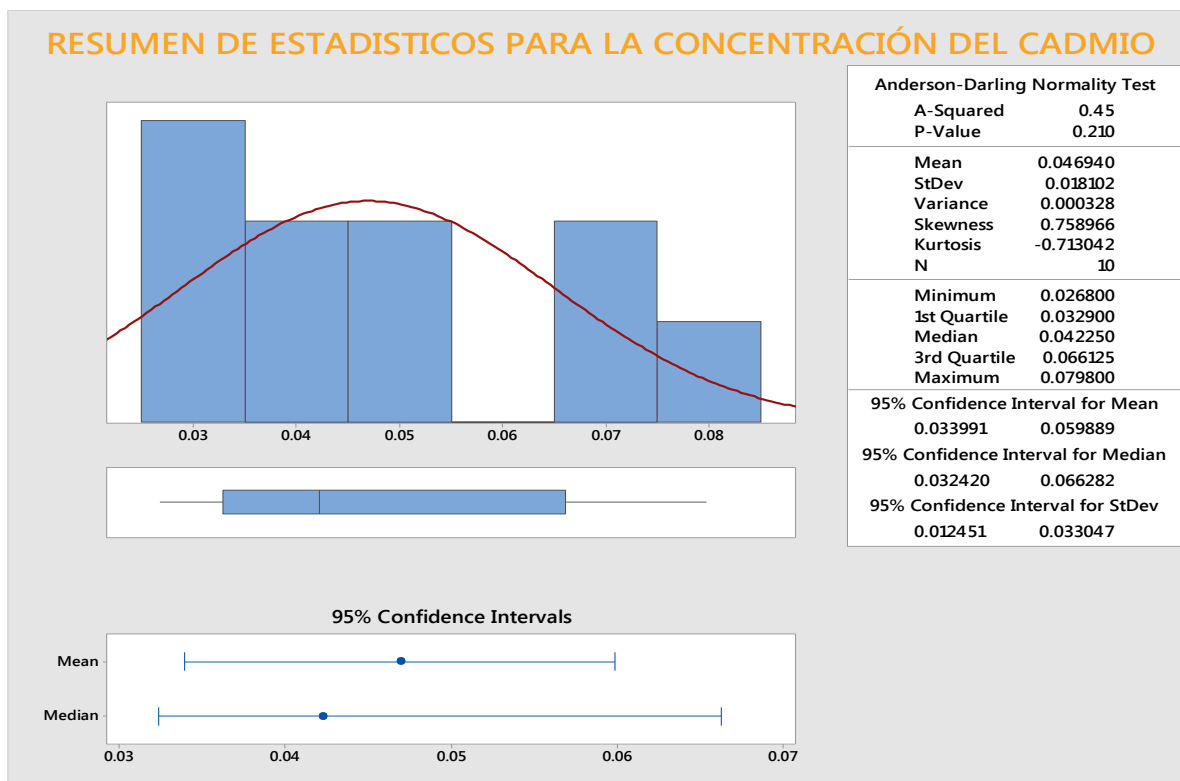
Prueba de normalidad para los datos del cadmio



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6**

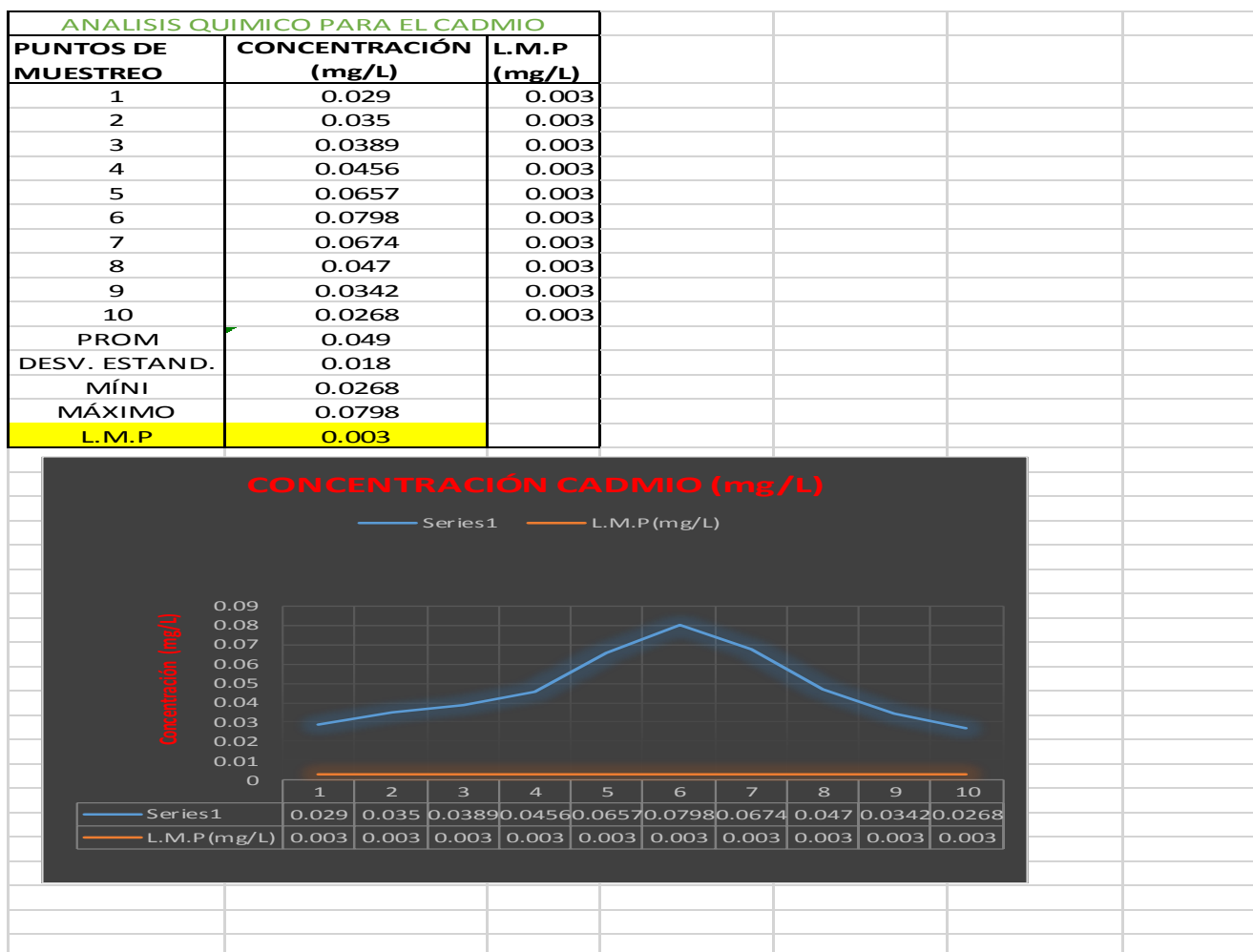
Prueba de Anderson - Darling para el cadmio



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 7

Variación de la concentración del cadmio

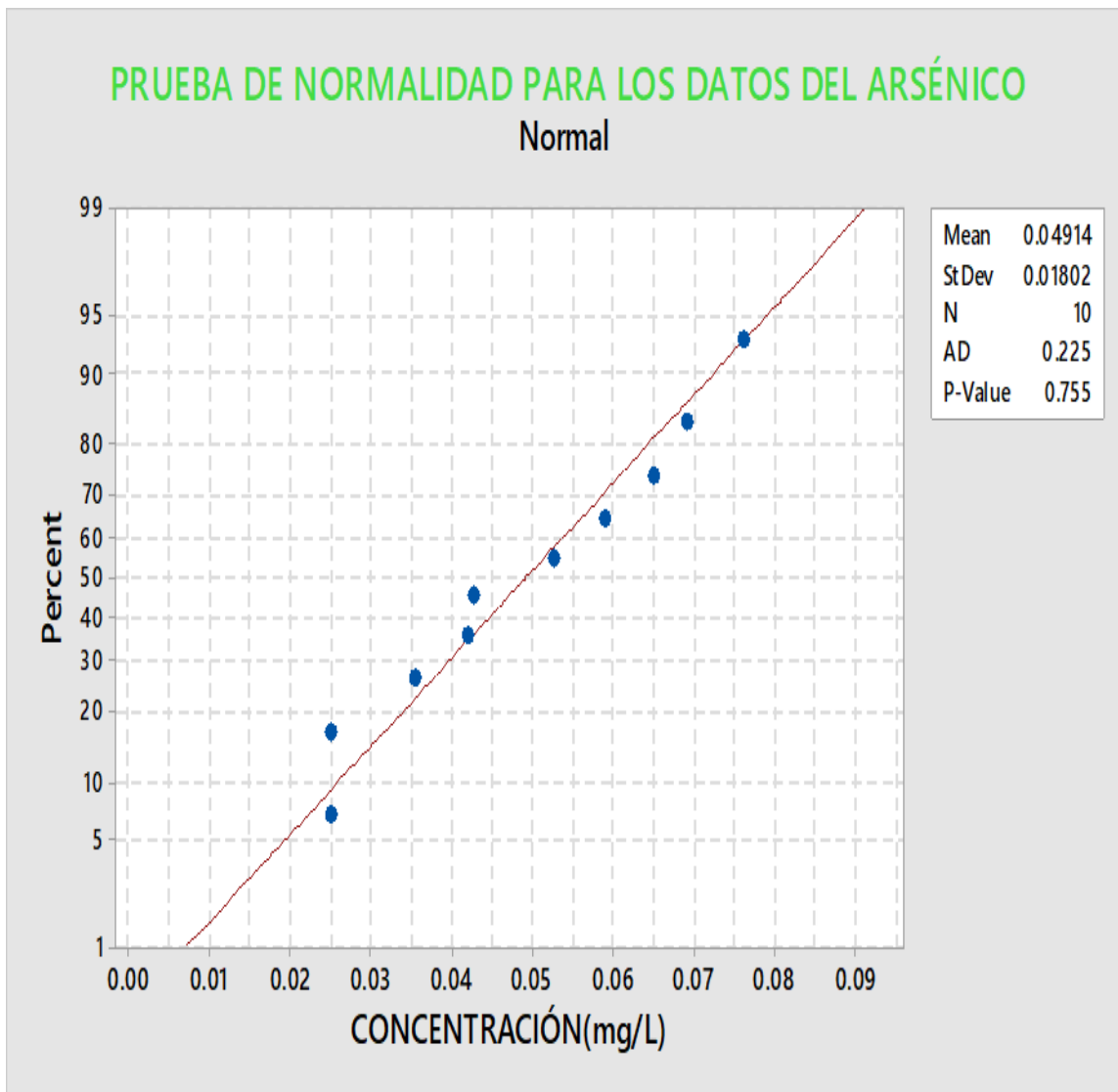


Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3 CONCENTRACIÓN DEL ARSÉNICO

Figura 8

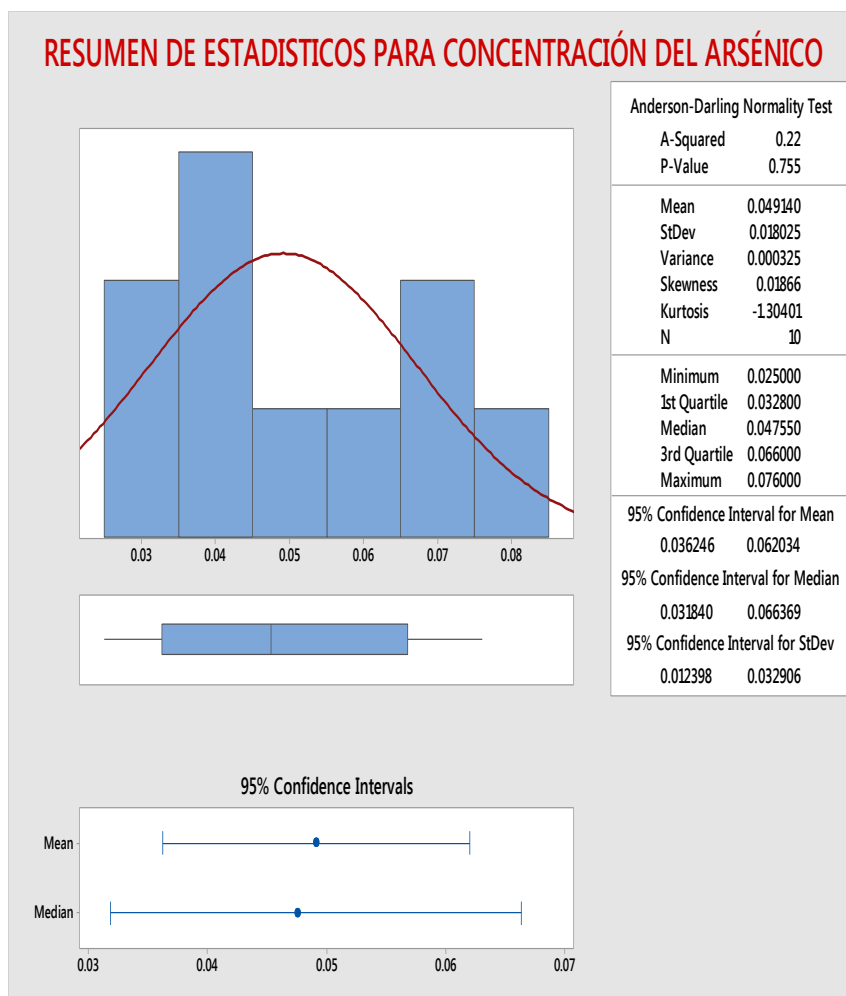
Prueba de normalidad del arsénico



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9**

Prueba de Anderson - Darling para el arsénico



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 10**

Variación de la concentración del arsénico



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3 Contrastación de hipótesis

#### 4.3.1 HIPÓTESIS PARA EL PLOMO

HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ) :  $\mu = 0.01$

HIPÓTESIS DEL INVESTIGADOR ( $H_1$ ):  $\mu \neq 0.01$

#### PRUEBA DE HIPÓTESIS

One-Sample T: C2

Descriptive Statistics

	Me	StD	SE	
N	an	ev	Mean	95% CI for $\mu$

1	0.0	0.0	0.015	(0.0544;
0	899	495	7	0.1253)

$\mu$ : mean of C2

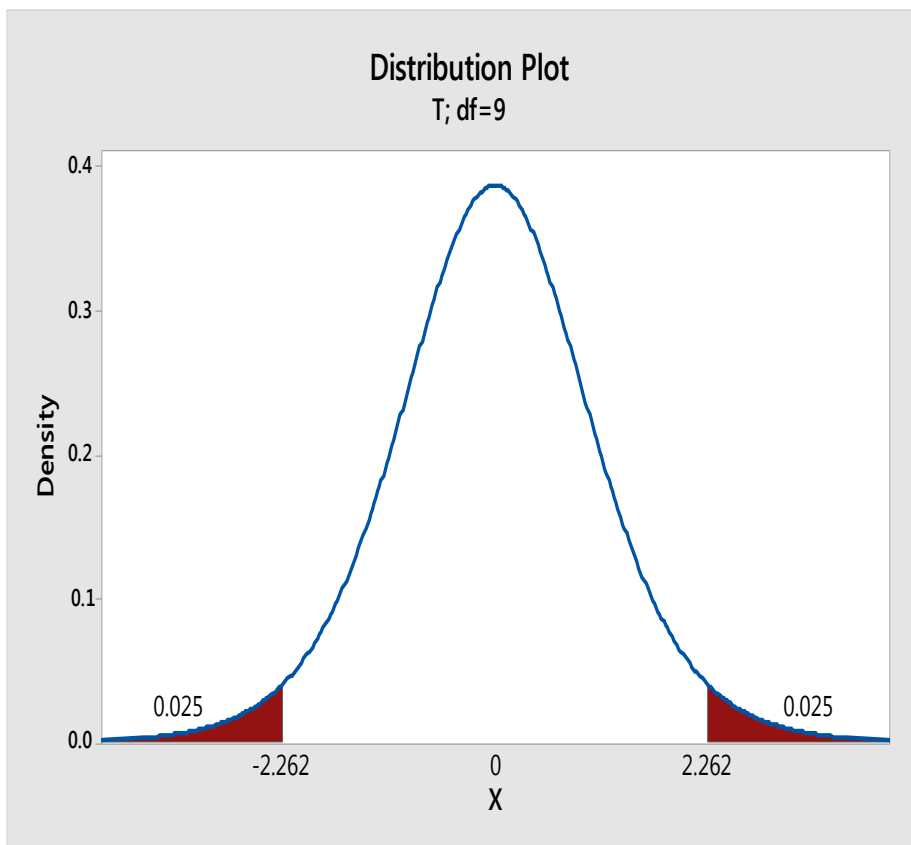
#### Test

Null hypothesis  $H_0$ :  $\mu =$   
0.01

Alternative  $H_1$ :  $\mu \neq$   
hypothesis 0.01

T-Value P-Value

5.10	0.001
------	-------





### 4.3.2 HIPÓTESIS PARA EL CADMIO

**HIPÓTESIS NULA (H<sub>0</sub>) :  $\mu = 0.003$**

**HIPÓTESIS DEL INVESTIGADOR(H<sub>1</sub>):  $\mu \neq 0.003$**

### PRUEBA DE HIPÓTESIS

One-Sample T: CONCENTRACIÓN(mg/L)

Descriptive Statistics

	Mea	StDe	SE	
n	v	Mean	95% CI for $\mu$	
1	0.04	0.01	0.005	(0.03399;
0	694	810	72	0.05989)

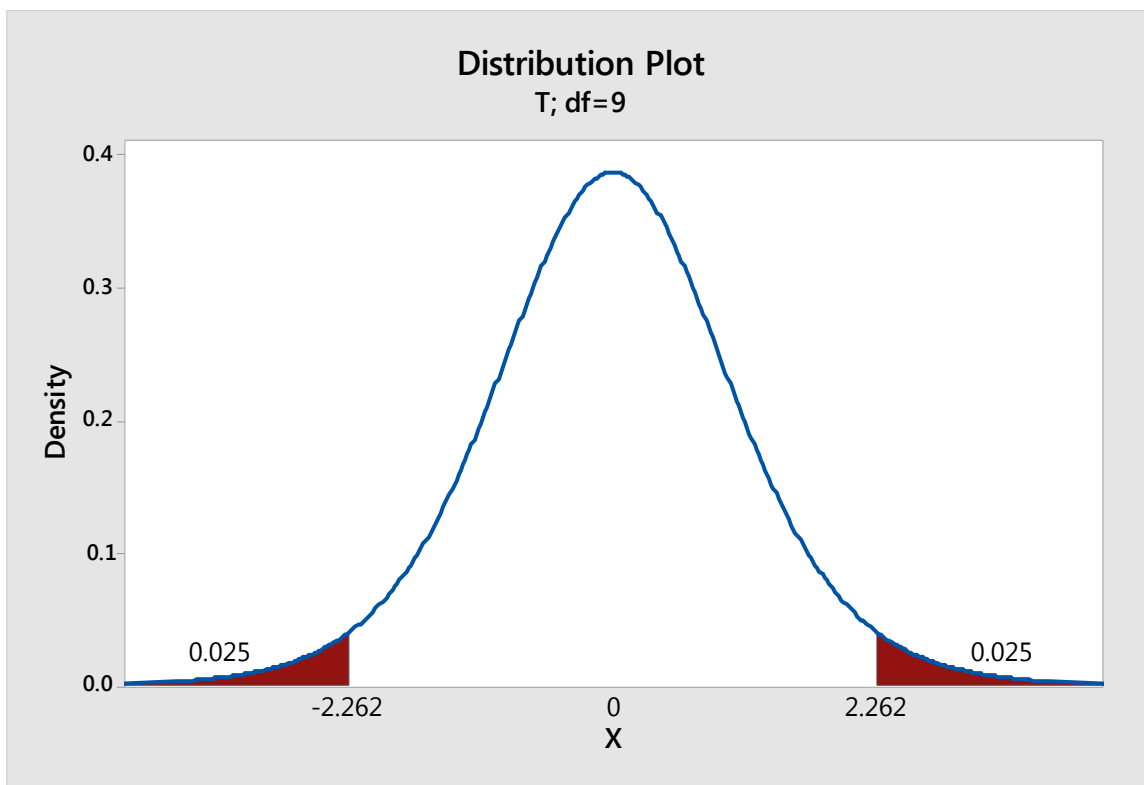
$\mu$ : mean of CONCENTRACIÓN(mg/L)

### Test

Null hypothesis  $H_0: \mu =$   
0.003

Alternative  $H_1: \mu \neq$   
hypothesis 0.003

T-	P-
Value	Value
7.68	0.000



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3.3 HIPÓTESIS PARA EL ARSÉNICO

HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ) :  $\mu = 0.01$

HIPÓTESIS DEL INVESTIGADOR( $H_1$ ) :  $\mu \neq 0.01$

### PRUEBA DE HIPÓTESIS

One-Sample T: CONCENTRACIÓN(mg/L)

Descriptive Statistics

$\mu$ : mean of CONCENTRACIÓN(mg/L)

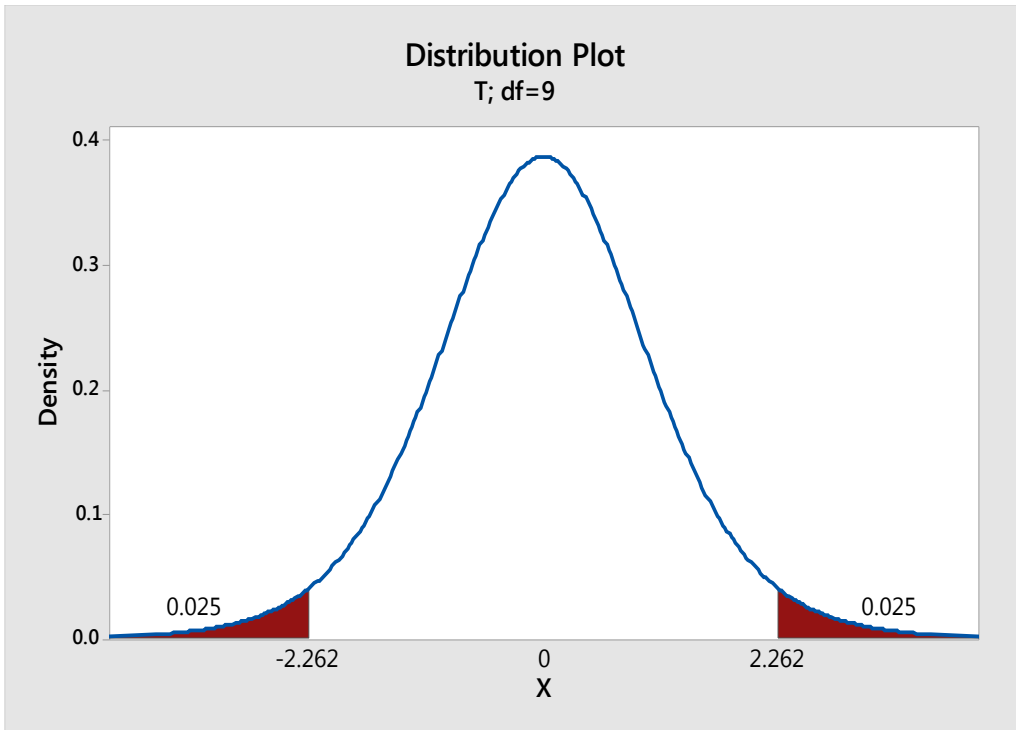
Test

Null hypothesis  $H_0: \mu = 0.01$

Alternative hypothesis  $H_1: \mu \neq 0.01$

T-Value P-Value

6.87 0.000



## CONCLUSIONES

1. La concentración de plomo, cadmio y arsénico contenidos en las aguas del río Santa frente a los relaves ubicados en la ciudad de Ticapampa, del punto 01 al punto 10 superan los ECA para agua (Categoría 1, Poblacional y recreacional), Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable
2. De la tabla N° 3 se obtiene que el valor medio de la concentración del plomo es 0.089 mg/L, superando en 9.56 veces al valor del ECA para agua que es 0,01 mg / L; sin embargo, cabe resaltar que la mayor concentración de dicho elemento metálico se encuentra frente a la parte media de la extensión de los relaves; asimismo de la tabla N° 3 se desprende que la concentración promedio del cadmio es 0.049 mg/L y el valor del ECA es 0,003 mg / L, haciendo la comparación resulta que el valor promedio supera en 16.53 veces al ECA, siguiendo el mismo comportamiento que el Pb; igualmente se tiene que el valor promedio de la concentración del arsénico es 0.04914 mg/L, el valor de los ECA es 0.010 mg/L, hechas las comparaciones encontramos que el valor promedio supera en 4.914 veces.
3. Los altos niveles de concentración del plomo, cadmio y arsénico en el cuerpo de las aguas del río, frente a la ubicación territorial de los relaves, se debe a que este cuerpo contaminante se incorpora a las aguas por efectos de los diversos fenómenos naturales a que está expuesto sin ningún tipo de protección que impidan a que suceda el impacto negativo.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar estudios de la concentración metales pesados en la sangre de los pobladores aledaños, como también de la calidad de su suelo y aire para así poder determinar el grado de contaminación en la zona.
2. Recuperar la calidad de los recursos hídricos mediante la reducción progresiva de contaminantes implementando un programa de control y monitoreo de las aguas del río Santa.
3. Las autoridades locales deben gestionar ante las autoridades nacionales rectoras del control del medio ambiente para que se realice la pronta remediación o eliminación del pasivo ambiental.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje de mina, generación y tratamiento*. Madrid.
- Agustín Gómez - Alvarez, A. V.-A. (2004). Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro, durante 1997 Y 1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 12.
- Ahumada , R., & Contreras, S. (2002). *Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, y Zn) en los sedimentos marinos de la región patagónica, Chile, Ciencia y Tecnología del Mar*. Patagonia.
- Ambiente, Ministerio del;. (2010). *Guía de Evaluación de Riesgos*. Lima: QYF Hnos. S.A.C.
- Autoridad Nacional del Agua. (2008). *Delimitación y codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú*. Lima.
- Balvin Diaz, D. (1995). *Agua Minería y Contaminación*. Ilo - Perú: Labor.
- Cervantes C., M. R. (2010). *Contaminación ambiental por metales pesados impacto en los seres vivos*. Mexico: AGT, Editor, S.A.
- Chen, Y. e. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental*. doi:DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j>.
- Combariza, B. (2009). Contaminacion por metales en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de plomo, mercurio y cadmio y alteración de salud en los habitantesdel municipio de Sibaté (Cundinamarca). Colombia.

- Dammert, A. (1997). *"Fiscalización de las actividades minero metalurgicas respecto al medio ambiente, la seguridad minera y la responsabilidad social"* . OSINERMINING.
- Donroso y Garcia. (2000). *Metales Pesados*. Mexico.
- Echegaray Rosales, M., Guerin, C. M., Arellano , D., & Hinojosa Blanco, I. (2004). *Contribución al estudio de la posible contaminación del Río Rímac*. Lima: S/E.
- Glynn, J., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. Mexico: Prentice Hall.
- GÓMEZ-ÁLVAREZ, A. V.-A.-R.-O. (2004). METALES PESADOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO SAN PEDRO DURANTE 1997 Y 1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 12.
- Gonzales A. et at. (2004). *Granulometría sedimentación, composición y contenido total de metales pesados en los sedimentos del río Cobre*. Santiago de Cuba.
- Harte J., e. a. (1991). *El Libro de los Tóxicos de la A-Z*. Mexico: Grijalbo.
- Hernandez. (s.f.).
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista , P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: McGraw-Hill.
- Idrovo, A. J., Sarmiento, M. I., Restrepo, M., Díaz, M. d., & González, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la Salud Humana. *Salud pública, Volumen 1, Número 2*, 159-171.
- INGEMET, M. d. (1998). *"Estudio de la Evaluación Ambiental Territorial y Planeamiento para la Reducción o Eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa"*. Lima.



- Jara , F. (2011). *Extracción química secuencial de metales pesados en el estudio de alteración química de relaves de mina en Ticapampa*. Lima: s/e.
- Juarez, H. (2012). Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima. Lima, Lima, Perú.
- Kerlinger, F. (1983). *Investigación del Comportamiento. Técnicas y Metodología, 2da. Ed.* Mexico: Interamericana .
- Lenom Justin Cajuste ; Antonio Vázquez Alarcón ; C. (2001). Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 267-274.
- Malarín, H., & Remy, P. (1994). La contaminación de aguas superficiales en el Perú: una aproximación económica jurídica. *Contaminación del agua; aspectos económicos; aspectos jurídicos*, 84.
- Manual de Contaminación Ambiental*. (1994). Madrid - España: ITSEMAP.
- Ministerio del Ambiente . (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. Lima.
- MOPU. (1982). *Los residuos tóxicos y peligrosos. Dirección General del Medio Ambiente*. Madrid-España.
- Moreno, D. (2003). *Toxicología ambiental: Evaluación de riesgo a la salud*. Madrid - España: McGraw-Hill.
- PASTORINO, L. F. (2005). *El Daño Ambiental, Impacto y Daño*. Argentina: Lexis Nexis.
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (Dic. de 2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5, 1-6.

- Ramos, W., & Munive, L. (2009). Intoxicación pumblica cronica. *Revista Peruana de Epidemiología*, Vol. 13, N° 2.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., & Gonzales, E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N° 2, 66-77.
- Rojas, R. A. (1986). *Contaminación del río Rimac por metales pesados provenientes de la industria minera*. Lima: S/E.
- Romero, A. M. (2000). *Metales (Cr, Pb y Zn) en sedimentos y quirómidos del río Rocha*. Bolivia.
- Rosas, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Catalunya - Barcelona.
- Sarmiento, M. I. (s.f.).
- Usero, J. (1997). *Contaminación por metales en sedimentos acuáticos*. *Tecnología del agua*.
- Yulieth C. Reyes, Inés Vergara, Omar E. Torres . (s.f.). Contaminación por metales pesados,.
- YUPARI, A. (s/f). *Informe Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica*. Obtenido de  
CEPAL Web site:  
[http://www.eclac.org/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%](http://www.eclac.org/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%20en%20Sudamerica)

## Anexos

### Anexo 1 Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Evaluar la contaminación del río Santa en el área de potencial interés por causa de los relaves mineros ubicados en la ciudad de Ticapampa?</p> <p><b>ESPECIFICO</b></p> <p>¿Cuál es el nivel de concentración del Pb, Cd, As en las aguas del río Santa, en el área de potencial interés?</p> <p>¿Cuál es el impacto de los relaves al ecosistema del río Santa y sus posibles efectos en la salud de la población?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Determinar la presencia del Pb, Cd, As en las aguas del río Santa en el área de potencial interés por causa de los relaves, así como los posibles impactos al medio ambiente y a la salud de las personas.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Cuantificar la concentración del Pb, As y Cd presentes en el agua del río Santa en el área de potencial interés que causan su contaminación.</p> <p>Determinar los riesgos de la salud del consumidor del agua del río que habitan en la zona de influencia directa.</p>	<p>Definiciones y conceptos generales</p> <p>Reglamento de la Calidad del Agua Guía de Muestreo del Agua</p> <p>Estándares de Calidad (ECA)</p> <p>Límites Máximos Permisibles (LMPs)</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>La concentración del Pb, Cd, As, presentes en las aguas del río Santa en el área de potencial interés, superan los ECA para agua; en consecuencia, generan su contaminación.</p> <p><b>ESPECIFICO</b></p> <p>- El consumo de las aguas del río Santa en el área de potencial interés al contener Pb, Cd, y As con alto grado de concentración producen efectos negativos a la salud.</p> <p>Las aguas del río Santa al contener elementos metálicos pesados que superan los ECA para agua degradan el sistema acuático.</p>	<p>X: La concentración de los metales pesados en las aguas del río Santa en el área de potencial interés superan los ECA para agua.</p> <p>Y: Las aguas del río Santa en el área de potencial interés al contener metales pesados que superan los ECA para agua, se encuentran contaminadas y su consumo puede ser dañino para la salud.</p>	<p>LMP pH, DBO5, DBO10, DQO, N, P, total aniones</p>


--	--	--	--	--	--

**Fuente:** Propia

## Anexo 2

**TMS** Laboratorio de Tecnología de Materiales y Suelos

**INFORME DE ENSAYO**



1. **Solicitante** : Huerta Ramírez Alcides Javier  
 2. **Análisis solicitado** : Determinación de plomo, arsénico y cadmio  
 3. **Muestra** : Agua (Muestra proporcionado por el solicitante)  
 4. **Fecha de recepción** : 02-03-2018  
 5. **Fecha de emisión** : 06-03-2018

---


**RESULTADOS DE ENSAYOS**

N°	Muestra	Arsénico (As) (mg/L)	Cadmio (Cd) (mg/L)	Plomo (Pb) (mg/L)
1	Punto 01	0.025	0.029	0.0278
2	Punto 02	0.035	0.035	0.035
3	Punto 03	0.043	0.0389	0.045
4	Punto 04	0.059	0.0456	0.065
5	Punto 05	0.069	0.0657	0.123
6	Punto 06	0.076	0.0798	0.145
7	Punto 07	0.065	0.0674	0.156
8	Punto 08	0.053	0.047	0.145
9	Punto 09	0.042	0.0342	0.098
10	Punto 10	0.025	0.0268	0.0589

**MÉTODOS**

- Arsénico: APHA AWWA WEF 3144C 22nd Edición 2012
- Cadmio y Plomo: APHA AWWA WEF 3113B 22nd Edición 2012

Ing. Niño Huerta Ramírez  
 Reg. CIP N° 134984



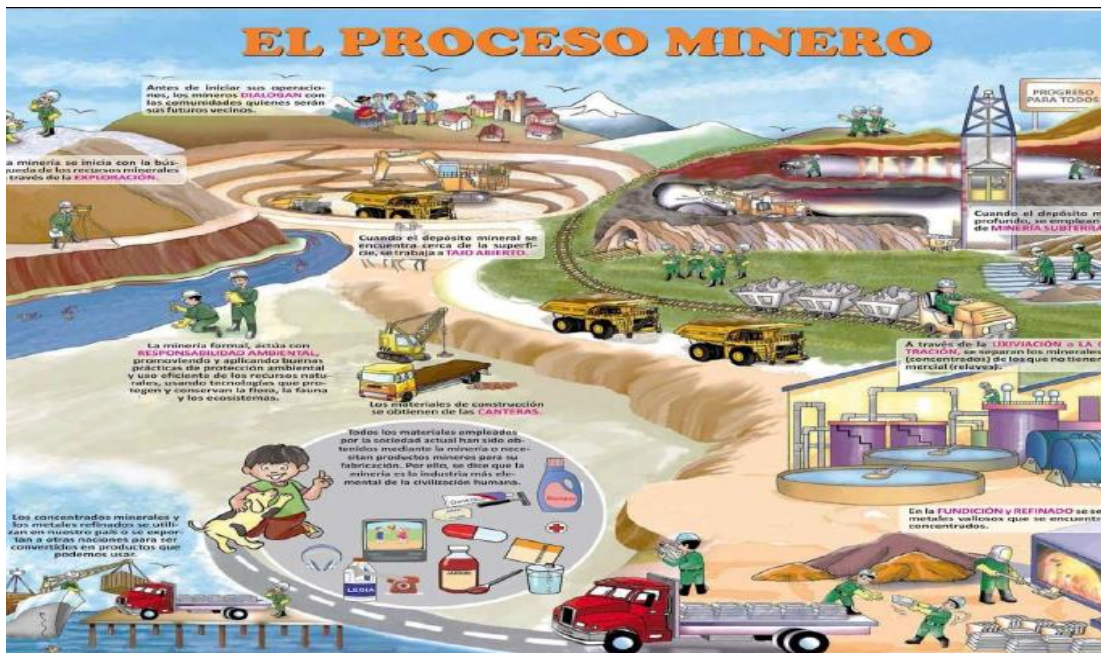
Jirón Las Begonia N° 266 – Independencia – Huaraz  
 Teléfono: 043-220307

Resultado de los análisis químicos

**Fuente:** Laboratorio LMTS

### Anexo 3

#### Procesos de la actividad minera



Fuente: [www.tercerainformación.com](http://www.tercerainformación.com)

### Anexo 4

#### Vista de la acumulación de relaves



Fuente: Propia

## Anexo 5

Vista de la contaminación del río por la presencia de relaves



Fuente: Propia

## Anexo 6

Vista de las instalaciones de una planta flotadora



Fuente: [www-horizonteminero.com](http://www-horizonteminero.com)

## Anexo 7

Vista de los puntos muestreados en las aguas del rio santa



Fuente: Propia

## Anexo 8

Vista de la toma de muestras en la zona de interes



Fuente: Propia