

DOI: 10.35622/inudi.b.010

# Agua potable un derecho de la humanidad

## Características fisicoquímicas, bacterias y metales pesados

**Eveling Castillo**

**Roxana Medina**

**Higinio Zúñiga**



EDITADA POR  
INSTITUTO  
UNIVERSITARIO  
DE INNOVACIÓN CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ





**Eveling Castillo**

<https://orcid.org/0000-0002-7774-3799>

Con afiliación a la Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Puno, Perú

**Roxana Medina**

<https://orcid.org/0000-0003-4681-7254>

Con afiliación a la Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Puno, Perú

**Higinio Zúñiga**

<https://orcid.org/0000-0002-2240-4589>

Con afiliación a la Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Puno, Perú

**Agua potable un derecho de la humanidad**

**Características fisicoquímicas, bacterias y metales pesados**

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.015>

**Instituto Universitario  
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**

Agua potable un derecho de la humanidad: características fisicoquímicas, bacterias y metales pesados

Isabel Eveling Castillo Coaquira  
Roxana del Carmen Medina Rojas  
Higinio Alberto Zuñiga Sanchez  
(Autores)

ISBN: 978-612-5069-07-8 (PDF)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022- 04085

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.015>

Editado por Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Urb. Ciudad Jardín Mz. B3 Lt. 2, Puno – Perú

RUC: 20608044818

Email: [editorial@inudi.edu.pe](mailto:editorial@inudi.edu.pe)

Teléfono: +51 973668341

Sitio web: <https://editorial.inudi.edu.pe>

Primera edición digital

Puno, mayo de 2022

Libro electrónico disponible en

<https://doi.org/10.35622/inudi.b.015>

**Editores:**

Wilson Sucari / Jannina Quilca / Patty Aza.

**Diseño de portada:**

David Paucar Condori

*Las opiniones expuestas en este libro es de exclusiva responsabilidad del autor/a y no necesariamente reflejan la posición de la editorial.*

*Publicación sometida a evaluación de pares académicos (Peer Review Doubled Blinded)*

Publicado en Perú / *Posted in Peru*



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.





# CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| <b>SINOPSIS</b> .....   | 10 |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | 12 |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....   | 14 |
| <b>MARCO TEÓRICO</b> .....  | 14 |
| 1.1. El agua.....   | 14 |
| 1.2. Clasificación general del agua.....  | 14 |
| 1.3. Características del agua potable:.....   | 16 |
| 1.3.1 Características físicas.....  | 16 |
| 1.3.2. Características químicas.....  | 19 |
| 1.3.3. Límites máximos permisibles organolépticos, físicos y químicos en agua potable.....  | 23 |
| 1.3.4. Características microbiológicas.....   | 24 |
| 1.3.5. Límites máximos permisibles microbiológicos del agua potable.....  | 26 |
| 1.3.6. Contenido de metales pesados.....  | 27 |
| 1.4. Potabilización del agua.....   | 29 |
| 1.4.1. Control de calidad del agua potable.....   | 31 |
| 1.5. Marco legal.....   | 35 |
| <b>CAPITULO II</b> .....  | 37 |
| <b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MARCO METODOLÓGICO</b> .....  | 37 |
| 2.1. Descripción de problema:.....  | 37 |
| 2.2. Objetivo de la investigación.....  | 37 |
| 2.3. Método, diseño y tipo de investigación.....  | 37 |
| 2.3.1. Localización.....  | 37 |
| 2.3.2. Toma de muestras.....  | 39 |
| 2.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....  | 39 |
| 2.4.1. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable en la ciudad de Ilave.....  | 39 |
| 2.4.2. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos:.....  | 40 |
| 2.4.3. Determinación del contenido de metales pesados en el agua potable de la llave.....   | 46 |
| 2.5. Procedimientos de investigación.....   | 48 |
| 2.5.1. Análisis estadístico de datos.....   | 48 |
| 2.5.2. Alternativas de solución para mejorar la calidad fisicoquímica, microbiológica y el contenido de metales pesados del agua potable en la ciudad de llave..... | 48 |
| 2.5.3. Alternativas de solución para mejorar la calidad del agua potable en cuanto a metales pesados:.....  | 51 |

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO III .....   | 54 |
| EXPOSICIÓN DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....   | 54 |
| 3.1. Exposición resultados y discusiones .....   | 54 |
| 3.1.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable<br>en la ciudad de Ilave .....   | 54 |
| 3.1.2. Contenido de metales pesados en el agua potable que se suministra a las<br>viviendas de la ciudad de Ilave por el método de absorción atómica ..... | 71 |
| 3.1.3. Alternativas de solución para mejorar la calidad del agua potable en la<br>ciudad de Ilave .....  | 75 |
| 3.2. Conclusiones.....   | 79 |
| REFERENCIAS .....  | 80 |
| ANEXOS .....   | 89 |





## SINOPSIS

Este libro es una adaptación de una investigación realizada en la Universidad Nacional del Altiplano, cuyo objetivo fue determinar la calidad fisicoquímica, bacteriológica, contenido de metales pesados y plantear alternativas de solución de agua poblado de la ciudad de Ilave (Puno, Perú). Metodología: Tomar muestras del punto de captación, depósito de bombas y reservorio según normas de muestreo estandarizadas, el pH se determinó mediante el método electrométrico, la dureza mediante el método titulométrico, los cloruros mediante el método Mohr, los sulfatos, los nitritos y los nitratos mediante espectrofotometría de absorción, los sólidos disueltos totales mediante Conductimetría, las bacterias mediante el número más probable y los metales pesados mediante espectrofotometría por absorción atómica todos ellos realizados en el Laboratorio de la DIRESA – Puno (Perú), los parámetros fueron contrastados con los establecidos en el D.S. 004 – 2017 del MINAM. Resultados: pH entre 8.05 y 794 unidades, dureza entre 174.62 y 160.67 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, cloruros entre 143.61 y 111.72 mg/l, sulfatos entre 69.54 y 56.36 mg/l, nitritos entre 0.96 y 0.53 mg/l, sólidos totales disueltos entre 428.27 y 367.23 mg/l, turbidez entre 5.17 y 3.87 UNT, todos dentro de los rangos establecidos de los estándares de calidad de agua, excepto en el punto de captación, donde la turbidez y el recuento de CT superan los estándares, la carga bacteriana entre 46 NMP/100 ml y 23 NMP/100 ml; el contenido de metales está por debajo de lo indicado en las normas, excepto los iones plomo con 0.0842 mg/l. Alternativa de solución: filtro con carbón activado impregnado con quitosano, el proceso de hervido y posterior sedimentación del agua, uso de minerales zeolíticos modificados, electrocoagulación, método de dos cubetas y remoción asistida por luz solar. Conclusión: El agua potable de Ilave cumple con la normatividad vigente con respecto a los parámetros fisicoquímicos, mientras tanto posee plomo por encima de lo establecido.

### **Palabras clave:**

agua potable, calidad fisicoquímica, calidad bacteriológica, metales pesados, cloración.



## INTRODUCCIÓN

El recurso agua es esencial para la vida y de vital necesidad para todos los seres vivos entre ellos el hombre, para la producción de nuestros, generar electricidad, mantener nuestra vitalidad, para la elaboración de productos industriales y la sostenibilidad de los ecosistemas en la tierra. En los últimos años, se constituye en un recurso limitado, muy vulnerable y escaso, y en nosotros no existe una conciencia sobre su manejo.

En la región Puno, específicamente en la ciudad de Ilave provincia de El Collao, este recurso viene siendo captado, tratado, potabilizado y administrado a dicha ciudad, a partir de una fuente de agua como lo es el río Ilave, pero esta fuente aguas arriba no está libre de presencia de actividades antrópicas tales como la producción del producto tunta o chuño blanco, así como la presencia de proyectos mineros, la agricultura, la ganadería, entre otras actividades, las cuales traerían consigo diversas alteraciones en la calidad física, química, microbiológica y de metales pesados en la planta de potabilización de agua de la ciudad de Ilave.

Ante ello la presente investigación, no solo trata de analizar los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados, sino también se brinda un acopio de información nacional e internacional a partir de bibliografía actualizada y artículos científicos de revistas indizadas, para proponer alternativas de solución ante la problemática de la contaminación del agua presente en la planta de potabilización.

El objeto de la investigación fue de determinar la calidad físico – química, microbiológica, contenido de metales pesados y plantear alternativas de solución en el agua potable de la ciudad de Ilave provincia de El Collao – Departamento de Puno 2018. Esta investigación contribuirá a que los beneficiarios consumidores de la ciudad de Ilave conozcan la calidad del agua que vienen consumiendo, con la finalidad de sensibilizar la necesidad del uso, el manejo racional y técnico de este recurso, proponiéndose medidas mitigatorias, que beneficiará no solo actuales habitantes, sino también a las futuras generaciones, recuperando la calidad de agua, y así satisfacer necesidades actuales y requerimientos de la población, para mejorar sus condiciones de vida y salud.

El presente informe de investigación consta de 4 capítulos: en el primer capítulo se presenta el estado de arte; en el segundo capítulo el marco teórico; en el tercer capítulo la metodología; en el cuarto capítulo los resultados y discusión; y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. El agua

El agua es el más importante de todos los compuestos y uno de los principales constituyentes del mundo en que vivimos y de la materia viva. Casi las tres cuartas partes de nuestra superficie terrestre están cubiertas de agua, aproximadamente del 60 y 70% del organismo humano es agua, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en forma natural casi no existe pura, pues casi siempre contiene sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión <sup>(25)</sup>.

El agua puede contener muchas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella, disolviendo los componentes químicos por donde circula a través de la superficie del suelo, filtrándose a través del mismo, por otro lado, contiene organismos vivos que pueden reaccionar con elementos físicos y químicos, muchas veces puede ser perjudicial para ciertos procesos industriales, o perfectamente idónea para otros <sup>(26)</sup>, las aguas subterráneas procedentes de áreas con piedra caliza pueden llegar a tener un alto contenido de bicarbonatos de calcio (dureza), requiriendo procesos de ablandamiento previo a su uso por la población, en tal sentido la calidad físico, química y biológica están dentro de los estándares fijados por normas nacionales e internacionales <sup>(27)</sup>.

### 1.2. Clasificación general del agua

Según su fuente se clasifican en:

#### **a. Agua de manantial**

Es una fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas. Puede ser permanente o temporal. Se origina en la filtración de agua, de lluvia o de nieve, que penetra en un área y emerge en otra de menor altitud, y afloran como aguas termales <sup>(28)</sup>.

#### **b. Agua superficial**

Se denomina agua superficial al conjunto de las aguas que se encuentran sobre la superficie terrestre: ríos, lagos, embalses, etc. Cuando se encuentra en cantidades suficientes, es una importante fuente de abastecimiento para el consumo humano. Las características de esta agua están directamente condicionadas por

las propiedades del terreno por el que discurren, ya que el carácter bipolar de su molécula le confiere un alto poder disolvente y al discurrir en contacto con los materiales del suelo <sup>(28)</sup>.

### **c. Agua potable**

El agua potable es esencial para el mantenimiento de la vida y las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible), proporcionando beneficios tangibles para la salud de los consumidores, por lo tanto se debe de realizar el máximo esfuerzo para lograr su inocuidad <sup>(29)</sup>, una agua de consumo inocua o agua potable, es definida como la que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud de los consumidores durante su vida, pero esta se encuentra vulnerable a diferentes contaminación de diferente índole, considerándose imprescindible el consumo de agua inocua, ya que la población podría contraer enfermedades mediante esta vía, donde los más propensos son los lactantes, los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos, por tanto el agua potable debe ser óptima para todos los usos domésticos habituales incluyendo la higiene personal <sup>(30)</sup>.

El agua potable se define como agua de consumo inocua (agua potable). La calidad del agua potable varía de un lugar a otro dependiendo de la condición de la fuente de agua de donde se obtiene y el tratamiento que la misma recibe. Para que el agua sea potable, es decir para que podamos consumirla, debe ser: limpia, pulcra, inodora, insípida, sin partículas que la hagan turbia; además debe tener minerales, tales como sodio, yodo, cloro, en las cantidades adecuadas, no debe ocasionar ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y las personas de la tercera edad <sup>(25)</sup>.

### 1.3. Características del agua potable:

#### 1.3.1 Características físicas

Las características organolépticas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua <sup>(31)</sup>.

##### **a. Color**

Las aguas superficiales pueden parecer altamente coloreadas debido a la presencia de materia pigmentada en suspensión, cuando en realidad el agua no tiene color, la coloración del agua puede ser debida a materias orgánicas e inorgánicas disueltas en disolución coloidal. La coloración causada por la materia en suspensión es llamado color aparente y es diferente al color debido a extractos vegetales u orgánicos, que son coloidales, al que se llama color real o verdadero <sup>(32)</sup>. El color del agua tiene importancia desde el punto de vista higiénico, ya que es un indicativo de donde procede el agua. El color se puede determinar comparándolo con una escala de patrones <sup>(33)</sup>.

Las características del agua se atribuyen comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal.
- la descomposición de la materia.
- la materia orgánica del suelo.
- la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos <sup>(31)</sup>.

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados (Barrenechea, 2005). Para determinar el color mediante los métodos actualmente aceptados, es necesario eliminarla turbidez antes de proceder al análisis <sup>(32)</sup>.

- **Riesgos.** Su presencia indicaría ineficiencia en el tratamiento de aguas y de la integridad del sistema de distribución.

## b. Olor

En su forma pura, el agua no produce sensaciones olfativas. El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido (tabla 1). Aun cuando esta propiedad pueda tener un amplio espectro de posibilidades, para propósitos de calidad de aguas existen ciertos aromas característicos que tipifican algunas fuentes u orígenes, más o menos bien definidos. Además de estos aromas típicos, existen otras fragancias que tipifican un origen en particular, pero que son menos frecuentes en los estudios de calidad de aguas <sup>(32)</sup>.

El olor se reconoce como factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable. En caso que contenga compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones <sup>(34)</sup>.

**Tabla 1.** Características organolépticas y tipicidad de calidad de las aguas <sup>(27)</sup>.

| <b>Tipo de Olor</b> | <b>Tipo de Agua</b>                                       |
|---------------------|---|
| Inodoro             | Típico de aguas dulces y frescas.                         |
| Olor metálico       | Típico de aguas subterráneas.                             |
| Olor vegetal        | Típico de aguas poco profundas, de humedales y estuarios. |
| Olor pídrico        | Típico de lixiviados de residuos sólidos.                 |
| Olor a pescado      | Típico de aguas de cultivos piscícolas.                   |
| Olor a cloro        | Cloro libre.  |
| Olor a tierra       | Arcillas húmedas.   |
| Olor químico        | Aguas residuales industriales.                            |
| Olor fecaloide      | Retrete, alcantarilla.                                    |

- **Riesgos.** Para la salud ocasionando malestar, dolor de cabeza, mareos, alergias dependiendo del causante del olor.

## c. Sabor

Es bastante subjetivo, pero normalmente el sabor va en función de las sales. El límite de NaCl es de 300 - 400 mg, y el de sulfato de calcio de 500 - 600 mg. El

sabor también va a depender de la temperatura <sup>(33)</sup>. La cloración en presencia de compuestos fenólicos puede imprimir un mal sabor en el agua, por la formación de derivados clorados que producen un sabor a derivados fenólicos, en el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo <sup>(31)</sup>.

#### **d. Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles. La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas <sup>(34)</sup>. La importancia de la temperatura se basa en el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. Existe un aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción de oxígeno presente en las aguas superficiales <sup>(35)</sup>.

- **Riesgos.** Los riesgos de las temperaturas elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de microorganismos, plantas acuáticas y hongos.

#### **e. Potencial de hidrógeno**

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones hidrógeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica, cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales. Cuando el número de átomos de hidrógeno ( $H^+$ ) excede el número de átomos del oxhidrilo ( $OH^-$ ), la sustancia es ácida <sup>(34)</sup>.

La expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo de la concentración del ion hidrógeno. La concentración del ion hidrógeno se mide generalmente en forma instrumental empleando un pHmetro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH <sup>(36)</sup>.

- **Riesgos.** El pH no ejerce efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros indicadores de la calidad del agua. Para que la desinfección con cloro sea eficaz es preferible que sea un pH inferior a 8. En valores superiores de pH 11 produce irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos.

### 1.3.2. Características químicas

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor. A continuación, se sustentan las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de abastecimiento (31):

#### a. Sólidos disueltos totales

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0  $\mu\text{m}$  (o más pequeños) (37). La importancia de los sólidos disueltos puede afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. En aguas de consumo humano, con alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar, los riesgos de aguas para el consumo humano, un alto contenido de sólidos disueltos, pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor (38).

- **Riesgos.** Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua potable y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor.

#### b. Dureza total

La dureza del agua indica la cantidad total de iones alcalinotérreos, presentes en el agua y constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial. En las aguas naturales, la concentración de calcio y magnesio. Es habitualmente muy superior a la del resto de alcalinotérreos, por lo que la dureza es prácticamente igual a  $[\text{Ca}_2^+] + [\text{Mg}_2^+]$ .

El agua dura deja depósitos sólidos o costras (por ejemplo, carbonato cálcico) en las tuberías pudiendo llegar a obstruirlas. El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio existe (tabla 2). El  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  son iones positivamente cargados. Debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (39); sin embargo, la dureza del agua es beneficiosa para el riego porque los iones alcalinotérreos tienden a flocular las partículas coloidales del suelo (es decir favorecen la formación de agregados de dichos coloides) lo cual aumenta la permeabilidad del suelo al agua (25). En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/l; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/l; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/l (31).

- **Riesgos.** El agua dura no tiene ningún riesgo a la salud, pero puede crear problemas a los consumidores a partir de concentraciones superiores a 200 mg/l pueden afectar las tuberías, los utensilios de cocina, entre otros. La aceptación de la dureza del agua por el público puede ser muy variable y está en función de las condiciones locales. El umbral de sabor del ion  $\text{Ca}^{2+}$  es 100 a 300 mg/l y el umbral de sabor del  $\text{Mg}^{2+}$  es menor al del  $\text{Ca}^{2+}$  (32).

**Tabla 2.** Clasificación de aguas según el grado de dureza (25).

| <b>CaCO<sub>3</sub> (mg/l)</b> | <b>Tipo de agua</b> |
|--------------------------------|---------------------|
| 0 – 60                         | Blanda              |
| 61 – 120                       | Moderadamente dura  |
| 121 – 180                      | Dura                |
| >180                           | Muy dura            |

### **c. Cloruros**

El agua siempre lleva cierta cantidad de cloruros y la cantidad da idea de la bondad del agua. El agua contaminada con aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales será rica en cloruro (40). Las aguas naturales presentan cloruros cuando los lixiviados de las rocas y los suelos hacen contacto con el recurso hídrico. En áreas costeras, su presencia también es debida a la intrusión de aguas saladas. El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la

corrosividad del agua, a su vez impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado. Altos porcentajes de cloruros en los cuerpos de agua también pueden matar a la vegetación circundante, dañar las conducciones y estructuras metálicas <sup>(40)</sup>. El cloruro, se presenta en forma de ión (Cl<sup>-</sup>) es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual <sup>(34)</sup>.

- **Riesgos.** Los cloruros no tienen un efecto nocivo en la salud, pero en concentraciones superiores a 250 mg/l este valor afecta en el sabor del agua el cual hace inaceptable por organismo humano.

#### **d. Sulfatos**

La presencia de sulfatos en aguas subterráneas se debe al contacto con las formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados. El sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>). Se distribuye ampliamente en la naturaleza encontrándose en aguas naturales y son abundantes en aguas duras, en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. Los residuos del drenado de minas pueden aportar grandes cantidades de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> debido a la oxidación de la piritita <sup>(41)</sup>.

- **Riesgos.** El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, afecta la salud ocasionando deshidratación e irritación gastrointestinal. Las personas que no están acostumbradas a beber agua con niveles elevados de sulfato pueden experimentar diarrea y deshidratación. Los niños son a menudo más sensibles al sulfato que los adultos. Si el sulfato en el agua supera los 250 mg/l, un sabor amargo o medicinal puede hacer que sea desagradable beber esa agua.

Una alta concentración de sulfato en agua potable tiene un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, los dos componentes más comunes de la dureza del agua. Las bacterias, que atacan y reducen los sulfatos, hacen que se forme sulfuro de hidrógeno gas (H<sub>2</sub>S) <sup>(10)</sup>.

#### **e. Cloro**

El cloro, oxidante poderoso, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación <sup>(31)</sup>. Sin embargo, presenta algunas desventajas:

- Es muy corrosivo.

- Puede producir sabor desagradable en el agua, incluso en concentraciones que no significan riesgo para el consumidor.
- Su manejo y almacenamiento requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores.

#### **f. Nitritos**

El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/l, aun en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0.1 mg/l. Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato. Los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosominas de alto poder cancerígeno. El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) se determina mediante la formación de un colorante azo de color púrpura rojizo por reacción de diazotación-copulación de sulfanilamida con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (NED diclorhidrato) a pH entre 2.0 y 2.5 <sup>(42)</sup>.

#### **g. Nitratos**

El nitrato se refiere a un compuesto químico de un óxido natural de nitrógeno, pero si los niveles son elevados pueden presentar un riesgo para la salud humana. Las fuentes de nitratos incluyen fertilizantes, sistemas sépticos, efluente de tratamiento de aguas residuales, desechos animales, industriales y de procesamiento de alimentos, los niveles de nitrato pueden ser altos en ríos debido al escurrimiento de fertilizantes de nitrógeno de campos agrícolas. Niveles de nitrato de hasta 3 ppm en agua de pozo para uso doméstico pueden tener origen natural o indicar algún nivel de contaminación, pero se consideran seguros para el consumo. La agencia federal del EPA – EE.UU, ha establecido un nivel de concentración máxima de 10 ppm de nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) para el agua potable, donde los niveles de nitratos superiores a 10 ppm pueden presentar un riesgo grave para la salud de los pequeños, mujeres embarazadas o lactantes <sup>(43)</sup>.

Los recién nacidos, sin embargo, reciben una mayor exposición de agua potable porque la mayoría de sus alimentos son en forma líquida. Los nitratos interfieren con la habilidad de la sangre para transportar al oxígeno a los tejidos vitales del cuerpo de los pequeños de edades hasta los 6 meses, esta condición se llama metehemoglobinemia o “síndrome del bebé azul”. Las mujeres embarazadas son

poco capaces de tolerar a los nitratos y estos a su vez en la leche de las mamás pueden afectar a los pequeños lactantes directamente. Poco se sabe sobre los efectos a largo plazo del agua potable con niveles elevados de nitratos <sup>(43)</sup>.

#### **h. Metales pesados en agua potable**

El arsénico está ampliamente distribuido en la corteza terrestre, sus formas más comunes son el sulfuro de arsénico o los arsenatos de metales. El arsénico llega al agua a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y vía deposición atmosférica. En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) es generalmente la especie más común; bajo condiciones de reducción tales como las que se presentan en sedimentos de lagos profundos o aguas subterráneas, la forma más predominante es el arsénico (III). Un incremento del pH puede incrementar la concentración de arsénico disuelto en el agua.

El mercurio no es un elemento esencial para la vida, sin embargo, siempre ha estado presente en la naturaleza en concentraciones a que los seres vivos están adaptados. Sus fuentes naturales son el vulcanismo, la desgasificación de la corteza terrestre, la erosión y la disolución de los minerales de las rocas debido a la penetración del agua a través de estas por tiempo muy prolongado.

#### *1.3.3. Límites máximos permisibles organolépticos, físicos y químicos en agua potable*

Límites máximos permisibles de características organolépticas, físicas y químicas se describen en la tabla 3, según reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-S.A.

**Tabla 3.** Límites máximos permisibles de parámetros organolépticos, físico-químicos del agua potable (D.S. N° 031-2010-SA).

| <b>Parámetros</b> | <b>Unidad de medida</b> | <b>Límites Máximos Permisible</b> |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Olor              | ---                     | Aceptable                         |
| Sabor             | ---                     | Aceptable                         |
| Color             | UCV escala Pt/ Co       | 15                                |
| Ph                | Valor de pH             | 6.5 a 8.5                         |
| SDT               | mg/l                    | 1000                              |

|                |                                    |           |
|----------------|------------------------------------|-----------|
| Cloruros       | mg Cl/l                            | 250       |
| Sulfatos       | mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /l | 250       |
| Dureza total   | mg CaCO <sub>3</sub> /l            | 500       |
| Sodio          | mg Na/l                            | 200       |
| Cloro residual | mg/l                               | 0.3 a 1.0 |

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad.

#### 1.3.4. Características microbiológicas

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica <sup>(44)</sup>.

Son frecuentes las de género *Pseudomonas*, *Serratia*, *Flavobacterium* y *Achromobacterium*, en general dan coloración al agua como el color rojo, amarillo anaranjado, y violeta (27). Las aguas superficiales están expuestas a una amplia gama de factores que pueden alterar su calidad biológica y ocasionar cambios simples o complejos y con diferentes niveles de intensidad. Esta alteración se puede originar en eventos naturales o en actividades antropogénicas, como el uso doméstico del agua y la consiguiente producción de aguas residuales, de la industria, minería y agricultura, entre otras.

La verificación de la calidad microbiológica del agua por lo general incluye análisis microbiológicos, esto conllevará el análisis de microorganismos indicadores de contaminación fecal, pero también puede incluir, en algunas circunstancias, la determinación de las concentraciones de patógenos específicos (25).

### **a. Grupo coliformes**

Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las enterobacteriáceas. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35 - 37 °C en un lapso de 24 - 48 horas y producir ácido y gas. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme <sup>(37)</sup>: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*.

### **b. Coliformes totales (CT)**

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias Gram negativa, de morfología bacilar, aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no esporógenas y capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a 35 ± 0.5 °C dentro de las 48 ± 3 horas. Las bacterias coliformes pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición. También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua. Las bacterias de origen fecal se incluyen dentro de las bacterias entéricas o "enterobacterias" y se caracterizan por habitar en el tracto gastrointestinal del hombre y otros animales <sup>(25)</sup>.

Este grupo incluye los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*. Las heces pueden ser vehículos de transmisión de otras bacterias no coliformes que son patógenas como *Salmonella*, *Proteus* y *Shigella*, algunas de cuyas especies causan infecciones intestinales como la fiebre tifoidea y la disentería bacilar. Se realizan dos pruebas, presuntiva y confirmativa; el ensayo se considera positivo si dan positivas ambas pruebas <sup>(25)</sup>.

- **Riesgos.** Su presencia indicaría ineficiencia en el tratamiento de aguas y de la integridad del sistema de distribución. Por ingestión o inhalación puede ocasionar gastroenteritis, por contacto infección a la piel, ojos y oído <sup>(25)</sup>.

### **c. Coliformes fecales (CF)**

Son bacterias que forman parte del total del grupo coliformes y son definidas como bacilos Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con

producción de ácido y gas a  $44.5 \pm 0.2$  °C dentro de las  $24 \pm 2$  horas. La mayor especie en el grupo de coliformes fecales es la *Escherichia coli* y en menor grado las especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* <sup>(10)</sup>.

*Escherichia coli* se encuentra en el tracto gastrointestinal del hombre y de los animales, se halla en agua residual doméstica, en agua y suelos naturales que han sufrido contaminación reciente, ya sea de seres humanos, operaciones agrícolas o de animales y aves, Pertenece a la familia de las enterobacteriaceas, posee las enzimas beta – galactosidasa y betaglucuronidasa. Se desarrolla a 44 - 45 °C en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas, produciendo índole a partir del triptófano. *E coli* no produce oxidasa ni hidroliza la urea <sup>(45)</sup>.

- **Riesgos.** Las coliformes fecales pueden ocasionar gastroenteritis diarreas, vómitos intensos, y deshidratación.

#### **d. Bacterias heterotróficas mesófilos viables**

Los mesófilos viables comprenden bacterias cuyo desarrollo óptimo es de 20 a 45 °C la temperatura mínima se encuentran en el rango de 15 a 20 °C, son muy útiles para el estudio microbiológico de los alimentos y agua, un recuento elevado indica un estado sanitario deficiente, advierte el peligro de portar bacterias patógenas en el agua y alimento <sup>(46)</sup>. Los mesófilos viables se encuentran dentro de la familia Aeromonadaceae estos microorganismos son habitantes de fuentes de agua y pueden estar presentes en un alto número en agua fresca en presencia o ausencia de contaminación fecal. Es frecuente encontrar altos recuentos en aguas de desecho <sup>(47)</sup>. El recuento se utiliza para monitorear las buenas prácticas de manufactura (BPM). El recuento refleja el contenido microbiano en los alimentos <sup>(48)</sup>.

#### *1.3.5. Límites máximos permisibles microbiológicos del agua potable*

La accesibilidad al agua potable es una necesidad primordial y por lo tanto un derecho humano fundamental <sup>(29)</sup>, en este contexto es necesario actualizar el Reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben de cumplir las aguas de consumo para ser consideradas potables, en tal sentido desde el año 2010, se cuenta con el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, este reglamento no solo establece límites máximos permisibles para el agua potable (tabla 4), sino incluye las nuevas

responsabilidades que deberán cumplir los Gobiernos Regionales, referente a la Vigilancia de la Calidad del Agua para el Consumo humano (D. S. No. 031-2010-SA).

**Tabla 4.** Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos (D.S. No 031-2010-SA).

| <b>Parámetros</b>                              | <b>Unidad de medida</b> | <b>LMP</b> |
|--|-------------------------|------------|
| Bacterias coliformes totales                   | UFC/100 ml a 35 °C      | 0 (*)      |
| <i>E. coli.</i>                                | UFC/100 ml a 44.5 °C    | 0 (*)      |
| Bacterias coliformes termotolerantes o fecales | UFC/100 ml a 44.5 °C    | 0 (*)      |

(\*) = En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1.8/100 ml.

#### 1.3.6. Contenido de metales pesados

La contaminación del agua por los metales pesados originada por vía antrópica y natural, viene perturbando la seguridad alimentaria y salud pública <sup>(44)</sup>, con la presencia de mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa <sup>(45)</sup>, debido al riego con aguas contaminadas <sup>(46)</sup>, así como también en peces, carnes y leche producto de la bioacumulación y movilidad desde el ambiente a las fuentes hídricas <sup>(47)</sup>, en ostras, mariscos y otros moluscos acumulan cadmio mediante péptidos ligadores alcanzando valores de concentración entre 100 y 1000 µg/kg, asimismo en la carne, el pescado y frutas se han reportado valores de concentración entre 1 y 50 µg/kg y en algunos granos entre 10 y 150 µg/kg <sup>(48)</sup>.

Dependiendo del metal o metaloide, producen afecciones desde daños en órganos vitales hasta procesos cancerígenos <sup>(49)</sup>. En Japón en la década de los cincuenta, con riegos del agua del río Jintsu, que contenía zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu), se vio afectada por el consumo de arroz. Produciendo la enfermedad osteoartritis la cual afecta principalmente el tejido óseo <sup>(50)</sup>. Los metales pesados son persistentes, no pudiendo ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicos, a su ingreso a los ecosistemas acuáticos, se

transforman mediante los procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características fisicoquímicas <sup>(51)</sup>.

#### **a. Cadmio (Cd)**

Se encuentra en la composición natural de algunas rocas y suelos, liberándose al medio ambiente cerca de 25000 toneladas, es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, donde el 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante contaminación ambiental <sup>(52)</sup>.

Varios estudios de cadmio en la sangre indican que los no fumadores varían entre 0.4 a 1.0 µg/L, mientras que en fumadores los valores varían entre 1.4 a 4 µg/L <sup>(49)</sup>, el cadmio ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón, posee la capacidad de acumularse en órganos vitales lo que produce daños irreversibles, aunque sea en concentraciones reducidas. Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas <sup>(53)</sup>. La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitorremediación de este metal.

#### **b. Plomo (Pb)**

Es utilizado debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad en formar aleaciones, es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel <sup>(49)</sup>. Las principales vías de exposición son: la inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales, la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados <sup>(54)</sup>, asimismo tiende a distribuirse en órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo <sup>(55)</sup> y la intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición <sup>(48)</sup>.

#### **c. Mercurio (Hg)**

Es un elemento líquido a temperatura ambiente, que además de encontrarse en su estado elemental, se encuentra en derivados inorgánicos y derivados orgánicos, es poco soluble y poco tóxico al ingerirse, pero emite vapores

tóxicos a cualquier temperatura y ocasionar intoxicaciones agudas y crónicas por su inhalación <sup>(48)</sup>, por tanto depende de su fase química, siendo el metilmercurio una de las formas con elevada toxicidad y es muy fácilmente incorporado en la cadena alimenticia y bioacumulado en seres vivos, afectando el sistema nervioso produciendo graves daños en el cerebro en estado fetal, el sistema cardiovascular y ser cancerígeno.

#### **d. Arsénico (As)**

Es un elemento distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera, en cuatro estados de oxidación As (V), As (III), As (0) y As (-III), siendo de origen inorgánico u orgánico, el As (III) proviene de la reducción biológica del As (V), y prevalece en zonas cercanas a industrias con efluentes ricos en As (III), aguas geotermales y ambientes reductores <sup>(56)</sup>. En general, en aguas superficiales, el As (V) predomina sobre el As (III) especie de mayor toxicidad, en aguas subterráneas pueden encontrarse ambos estados de oxidación ya que las concentraciones de As (III) y As (V) dependen de la entrada del As al sistema, de las condiciones redox y de la actividad biológica.

En aguas marinas, la especie dominante es el As (V), que puede ser transformado a formas orgánicas o reducido biológicamente a As(III). El arsénico puede circular en los ecosistemas naturales por un largo periodo de tiempo y puede ser incorporado en suelos, aguas subterráneas y litologías hospedantes <sup>(56)</sup>. Los efectos toxicológicos del As no son bien conocidos y se especula sobre el proceso de transferencia a los seres humanos <sup>(57)</sup>. La arsenicosis o hidroarsenicismo crónico es una enfermedad que se presenta por elevadas concentraciones de As inorgánico y presenta diferentes afectaciones en la salud humana tales como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales y efectos cancerígenos (pulmón, vejiga y piel) entre otras <sup>(52)</sup>.

#### 1.4. Potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad. Los pasos básicos para obtener agua potable son: Clarificación, filtración y clorinación <sup>(49)</sup>.

**a. Clarificación.** La clarificación elimina la materia orgánica, turbidez y color del agua. Coagulación: mediante esta operación se separan del agua las finísimas partículas que originan turbidez y color. El coagulante casi universalmente utilizado es sulfato de aluminio <sup>(50)</sup>.

**b. Sedimentación.** Cuando no es necesario utilizar coagulantes, se deja reposar el agua y por acción de la gravedad sedimentan en el fondo del recipiente todas las partículas en suspensión.

Decantación: una vez logrado el coágulo por la adición de sulfato de aluminio, ésta es la etapa siguiente. Un decantador consiste en un recipiente generalmente rectangular con un volumen suficiente como para permitir que el agua permanezca. El tiempo necesario para que los coágulos se depositen en el fondo, formando lo que comúnmente se denominan barros. Posteriormente el agua límpida se elimina por la parte superior del recipiente <sup>(37)</sup>.

### **c. Filtración**

Al igual que en la operación de laboratorio, la filtración en gran escala consiste en separar un sólido de un líquido por un método físico. El agua límpida conserva aún algunos materiales en suspensión y es necesario filtrarla para producir una clarificación completa. Filtro lento de arena, éste sistema, fue el primero en utilizarse a gran escala. Consiste en un lecho de arena que descansa sobre uno de grava. El agua ingresa por la parte superior y se filtra lentamente por la arena fina, operación que se acelera cuando llega a la grava, por la que atraviesa más rápidamente <sup>(37)</sup>.

### **d. Desinfección**

Aunque la carga microbiana puede haber quedado retenida en el filtro de arena fina, es necesario desinfectar el agua. A partir de la cloración de las aguas, se han podido controlar la mayoría de las enfermedades de transmisión hídrica como el cólera y las disenterías bacterianas. El desinfectante utilizado casi universalmente es el gas cloro, pudiéndose utilizar también el método de la ozonización. La medida de la concentración de cloro activo residual en el final de la línea de provisión (grifo domiciliario), garantiza la correcta desinfección del agua. El Código Alimentario Argentino en su artículo 982 estipula un mínimo de 0.20 mg/l de cloro <sup>(37)</sup>.

#### 1.4.1. Control de calidad del agua potable

Para proteger la salud pública debe realizarse vigilancia del abastecimiento de agua de consumo. Los organismos nacionales proporcionan un marco de objetivos, normas y leyes para permitir y exigir a los proveedores el cumplimiento de obligaciones definidas (tabla 5). Debe exigirse a los organismos que intervienen en el abastecimiento de agua para el consumo por cualquier medio que garanticen y comprueben que los sistemas que administran son capaces de suministrar agua inocua y que lo hacen de forma sistemática <sup>(25)</sup>.

##### a. Control de calidad fisicoquímica

- Plantas localizadas cerca de centros urbanos importantes y con fácil acceso: deben muestrearse con una frecuencia semanal.
- Plantas en zonas rurales: deben muestrearse al menos dos veces al mes <sup>(51)</sup>.

**Tabla 5.** Parámetros de control de calidad fisicoquímica <sup>(51)</sup>.

| <b>Parámetro</b>     | <b>Entrada de planta</b> | <b>Salida de decantadores</b> | <b>Salida de filtros</b> |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Temperatura          | X                        |                               |                          |
| Turbiedad            | X                        | X                             | X                        |
| Color                | X                        | X                             | X                        |
| Sabor y olor         | X                        |                               |                          |
| Alcalinidad          | X                        | X                             | X                        |
| pH                   | X                        | X                             | X                        |
| Índice de saturación |                          |                               | X                        |
| Cloro residual       |                          |                               | X                        |
| Prueba de jarras     | X                        |                               |                          |

##### d. Técnicas de análisis microbiano en aguas

###### • **Conteo directo**

Puede realizarse mediante microscopio y con ayuda de una cámara de conteo Petroff – Hauser. Las celdas de conteo están diseñadas para que cada cuadrado

de la cámara corresponda a un volumen específico, ya que la profundidad es conocida. En vista de que es imposible diferenciar por esta técnica células vivas de células muertas, la medida del ensayo se reporta como conteo total <sup>(52)</sup>.

- **Cultivo en placa**

El vertido en placa y el esparcido en placa son métodos utilizados para realizar la siembra, identificación y conteo de bacterias, en el método de vertido en placa, la muestra de agua que va ser analizada se somete a dilución sucesivas, y una pequeña muestra de cada dilución se coloca en una caja para la siembra de bacterias parte el medio de cultivo se calienta hasta que se encuentre en estado líquido y puede ser vertido en una caja para mezclar con la muestra diluida, para su posterior incubación bajo condiciones controladas <sup>(52)</sup>.

- **Fermentación en tubos**

La técnica en tubos múltiples se basa en el principio de dilución hasta la extinción. Las concentraciones de bacterias coliformes totales suelen expresarse como NMP por 100 ml (NMP/100 ml). la determinación de NMP se basa en la aplicación de la distribución de Poisson para valores extremos encontrados en el análisis del número de resultados positivos y negativos obtenidos en ensayos de diferentes fracciones de la muestra de volúmenes iguales y en fracciones que formen series geométricos <sup>(52)</sup>.

### **Alternativas de solución para mejorar la calidad del agua potable**

La acumulación de desechos, sobre todo en áreas urbanas, genera la dispersión de gran diversidad de compuestos en suelos, aguas superficiales y aire, con la consecuente filtración de los mismos hacia las aguas subterráneas: los acuíferos que constituyen la reserva de agua potable. La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad. Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua listados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos <sup>(49)</sup>.

- a. Biodisponibilidad**

La toxicidad de los metales pesados es muy alta. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos -SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. Para que los metales pesados puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, éstos deben encontrarse disponibles para ser captados por éste, es decir que el metal debe estar biodisponible. El concepto de biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones fisicoquímicas del ambiente, que determinan la especiación y por lo tanto la concentración de metal libre y lábil. Por ello es fundamental al determinar el grado de contaminación por metales pesados de un ambiente, conocer su biodisponibilidad, es decir, la concentración de metal libre y lábil presente en la muestra.

#### **b. Inmovilización de metales pesados**

Dentro de la amplia diversidad microbiana, existen microorganismos resistentes y microorganismos tolerantes a metales. Los resistentes se caracterizan por poseer mecanismos de detoxificación codificados genéticamente, inducidos por la presencia del metal. En cambio, los tolerantes son indiferentes a la presencia o ausencia de metal. Tanto los microorganismos resistentes como tolerantes son de particular interés como captadores de metales en sitios contaminados, debido a que ambos pueden extraer los contaminantes. Estos fenómenos son: biosorción, bioacumulación, biomineralización, biotransformación y quimiosorción mediada por microorganismos.

#### **c. Biosorción**

La biosorción es un fenómeno ampliamente estudiado en la biorremediación de diversos metales pesados como el cadmio, cromo, plomo, níquel, zinc y cobre. Los microorganismos utilizados como biosorbentes, aislados a partir de ecosistemas contaminados, retienen los metales pesados a intervalos de tiempo relativamente cortos al entrar en contacto con soluciones de dichos metales. Esto minimiza los costos en un proceso de remediación, ya que no requiere el agregado de nutrientes al sistema, al no requerir un metabolismo microbiano activo. La biomasa capaz de participar en estos procesos es fácilmente extraíble de sistemas acuosos como cursos de aguas o efluentes de diversos orígenes, por lo que el proceso global de biorremediación sería rentable. Es por ello que la búsqueda de

este tipo de microorganismos se encuentra en crecimiento constante, junto con el estudio de sistemas biosorbentes como por ejemplo la utilización de consorcios microbianos, o sistemas mixtos formados por microorganismos y macromoléculas (polímeros) sorbentes, que incrementarían los rendimientos en la captación de mezclas de metales pesados.

Los fenómenos de biosorción se caracterizan por la retención del metal mediante una interacción fisicoquímica del metal con ligandos pertenecientes a la superficie celular. Esta interacción se produce con grupos funcionales expuestos hacia el exterior celular pertenecientes a partes de moléculas componentes de las paredes celulares, como por ejemplo carboxilo, amino, hidroxilo, fosfato y sulfhidrilo. Es un mecanismo de cinética rápida que no presenta una alta dependencia con la temperatura y en muchos casos puede estudiarse en detalle mediante la construcción de los modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich.

#### **d. Bioacumulación**

Este mecanismo celular involucra un sistema de transporte de membrana que internaliza al metal pesado presente en el entorno celular con gasto de energía. Este consumo energético se genera a través del sistema H<sup>+</sup>-ATPasa. Una vez incorporado el metal pesado al citoplasma, éste es secuestrado por la presencia de proteínas ricas en grupos sulfhidrilos llamadas metalotioneínas o también puede ser compartimentalizado dentro de una vacuola, como ocurre en hongos. Algunos ejemplos de este proceso son muy interesantes, como el caso de acumulación de uranio por la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, el cual fue detectado íntegramente en el citoplasma, al igual que en la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

#### **e. Biomineralización**

Los microorganismos son capaces de precipitar metales y radionúclidos como carbonatos e hidróxidos, mediante un mecanismo de resistencia codificado en plásmidos. Este mecanismo aparece por el funcionamiento de una bomba que expulsa el metal tóxico presente en el citoplasma hacia el exterior celular en contracorriente a un flujo de H<sup>+</sup> hacia el interior celular. Esto produce una alcalinización localizada sobre la superficie celular externa y por lo tanto la precipitación del metal pesado.

## **f. Biotransformación**

Este es un proceso que involucra un cambio químico sobre el metal pesado, como por ejemplo en el estado de oxidación o metilación. Esta transformación biológica de los metales pesados que resultan tóxicos mediada por enzimas microbianas puede dar como resultados compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles. El ejemplo más claro es el ciclo del Hg en la naturaleza, donde la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* puede reducir el catión  $Hg_2^+$  a  $Hg^0$ , y otros organismos pueden luego metilarlo dando como producto el  $CH_3Hg^+$  y  $(CH_3)_2Hg$ , que son volátiles y aún más tóxicos que el propio Hg.

### 1.5. Marco legal

#### **a. Vigilancia sanitaria de agua potable**

La vigilancia de la calidad del agua de consumo puede definirse como la evaluación y examen, de forma continua y vigilante, desde el punto de vista de la salud pública, de la inocuidad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo (25). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. No 031-2010-S.A. Artículo 13° la vigilancia sanitaria del agua para consumo humano es una atribución de la autoridad de salud, que se define y rige como:

La sistematización de un conjunto de actividades realizadas por la autoridad de salud, para identificar y evaluar factores de riesgo que se presentan en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, desde la captación hasta la entrega del producto al consumidor, el establecimiento de prioridades y de estrategias para la prevención o eliminación de los factores de riesgo en el abastecimiento del agua, que la Autoridad de Salud establezca para el cumplimiento por el proveedor (25).

#### **b. Supervisión de calidad de agua potable**

Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-S.A. Artículo 20°, supervisión de calidad: la autoridad de salud, la SUNASS, y las municipalidades en sujeción a sus competencias de ley, supervisan en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano de su competencia el cumplimiento de las disposiciones y los requisitos sanitarios.

### **c. Abastecimiento de agua potable a la ciudad de Ilave**

La ciudad de Ilave cuenta con una población de 30000 habitantes, es una de las ciudades más importantes de la región de Puno, cuenta con servicios básicos como: electricidad, agua y desagüe. La empresa que abastece de agua potable a las viviendas en la ciudad de Ilave es la Empresa Municipal de Saneamiento Básico EMSA Puno S.A. que capta el agua cruda del río Ilave, teniendo como punto de captación en el Barrio Nuevo Generación santa barbara , ubicado al sur este de la ciudad y lo realiza en dos puntos de 15 y 35 litros por segundo, cabe señalar que esta empresa cuenta con una planta de tratamiento ubicada en el mismo Barrio, el reservorio I, y reservorio II ubicados en el cerro Santa bárbara, desde donde distribuye a 6000 viviendas de 28 barrios de esta ciudad (53).

La empresa se aprobó con Resolución de Superintendencia N° 1200-99-SUNASS, anexo N° 16 A. Asimismo, con Resolución de Consejo Directivo N° 17-2001-SUNASS/CD, del 27 de abril de 2001 la SUNASS autorizó a la empresa EMSA Puno S.A. a efectuar un reajuste tarifario diferenciado por localidad, categoría de usuario y rango de consumo, y se aprobaron las metas de calidad del servicio y gestión empresarial correspondiente al año 2001 (53).

Se da conocer mediante el estado de arte el bagaje teórico e histórico de las variables, temas o unidades de estudio. Se debe dar a conocer la información con mayor profundidad citando las fuentes de información (aplique las citas textuales y las no textuales).

## CAPITULO II

### DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Descripción de problema:

En este apartado se pone en manifiesto el meollo de la investigación. Se describe la realidad problemática (ya sea un caso teórico o de aplicación en una determinada población de estudio).

#### 2.2. Objetivo de la investigación

##### - **Objetivo general**

Determinar la calidad físico – química, microbiológica, contenido de metales pesados y plantear alternativas de solución en el agua potable de la ciudad de Ilave provincia de El Collao – Departamento de Puno 2018.

##### - **Objetivos específicos**

1. Evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable en la ciudad de Ilave – provincia El Collao - Departamento de Puno – 2018.
2. Establecer por el método de absorción atómica el contenido de metales pesados en el agua potable que se suministra a las viviendas de la ciudad de Ilave – provincia El Collao - Departamento de Puno 2018.
3. Plantear alternativas de solución para mejorar la calidad fisicoquímica, microbiológica y el contenido de metales pesados del agua potable en la ciudad de Ilave – provincia El Collao - Departamento de Puno 2018.

#### 2.3. Método, diseño y tipo de investigación

##### *2.3.1. Localización*

El agua potable en la provincia de El Collao, es tomada del río Ilave, que atraviesa el distrito de Ilave de oeste a este, está ubicado al sur a 54 km de la ciudad de Puno, superando los 3850 msnm (figura 1). Debido a su situación geográfica presenta el característico clima del altiplano, templado, seco y frígido, con variaciones tenues dependiendo de la estación.



**Figura 1.** Ubicación del distrito de Ilave, provincia de Puno.

**Fuente:** Googlemap (2018).

El tratamiento del agua potable es por medio de bombas eléctricas de marca Hidrostal, tiene una forma circular, dentro de la cual se alberga dos bombas verticales en funcionamiento y dos bombas horizontales, también cuenta con una bomba de emergencia que funciona a base de diésel en el caso de que haya un corte eléctrico. Un punto importante a recalcar es que esta bomba trabaja durante 12 horas al día, con una potencia de 30 hp, es capaz de succionar 50 litros/hora de agua que proviene del río Ilave a una profundidad de succión de 10 m.

Las bombas de tratamiento pasan por un proceso de mantenimiento trimestral y cuentan con un sistema de fluidez que funciona de la siguiente manera:

1. Punto de captación (río Ilave) - primer punto de muestreo 3 (PM1).
2. Cámara de ruptura de presión.
3. Depósito de bombas (tratamiento) - segundo punto de muestreo (PM2).
4. Reservorio (cerro Santa Bárbara) - tercer punto de muestreo (PM3).
5. Distribución (barrios de la ciudad de Ilave).

### 2.3.2. Toma de muestras

Para realizar los análisis de laboratorio y determinar las características físicas químicas y microbiológicas del agua potable del distrito de Ilave, se tomaron las muestras de agua en los tres puntos de muestreo (PM1, PM2 y PM3), durante los meses: febrero, marzo y abril, meses en los que los factores climáticos varían en este distrito (tabla 6).

**Tabla 6.** Puntos de muestreo 1, 2, 3 y tamaño de muestra de agua potable evaluados de febrero a abril - 2018.

| Meses        | Número de muestras |          |          | Total (litros) |
|--------------|--------------------|----------|----------|----------------|
|              | PM1                | PM2      | PM3      |                |
| Febrero      | 2                  | 2        | 2        | 6              |
| Marzo        | 2                  | 2        | 2        | 6              |
| Abril        | 2                  | 2        | 2        | 6              |
| <b>Total</b> | <b>8</b>           | <b>8</b> | <b>8</b> | <b>18</b>      |

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.4. Técnicas e instrumentos de investigación

### 2.4.1. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable en la ciudad de Ilave

#### Toma de muestra

Para una adecuada toma de muestra se utilizó la Norma Técnica Peruana (NTP, 2012) y se procedió de la siguiente manera: se prepararon frascos de muestreo, de color marrón oscuro debidamente rotulados en el laboratorio para su esterilización, culminado este proceso se los colocó con mucho cuidado en un cooler con refrigerante provisto de un termómetro. Acompañando a los frascos de muestreo se colocó un formulario de identificación de muestra que contenía:

- Número de muestra y código del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Procedencia.
- Volumen enviado al laboratorio.
- Nombres y apellidos de la persona responsable de la toma de muestra.
- Firma del responsable.
- Observaciones.

## **Toma de muestras de agua potable**

Para realizar los análisis se tomaron 3 muestras de cada uno de los puntos establecidos en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Ilave, durante los meses febrero, marzo y abril considerando la variación del clima en el distrito.

Se tomaron 1000 ml de agua para los análisis fisicoquímicos y 500 ml de agua para los análisis microbiológicos, inmediatamente se rotularon los frascos y se realizaron los análisis de campo, el resto de muestra fue transportada al laboratorio herméticamente cerrados en un cooler con refrigerante que permitió que se conserve la muestra, acompañado del formulario detallado de toma de muestra. Para el análisis de metales pesados, se tomó una sola muestra en el PM3, en el mes de abril para determinar si el agua potable muestra las condiciones adecuadas para el consumo humano.

### *2.4.2. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos:*

#### **Determinación del potencial de hidrogeno (ph)**

\* **Método:** Electrométrico

\* **Fundamento:** Este examen solo determinó si el agua fue ácida (importante porque es la característica que provoca la corrosión de las tuberías de fierro – agua potable), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es considerada ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución se considera alcalina, los seres vivos, como las algas, plancton, entre otros pueden producir olor y sabor (54). Debe recordarse que el cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, el sabor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor, sabor y color); eliminar el fierro y el manganeso.

\* **Procedimiento:**

- a. Se vertió 50 ml de la muestra en un vaso precipitado
- b. Se introdujo el electrodo del potenciómetro
- c. Finalmente, los datos se registraron en la pantalla de equipo

## Determinación de la dureza total

\* **Método:** Titulométrico.

\* **Fundamento:** La dureza del agua se determina por la concentración de calcio y magnesio que presenta, utiliza soluciones de etilendiaminotetracético o de sus sales de Na como el agente titulador, forma un complejo quelado soluble cuando se adiciona a una solución de ciertos cationes metálicos los cuales forman iones complejos solubles con Ca y Mg. Los indicadores utilizados fueron el colorante negro eriocromo T, el mismo que nos indica cuando todos los iones Ca y Mg han formado complejos con EDTA pH 10.0; por lo tanto, la solución toma un color similar al vino rojo (48). Se utiliza también el indicador murexida, el mismo que determina los iones de calcio a un pH de 12 o 13, por esta razón se prefirió titular con EDTA, que hace que la solución adquiera un color azul, este cambio de color nos indica el final de la titulación.

### \* Procedimiento

- d. Se insertó un tubo de alimentación limpio en el cartucho de titulación.
- e. Giramos la perilla de descarga y se expulsó algunas gotas al titulador.
- f. Se puso el contador a cero, limpiando la punta.
- g. Se utilizó una pipeta para medir el volumen de la muestra.
- h. La muestra tomada se transfirió al frasco Erlenmeyer de 250 ml.
- i. Se realizó la dilución hasta la marca de 100 ml de agua destilada.
- j. Se agregó 0.5 ml de buffer, mientras tanto se titulaba con EDTA, variando la coloración desde rosa hasta azul.
- k. Finalmente se registró el número de dígitos requerido.

## Determinación de la concentración de cloruros

- **Método:** Mohr
- **Fundamento:** Esta técnica se basa en la adición de nitrato de plata a la solución precipitada, el cloro presente como cloruro de plata, una vez que este sobrepasa su producto de solubiliza. La cantidad de  $\text{AgNO}_3$  necesario para alcanzar este producto de solubilidad es equivalente a la cantidad de

cloro presente en la solución. Se notó un precipitado de color rojo de cromato de plata, lo que nos indicó que había cloruro en la muestra. Cuando se agotan los cloruros que hay en la solución (muestra) por precipitación en forma de cloruro de plata, el precipitado rojo de cromato de plata, se señalan en forma nítida el punto final de la reacción <sup>(55)</sup>.

- **Procedimiento**

- a. Se insertó un tubo de alimentación limpio en el cartucho de titulación.
- b. Se hizo girar la perilla de descarga hasta expulsar algunas gotas al titulador.
- c. Se reinició el contador a cero y se limpió la punta.
- d. Se utilizó una pipeta para medir el volumen de la muestra.
- e. Se transfirió la muestra al frasco de Erlenmeyer de 250 ml.
- f. Se diluyo aproximadamente hasta la marca de 100 ml agua destilada.
- g. Finalmente se agregó el indicador dicromato de potasio y la muestra tomo un color amarillo a rosa, se registraron los datos obtenidos.

### **Determinación de la concentración de sulfatos**

- **Método:** Espectrofotómetro.
- **Fundamento:** Para aplicar este método es necesario que la muestra sea tratada con cloruro de bario en un medio ácido, esto hará que se forme un precipitado blanco de sulfato de bario, de igual manera se requiere un solvente acondicionador que contiene glicerina y alcohol, para modificar la viscosidad de la muestra y así permitir que el precipitado de  $\text{BaSO}_4$  se mantenga en suspensión produciendo valores de turbidez estables, de esta manera la intensidad de los fotones que pasan a través de una muestra que contiene el analito, se atenúa debido a la absorción, la medida de esta atenuación que recibe el nombre de absorbancia, es la que sirve de señal. La turbidez de este precipitado se mide espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm y con una celda de 1 cm.
- **Procedimiento**
  - a. Se utilizó el espectrofotómetro ingresando el número de programa almacenado para el nitrógeno de sulfato de alto rango ( $\text{SO}_3^-$ ).
  - b. Se hizo girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre 680 nm.

- c. Se llenó una celda para espectrofotómetro con 25 ml de muestra.
- d. Se agregó el contenido de una bolsa de polvo de reactivo de nitrato sulfato.
- e. Finalmente se visualiza el resultado en mg/L.

### **Determinación de la concentración de nitratos y nitritos**

La metodología aplicada comprendió una detección inicial de  $\text{NO}_2^-$  con reactivo de Griess, seguida por la reducción del  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  con  $\text{VC1}_3$  y detección posterior del  $\text{NO}_2^-$  producido con el exceso de reactivo de Griess presente. Su límite de detección fue de  $< 0.05 \mu\text{M}$  y proporciona alta precisión en la determinación de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  para muestras donde la concentración sumada de ambos compuestos sea inferior a  $30 \mu\text{M}$ . Permite el análisis rápido de series grandes de muestras usando volúmenes pequeños, al reducir a la mitad la cantidad de muestra y de reactivo de Griess utilizados. Adicionalmente permite diseñar un sistema de análisis mediante inyección de flujo para medir nitrito y nitrato en la misma muestra y el mismo canal, utilizando así la mitad de la cantidad de muestra y reactivo de Griess que emplean los métodos tradicionalmente empleados <sup>(40)</sup>.

### **Determinación de la concentración de sólidos disueltos**

- **Método:** Conductimetría
- **Fundamento:** Este método mide específicamente el total de residuos sólidos filtrantes (sales o residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de  $2 \mu\text{m}$  (o más pequeño). La presencia de sólidos disueltos puede afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas sobre todo si se trata del agua potable, cuando el agua para consumo humano presenta un alto contenido de sólidos, son por lo general de mal grado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa al consumidor (54).
- **Procedimiento:**
  - a. Se colocó en un vaso de precipitado 40 ml de la muestra de agua.
  - b. Se introdujo con mucho cuidado el electrodo del conductímetro.
  - c. Se presionó dos veces la tecla Mode hasta que se estabilice.
  - d. Finalmente se tomó nota del valor obtenido en la pantalla.

## Determinación de coliformes totales

- **Método:** Número más probable
- **Fundamento:** Se utilizó el método del número más probable (NMP) que nos permite realizar el cálculo de la densidad probable de bacterias coliformes en la combinación de resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución. La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Son necesarias tres diluciones para la obtención del código del NMP. Las tablas de NMP se basan en la hipótesis de una dispersión de Poisson (dispersión aleatoria).

Sin embargo, si la muestra no se ha agitado adecuadamente antes de hacer las porciones o si existe agrupamiento de bacterias, el valor de NMP pudo resultar mayor que el número real de densidad bacteriana (50). La densidad bacteriana se obtuvo a través de la fórmula facilitada o a través de tablas en las que se presenta el límite de confianza de 95% para cada valor determinado y se expresa como NMP de coliformes/100 ml.

- **Procedimiento:**
- **Prueba presuntiva**
  - Se inocularon volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de muestra de agua en una serie de 9 tubos de Caldo Lactosado, en los cuales los primeros 3 tubos presentaron el doble de la concentración de dicho caldo y los 6 restantes de doble concentración.
  - Se incubaron los tubos debidamente rotulados a 37 °C durante 24 – 48 horas (50).
  - Se transfirió un inóculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo verde brillante bilis e incubados posteriormente a 37 °C durante 48 horas.
  - Esta prueba reduce la posibilidad de resultados falsos positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de bacterias formadoras de esporas.
  - La formación de gas, el entubamiento y la fermentación dentro del lapso de 24 a 48 horas constituyen una prueba confirmativa de la presencia de coliformes totales.
  - Los resultados se expresan en términos de número más probable (NMP) de microorganismos (50).

- **Interpretación**

Si el total de tubos son negativos: el examen se dio por terminado, reportando la ausencia de coliformes totales y coliformes fecales en la muestra analizada. Todos aquellos tubos que resulten positivos para prueba presuntiva se anotaron convenientemente y se procedió a realizar la prueba confirmatoria para coliformes fecales.

- **Prueba confirmativa**

- Se transfirió un inóculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo verde brillante bilis e incubados posteriormente a 37 °C durante 24 – 48 horas.
- Esta prueba redujo la posibilidad de resultados falsos positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de bacterias formadoras de esporas.
- La formación de gas, el enturbiamiento y la fermentación dentro del lapso de 24 a 48 horas constituyeron una prueba confirmativa de la presencia de Coliformes.
- Los resultados se expresan en términos de número más probable (NMP) de microorganismos.

- **Interpretación**

Si se observa turbidez y producción de gas: la prueba se consideró positiva, debiendo anotar el número de tubos positivos para posteriormente hacer el cálculo del NMP. Si en ninguno de los tubos se observó producción de gas, aun cuando se observe turbidez: se consideró negativo, estableciéndose el código 0, 0, 0 para efecto del cálculo del NMP (tabla del número más probable al 95% de confiabilidad).

### **Determinación de coliformes fecales**

- **Método:** Número más probable.
- **Fundamento:** La técnica de filtro de membrana se fundamenta en la filtración de un volumen determinado de muestra (100 ml) a través de un filtro de membrana de 0,45 µm de diámetro de poro, el cual es colocado sobre un medio de cultivo específico y luego incubado a la temperatura adecuada. El método de filtración con membrana para la determinación de coliformes totales y coliformes termotolerantes está aceptado por el

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association – American Water Works Association, 1999), que lo propone como una alternativa para la determinación de las coliformes totales y coliformes termotolerantes (56).

- **Procedimiento:**

Se inoculó de cada tubo positivo de la prueba confirmativa a placas Petri que contienen medio de cultivo EMB, sembrando el inóculo mediante una estría simple por agotamiento en el agar y se incubó por 48 horas a una temperatura de 37 °C en una estufa de incubación (50).

- **Cálculos:**

De acuerdo a los tubos positivos en las pruebas confirmativas para coliformes totales y coliformes fecales, se estableció los códigos correspondientes para calcular por referencia en la tabla estadística correspondiente, el NMP de coliformes totales y coliformes fecales en 100 ml de agua (50).

#### *2.4.3. Determinación del contenido de metales pesados en el agua potable de la llave*

##### **Método: Absorción Atómica**

Para poder realizar estos análisis se utilizó el método de Absorción Atómica (AAS), en el espectrofotómetro de marca AVANTA 3000, en el laboratorio especializado de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

Se realizan los análisis para los siguientes metales pesados:

- Cadmio
- Plomo
- Cobre
- Zinc
- Cromo

##### **Determinación de zinc:**

- Preparación de solución patrón:

La solución patrón de Zinc, con un contenido de 10 ppm se prepara del modo siguiente:

- Se pesan 0,0110 g de sulfato de zinc heptahidrato,  $ZnSO_4$

### **Determinación de plomo:**

#### **Tratamiento preliminar de la muestra:**

- Al momento de la recolección, acidificarla con  $HNO_3$  concentrado hasta un  $pH \leq 2$  evitando el exceso de  $HNO_3$ .
- Preparar un blanco con agua destilada libre de plomo y realizar el procedimiento paralelamente con la muestra.
- La determinación debe efectuarse por duplicado.
- Tomar una alícuota de 100 cm<sup>3</sup> de muestra acidificada ( $pH_2$ ) en un embudo de separación (B), añadir 30 cm<sup>3</sup> de  $HNO_3$ , 1 + 4, y 50 cm<sup>3</sup> de solución reductora citrato - cianuro 4.5 y mezclar.
- Añadir 10 cm<sup>3</sup> de solución de trabajo de ditizona 4.7, agitar fuertemente el embudo tapado, por 30 segundos y dejar separar las capas.
- Insertar algodón libre de plomo en el extremo del vástago y descartar 1 a 2 cm de la capa de  $CHCl_3$ ; luego, llenar la celda del espectrofotómetro y leer la absorción a 510 nm, usando la solución de ditizona 4.7 para el cero del espectrofotómetro.

### **Determinación de cadmio:**

- Sé pipeta un volumen apropiado de muestra que contenga de 1 a 10 mg de cadmio en un embudo de separación y se lleva el volumen a 25 ml con agua.
- En el caso de que el agua potable contenga 10 mg/l de cadmio o menos, se agregan 0.5 ml de ácido clorhídrico concentrado a 200 ml de la muestra y se evapora a 20 ml. Se agrega unas cuantas gotas de solución azul de Timol y luego solución 6 N de hidróxido de sodio hasta que el indicador vire al amarillo a un pH aproximadamente de 2.8 se lleva el volumen a 25 ml con agua.
- Ajustar en forma similar el pH de la muestra la cual ha sido procesada por digestión ácida.

- A menos que la curva de calibración sea preparada al mismo tiempo se prepara un testigo y un estándar conteniendo 6.00 mg de cadmio en un volumen final de 25 ml y se corren juntos con el problema, procediendo como en 5.2. Se obtiene la concentración de cadmio de la curva de calibración.

## 2.5. Procedimientos de investigación

### 2.5.1. *Análisis estadístico de datos*

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y bacterianos de las muestras de agua, serán previamente analizados mediante pruebas estadísticas descriptivas (media) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación). Seguidamente para determinar si existieron o no diferencia estadística significativa entre los puntos de muestreo, se aplicarán pruebas de análisis de varianza y de Tukey, todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95 %. Los análisis estadísticos de datos, así como la generación de gráficos estadísticos y representación gráfica se obtuvieron a partir de los softwares Infostat versión estudiantil y microsoft Excel 2016.

### 2.5.2. *Alternativas de solución para mejorar la calidad fisicoquímica, microbiológica y el contenido de metales pesados del agua potable en la ciudad de llave*

Para el cumplimiento del objetivo, se realizará una exhaustiva revisión bibliográfica especialidad procedente de investigaciones publicadas en prestigiosas universidades y revistas indexadas, las cuales reportan diversas tecnologías aplicables en el mejoramiento de la calidad en el proceso de potabilización del agua para consumo humano.

## **Solución para mejorar la calidad del agua potable en cuanto a coliformes totales y fecales:**

### **a) Proceso de cloración:**

La cloración es un **medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua** y hacerla potable. Consiste en introducir productos clorados (pastillas de cloro, lejía, etc.) en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos. Normalmente, tras un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable. Gracias al efecto remanente del cloro,

continúa siéndolo durante horas o días (en función de las condiciones de almacenamiento).

El tratamiento del agua por cloración **permite eliminar de forma sencilla y poco costosa la mayor parte de coliformes totales y fecales** responsables de enfermedades como la disentería, las fiebres tifoideas y el cólera.

Dependiendo de los resultados obtenidos en la presente investigación se procederá a realizar los procesos preliminares a la cloración y luego la misma, en coordinación con los responsables de la planta de abastecimiento del agua potable en la ciudad de Ilave – Departamento de Puno.

### **Procedimiento:**

- **Tratamiento preliminar:**

- **La filtración:**

El agua se filtrará con ayuda de un filtro de arena con el que cuenta la planta de abastecimiento del agua potable.

- **La decantación:**

La decantación permite eliminar muchos materiales en suspensión.

- Se dejará reposar el agua durante varias horas, tiempo en el que las impurezas se acumulan en el fondo del recipiente.
- A continuación, se recupera el agua clara, vertiéndola con suavidad en el recipiente destinado a la cloración o filtrándola.
- El agua decantada no es salubre, ya que solo se eliminan las partículas de gran tamaño, mientras que la mayoría de coliformes continúan estando presentes.
- La decantación puede favorecerse añadiendo ciertos productos químicos como cloruro férrico o sulfato de aluminio, que provocan la formación de aglomerados de impurezas, los cuales se depositan con mayor rapidez en el fondo, es la denominada floculación.

- **La cloración:**

Existen diferentes productos clorados que pueden utilizarse para tratar el agua, la estrategia a seguir varía ligeramente de uno a otro, dependiendo de los resultados obtenidos en la investigación, se podrán utilizar los siguientes productos:

**b) Pastillas o gránulos de hipoclorito de calcio:**

Este tipo de producto suele ser uno de los que mejor se adaptan al medio rural. Se conserva muchos años.

- La cantidad a añadir por litro y el modo de empleo figuran en el envase.
- Si el agua está clara, se colocan las pastillas en ella y se las deja reposar 30 minutos con el recipiente cerrado, tras los cuales el líquido puede consumirse.
- Si el agua está turbia, se filtra y decanta, añadiéndosele a continuación una dosis doble de cloro; tras 30 minutos en el recipiente cerrado, el agua puede consumirse.

**c) Lejía (hipoclorito de sodio)**

Originalmente, la lejía no fue concebida para tratar el agua, y por ello su utilización en este sentido presenta pequeños riesgos, sin embargo, es un producto sencillo y eficaz que la población conoce bien por otros usos (colada, desinfección, etc.).

Si no se puede acceder a ningún otro medio (pastillas, soluciones líquidas prefabricadas u otro método de purificación como la desinfección solar SODIS, la ebullición, etc.), puede emplearse tomando ciertas precauciones.

El procedimiento es el mismo que el anterior:

- Si el agua está clara, se le añaden de 5 a 10 miligramos de cloro activo y se deja reposar 30 minutos en el recipiente cerrado, tras los cuales podrá consumirse.
- Si está turbia, se filtra y se decanta, añadiéndosele a continuación entre 10 y 20 miligramos de cloro activo por litro; tras 30 minutos en el recipiente cerrado, el agua puede consumirse.

- El periodo de actuación del hipoclorito de sodio es de al menos media hora, pero si la temperatura está comprendida entre los 10 y los 18 °C, debe incrementarse por lo menos una hora, y aún más si la temperatura es inferior a los 10 °C.
- Para conocer el volumen de lejía correcto que se debe añadir para alcanzar la concentración deseada primero debe conocerse su grado clorométrico, que debe figurar en la botella.
- Un grado clorométrico corresponde a 3,17 gramos de cloro activo por litro de lejía. Así, si la lejía disponible está a x °C y se desea obtener una concentración c de cloro activo en el agua a tratar (entre 5 y 20 mg/l, según el caso), el volumen de lejía que hay que añadir puede calcularse con facilidad a través de la siguiente fórmula:

$$V_{lejía} = c * V_{agua a tratar} / (x * 3,17)$$

- Si la concentración se ha expresado en mg/l, el resultado obtenido viene en ml.
- A modo indicativo o de recordatorio, el volumen de una gota es de unos 0,2 ml, y 1 ml equivale a 0,001 l.
- La cloración del agua puede crear subproductos (compuestos organoclorados) considerados nocivos desde el punto de vista sanitario.

### *2.5.3. Alternativas de solución para mejorar la calidad del agua potable en cuanto a metales pesados:*

#### **a) Fitorremediación:**

##### **Procedimiento:**

##### **Primer paso:**

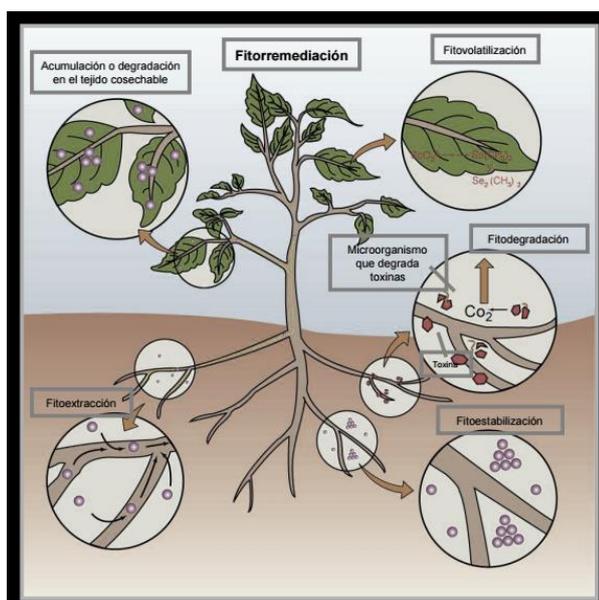
- Selección de las especies adecuadas de acuerdo a la ubicación geográfica, clima, contaminación del agua; así como las características de crecimiento de las plantas, su tolerancia a los metales pesados, tener una alta tasa de crecimiento y productibilidad en el área a ser sembrada
- De acuerdo a estas características de la ubicación geográfica y ventajas que brindan las plantas; las especies adecuadas para la ciudad de Ilave

son: *Cynodon dactylon* (pasto común) y *Schoenoplectus californicus* (totora).

- Se puede sembrar las especies de plantas en invernaderos para que las mismas se aclimaten antes de ser sembradas.

### Segundo paso:

- El agua pasara al sembrío de fitorremediacion a través de bombeo.
- Una vez sembrada la especie de planta y culminado el crecimiento vegetativo y se empieza con la observación de la Fitoextracción, es decir, el crecimiento y desarrollo de las plantas anotando los cambios que se presenten durante una, dos o tres semanas estos cambios dependeran del grado de contaminación del agua.
- La estructura encargada de realizar la absorción y acumulación de metales contaminantes son las raíces del pasto y la totora (sistema hidropónico), por lo cual estas deben estar a una distancia y ubicación adecuada, la misma que permitirá la hiperacumulacion de metales pesados.
- Terminado el recorrido del agua a través del sistema hidropónico, se obtendrá un efluente limpio en el cual la concentración de metales este dentro de los límites permisibles y aptos para su utilización en las viviendas de la ciudad de Ilave.



**Tercer paso:**

- Al observar que las especies de plantas se encuentran en estado de secado (muerte), se procederá con la cosecha de las mismas teniendo en cuenta las mínimas normas de bioseguridad.
- El personal encargado de la cosecha debe contar con guantes, mandil, barbijo adecuado para evitar contaminarse.
- Finalmente, las plantas cosechadas serán incineradas para su posterior entierro y que puedan más adelante servir como abono.
- El contaminante precipitado podrá ser utilizado como abono para plantas artesanales y de decoración.

**Cuarto paso:**

- Una vez culminado nuestro proceso de fitorremediación, se pretende hablar acerca de la Fitoestabilización que por ser una energía limpia permite la sustentabilidad del agua; para tal propósito se tomarán muestras de agua antes de ser suministrada a las viviendas de la ciudad de Ilave para determinar los valores en cuanto a metales pesados, los mismos que habrán disminuido hasta en un 60% con el uso de estas especies de plantas.

## CAPÍTULO III

### EXPOSICIÓN DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Expone los resultados considerando en primer lugar los objetivos específicos y en seguida el objetivo general.

#### 3.1. Exposición resultados y discusiones

##### *3.1.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable en la ciudad de Ilave*

#### **Parámetros fisicoquímicos del agua potable de la ciudad de Ilave**

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras de agua de tres puntos del proceso de potabilización en la ciudad de Ilave, se presentan en el tabla 7, y presentaron valores de pH que oscilaron entre 8.05 y 794 unidades en el PM1 y PM2 respectivamente (figura 2), la dureza se determinó entre 174.62 y 160.67 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (figura 4) el contenido de cloruros entre 143.61 y 111.72 mg/l (figura 6), los sulfatos entre 69.54 y 56.36 mg/l (figura 8), los nitritos entre 0.96 y 0.53 mg/l (figura 10), los sólidos totales disueltos entre 428.27 y 367.23 mg/l (figura 12), turbidez entre 5.17 y 3.87 UNT (figura 14), en éstos últimos seis parámetros en las muestras procedentes del PM1 y PM3. Asimismo, se visualiza que el contenido de nitratos fue negativo en todas las muestras colectadas de los tres puntos de muestreo.

Con respecto a que si los valores de los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los LMP refrendados en las normas ECAs (D. S. N° 004-2017-MINAM), el pH, la dureza total, el contenido de cloruros, el contenido de sulfatos, el contenido de nitritos y el contenido de sólidos totales disueltos, se encuentran dentro de dichos valores permitidos en muestras de los tres puntos de muestreo (punto de captación - río Ilave, depósito de bombas – tratamiento y reservorio - Santa Bárbara); mientras tanto los valores de turbidez (5 UNT) superan el rango permitido en muestras procedentes de los PM1 y PM2, llegando a valores 5.1, 5.3 y 5.5, en el PM2 y PM1 respectivamente (figura 14).

**Tabla 7.** Parámetros fisicoquímicos en muestras de agua potable de la ciudad de Ilave.

| Puntos de muestreo | Parámetros fisicoquímicos |        |          |          |          |          |        |          |
|--------------------|---------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|
|                    | pH                        | Dureza | Cloruros | Sulfatos | Nitratos | Nitritos | STD    | Turbidez |
| PM1                | 8.43                      | 181.43 | 151.21   | 71.90    | Negativo | 0.19     | 496.23 | 5.30     |
|                    | 8.32                      | 177.12 | 160.25   | 72.40    | Negativo | 1.30     | 515.98 | 5.50     |
|                    | 7.40                      | 165.31 | 119.38   | 64.32    | Negativo | 1.40     | 362.60 | 4.70     |
| Prom               | 8.05                      | 174.62 | 143.61   | 69.54    | Negativo | 0.96     | 458.27 | 5.17     |
| D. E.              | 0.46                      | 6.81   | 17.53    | 3.70     | Negativo | 0.55     | 68.13  | 0.34     |
| C. V. (%)          | 5.74                      | 3.90   | 12.21    | 5.32     | Negativo | 56.92    | 14.87  | 6.58     |
| PM2                | 8.31                      | 173.41 | 134.23   | 63.70    | Negativo | 0.13     | 411.10 | 4.80     |
|                    | 8.21                      | 168.23 | 143.12   | 65.70    | Negativo | 0.90     | 426.90 | 5.10     |
|                    | 7.30                      | 156.42 | 113.56   | 53.21    | Negativo | 1.00     | 331.80 | 4.10     |
| Prom               | 7.94                      | 166.02 | 130.30   | 60.87    | Negativo | 0.68     | 389.93 | 4.67     |
| D. E.              | 0.56                      | 8.71   | 15.17    | 6.71     | Negativo | 0.48     | 50.96  | 0.51     |
| C. V. (%)          | 7.01                      | 5.25   | 11.64    | 11.02    | Negativo | 70.35    | 13.07  | 11.00    |
| PM3                | 8.14                      | 168.19 | 111.54   | 58.40    | Negativo | 0.10     | 390.00 | 4.00     |
|                    | 8.11                      | 162.13 | 121.23   | 61.30    | Negativo | 0.60     | 410.30 | 4.20     |
|                    | 7.60                      | 151.68 | 102.38   | 49.38    | Negativo | 0.90     | 301.40 | 3.40     |
| Prom               | 7.95                      | 160.67 | 111.72   | 56.36    | Negativo | 0.53     | 367.23 | 3.87     |
| D. E.              | 0.30                      | 8.35   | 9.43     | 6.22     | Negativo | 0.40     | 57.91  | 0.42     |
| C. V. (%)          | 3.82                      | 5.20   | 8.44     | 11.03    | Negativo | 75.78    | 15.77  | 10.77    |
| LMP*               | 6.50<br>a<br>8.50         | 500    | 250      | 250      | 50       | 3        | 1000   | 5 UNT    |

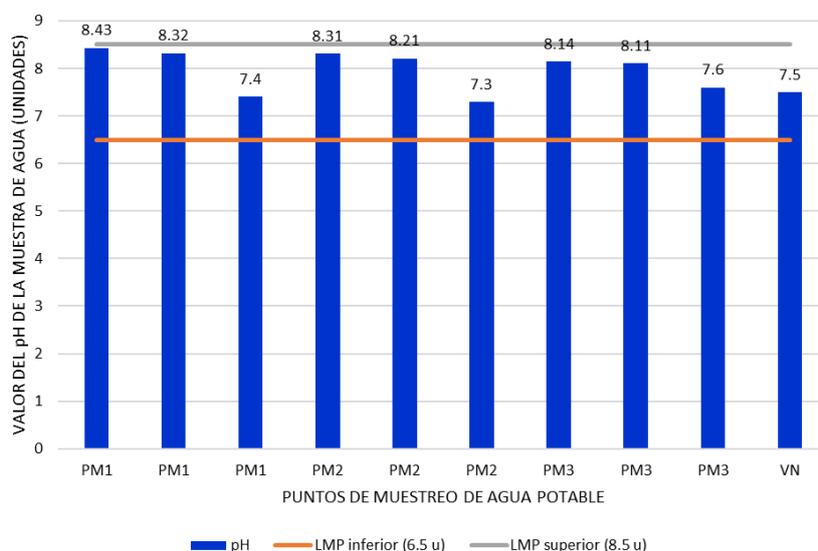
\* D.S. 004-2017-MINAM.

**Fuente:** Elaboración propia

**Donde:** PM, punto de muestreo; PM1, punto de captación (río Ilave); PM2, depósito de bombas (tratamiento); y PM3, reservorio (Santa Bárbara);

Desde el punto de vista del análisis estadístico descriptivo, todos los datos estuvieron próximos al promedio de cada parámetro en cada punto de muestreo, excepto los valores de nitritos los cuales tuvieron coeficientes de variabilidad que oscilaron entre 56.92 mg/l en el PM1 y 75.78 mg/l en el PM3, lo cual indicaría que los datos están muy dispersos con respecto a su promedio. Por otro lado, la estadística inferencial aplicada a los datos, indican que no existió diferencia estadística significativa en los parámetros de pH, ( $F=0.05$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.9552$ ), de dureza ( $F=2.07$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.2069$ ); de cloruros ( $F=2.96$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.1274$ ), de sulfatos ( $F=3.88$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.0830$ ), de nitritos ( $F=0.51$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.6228$ ), de sólidos totales disueltos ( $F=1.57$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.2838$ ); sin embargo, los valores de turbidez si presentaron diferencia estadística significativa ( $F=6.34$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.0331$ ), siendo mayor en el PM1 (5.17 UNT) y menor PM3 (3.87 UNT).

Estos valores disminuyen paulatinamente desde el PM1 (punto de captación – río Ilave) que fueron los mayores a PM2 (depósitos de bombas – tratamiento) y el PM3 (reservorio – Santa Bárbara), que fueron menores generalmente (figuras 5, 7, 9, 11, 13 y 15), salvo la excepción en los valores de pH en el cual el menor valor se determinó en el PM2 (figura 3), sin presentar diferencia estadística significativa con el PM1 y PM3.

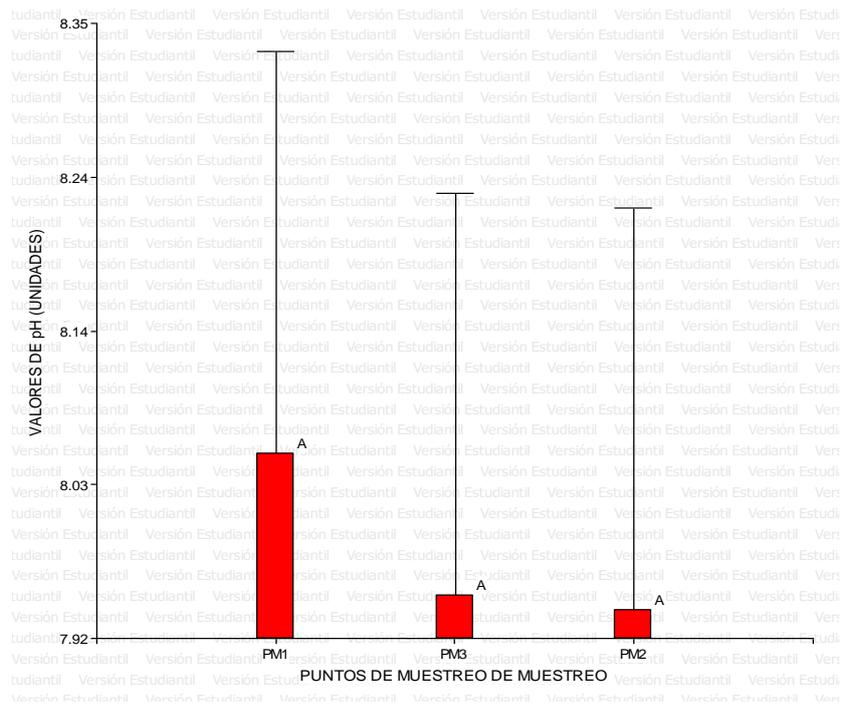


**Figura 2.** Valores de pH (unidades) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados hallados en la investigación fueron similares a otros estudios <sup>(6) (7)</sup> <sup>(16) (17) (59)</sup>, donde reportaron valores de pH, cloruros, sulfatos, dureza total y SDT, siendo calificados como agua de buena calidad, en muestras de agua de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Ilave, Aziruni en la ciudad de Puno, en la localidad de Vilque (Puno), en la localidad de Desaguadero y en la ciudad de Juliaca, respectivamente. En otras regiones del país como la EPSS Grau – Piura <sup>(8)</sup>, la EMAPA de Coronel Portillo – Ucayali <sup>(9)</sup> y la DIGESA – Ayacucho <sup>(10)</sup>, reportaron también valores de parámetros fisicoquímicos dentro de los rangos permitidos por los ECAs. Concuerta también con un estudio de factores físicos del agua del río Ilave, donde obtuvo valores de pH de 7.32 unidades <sup>(15)</sup>.

Por otro lado, realizaron un diagnóstico de la calidad del agua de consumo humano en las comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua), determinándose valores fisicoquímicos de dureza total (700 mg/l), cloruros (350 mg/l) y sulfatos (358 mg/l) <sup>(11)</sup> y de todos los valores fisicoquímicos evaluados en muestras de agua de consumo humano de la ciudad de Aplao (Arequipa) <sup>(12)</sup>, sólo el contenido de los sulfatos (401.6 mg/l), estuvieron por encima de los resultados obtenidos en la presente investigación y por también superaron los valores indicados en los ECAs del Perú. Fueron también diferentes a los reportados en muestras de agua procedentes de la fuente Chimu los valores de cloruros (256.57 mg/l) y sulfatos (260 mg/l) y en muestras de la fuente Totorani los valores de SDT (10.61 mg/l) y sulfatos (740 mg/l) <sup>(13)</sup>, fueron superiores a los valores reportados a la investigación y entres los parámetros de sulfatos (324 mg/l) y dureza (628.91 mg/l CaCO<sub>3</sub>), fueron los valores que superaron las normas ECAs en pozos artesanales y tubulares de la ciudad de Juliaca <sup>(22)</sup>.



**Figura 3.** Análisis de varianza de los valores de pH de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

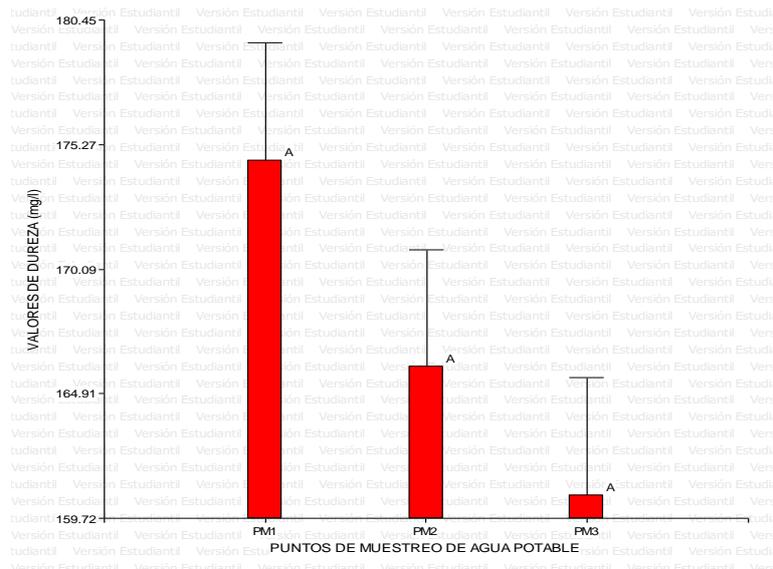


**Figura 4.** Valores de dureza (mg/l de CaCO<sub>3</sub>) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

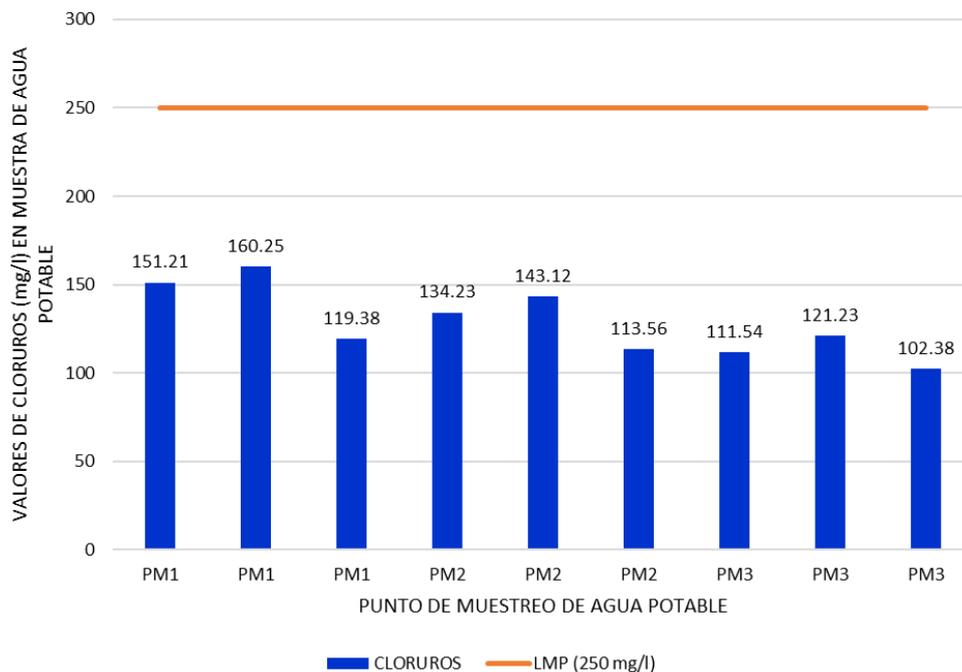
En la investigación el valor de la turbiedad resultó elevado o superior a las normas ECAs en el PM1 con un promedio de 5.17 UNT. Una muestra de agua mientras más turbia se encuentre, será menor su calidad, haciendo que sea poco atractiva a la vista humana y por tanto ser dañina en la salud pública <sup>(24)</sup>, asimismo, la presencia de turbiedad en un cuerpo acuático disminuye la producción de oxígeno por fotosíntesis, y por tanto restringe los usos del agua, ya que indica deterioro estético del cuerpo de agua, interfiriendo en su desinfección <sup>(28)</sup>. La turbiedad es utilizada como indicador del grado de transparencia que posee el agua potable, siendo uno de los más importantes para determinar su calidad y deducir si reúne las condiciones indispensables para catalogarla como de buena calidad, ya que se encuentra en función al contenido de sólidos en suspensión, ya sea de origen vegetal o mineral, el cual dependerá de la fuente del cual se obtenga el recurso a potabilizar <sup>(60)</sup>.

La turbidez elevada hallada en la investigación, se encontró en el PM1 (punto de captación – río Ilave), antes de ingresar al proceso de potabilización, y se debería a que procede directamente del río Ilave, el cual en los últimos años ha tenido diferentes alteraciones río arriba debido a actividades antrópicas como la producción de tunta, la presencia de conexiones con aguas residuales, entre otros factores, pero si la turbidez se eleva en la red de distribución, la causa será el deficiente tratamiento en la planta de potabilización debido al sedimento que quedó en suspensión y la existencia de conexiones cruzadas, protegiendo a los microorganismos de la desinfección, incrementando la demanda de cloro, disminuyendo la destrucción de los patógenos; a su vez, los compuestos químicos como los metales pesados, organoclorados y otros se unen a las partículas en suspensión <sup>(61)</sup>, es por eso que es de vital importancia sanitaria, ya que refleja el contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, siendo un indicio de contaminación <sup>(62)</sup>, por tanto deberá de ser baja para lograr una desinfección eficaz <sup>(63)</sup> y evite que el agua potable transporte tóxicos que manifiesten diversas enfermedades crónicas en los consumidores.



**Figura 5.** Análisis de varianza de los valores de dureza de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

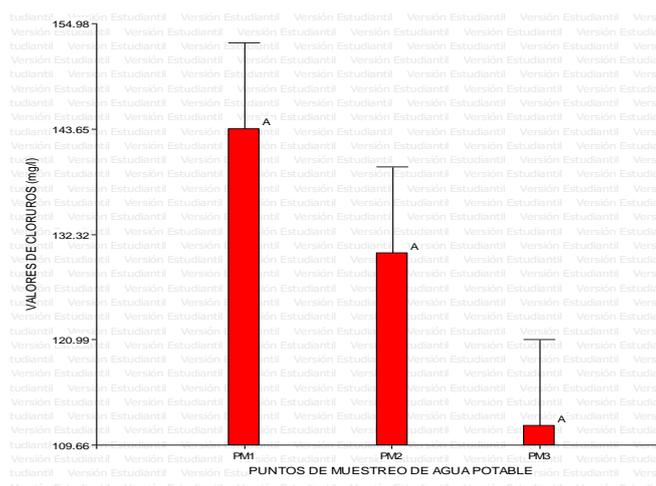


**Figura 6.** Valores de cloruros (mg/l) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

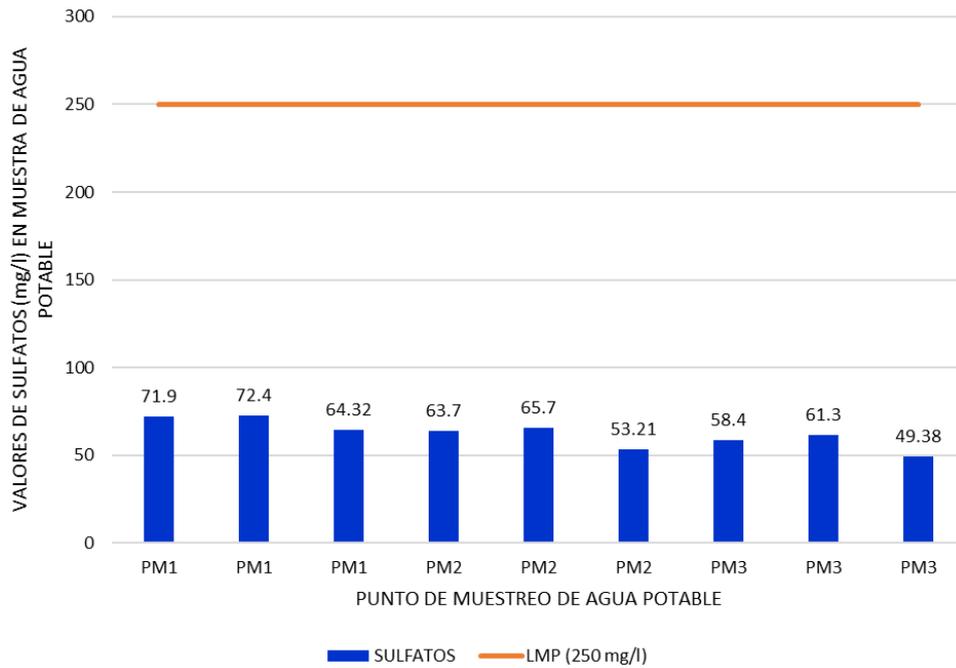
Por otro lado, en la investigación no se encontró elevados valores de sulfatos en las muestras de agua en el proceso de potabilización en la ciudad de Ilave, tal como otros antecedentes <sup>(11)</sup> <sup>(12)</sup> <sup>(13)</sup>, y si en caso fuera posible su incremento, suele originar problemas para la potabilidad de las aguas, causando problemas gastrointestinales ya que poseen efecto laxante <sup>(10)</sup>, por lo que no debería ser usado para la preparación de los alimentos para niños <sup>(64)</sup>. La presencia de sulfatos en muestras de agua de pozo, se debería a que poseen contacto con formaciones rocosas y suelos con minerales sulfatados y el drenado de minas podrían aportar de sulfato debido a la oxidación de la piritita <sup>(41)</sup>, también podría variar a causa de las fuentes de alimentación de los acuíferos, la infiltración de precipitaciones atmosféricas, la lixiviación, la erosión y meteorización de las rocas adyacentes como los terrenos ricos en yesos, la contaminación con aguas residuales industriales y la actividad antrópica <sup>(65)</sup>.

La dureza total es otro parámetro que importante en la calidad de agua para consumo humano, en la investigación todos los valores estuvieron por debajo de los rangos ECAs, pero algunos autores registraron valores por encima de lo recomendado. A pesar de que el agua dura no trae ningún riesgo al consumidor, puede originar problemas como la afectación de las tuberías originando incrustación y corrosión e imposibilitan el efecto adecuado de jabones en las aguas de uso doméstico <sup>(28)</sup>.



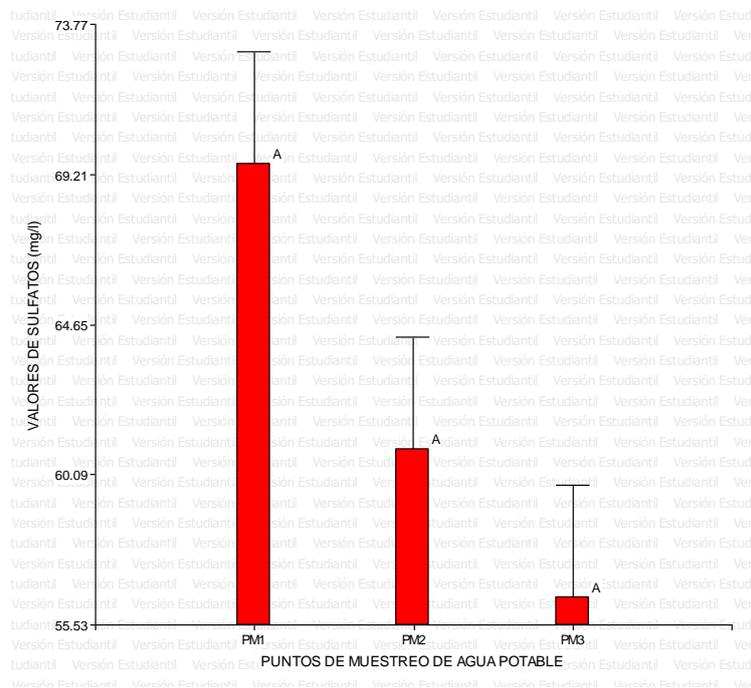
**Figura 7.** Análisis de varianza de los valores de cloruros de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 8.** Valores de sulfatos (mg/l) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

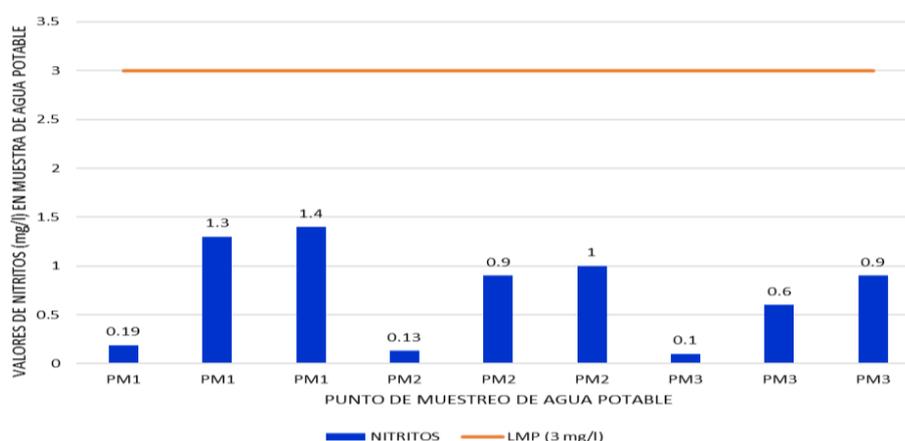


**Figura 9.** Análisis de varianza de los valores de sulfatos de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

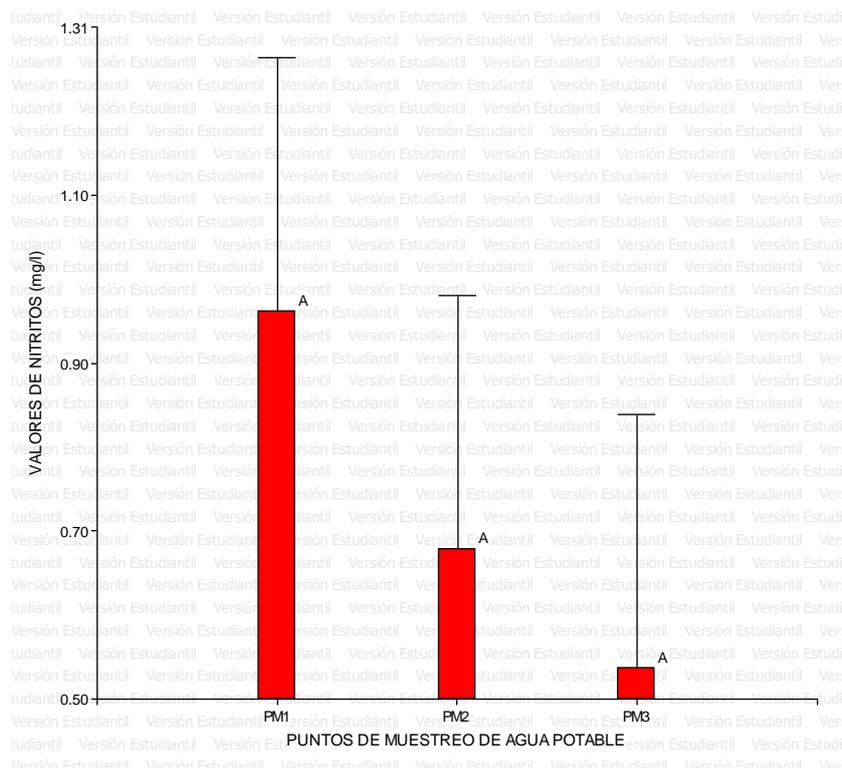
La dureza del agua potable es de preocupación en la salud pública, ya que posee potenciales efectos en la salud, y varios estudios epidemiológicos refieren la relación inversa entre la dureza del agua y las enfermedades cardiovasculares, vale decir, que ejercería un efecto protector contra el infarto de miocardio, atribuido al calcio y magnesio, también hay estudios que no han establecido dicha relación. Por otro lado, no hay evidencias científicas que demuestren una asociación de la dureza de aguas y daños renales; pero sí se ha descrito a nivel internacional, la relación del agua dura y las afecciones a la piel, originando la dermatitis atópica y sibilancia bronquial en niños expuestos al consumo de agua dura <sup>(66)</sup>.

El contenido de cloruros es otro valor importante el cual fue superior en algunos antecedentes tomados en cuenta en la investigación. Su valor que supera los rangos ECAs, traería consigo traer inconvenientes en el gusto desagradable del agua en sus consumidores, y se debería a una probable contaminación por excremento humanos, principalmente la orina, ya que contiene cloruros en una cantidad casi similar al de los consumidos con los alimentos y el agua. Una persona consume alrededor de seis g de cloruros por día, e incrementa el contenido en las aguas residuales en unos 20 a 409 mg/l, en tal sentido la elevación de cloruros en una muestra de agua para consumo sería debido a que contaminación con dichas aguas residuales y residuos industriales debido a que contienen cantidades apreciables de cloruros, a pesar de que no son peligrosos a la salud pública, son esenciales para plantas y animales <sup>(26)</sup>.



**Figura 10.** Valores de nitritos (mg/l) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

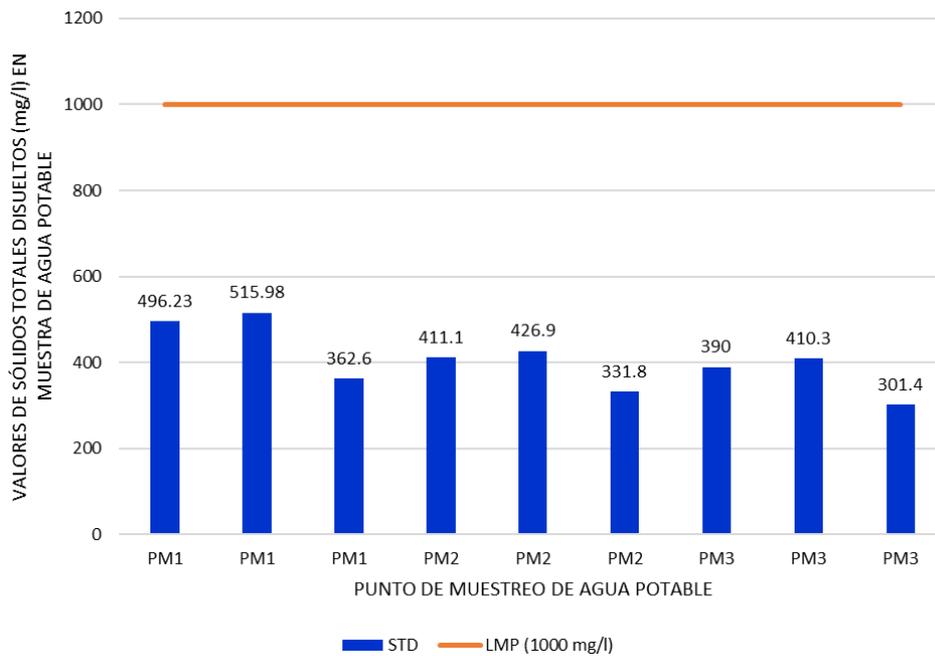
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 11.** Análisis de varianza de los valores de nitritos de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

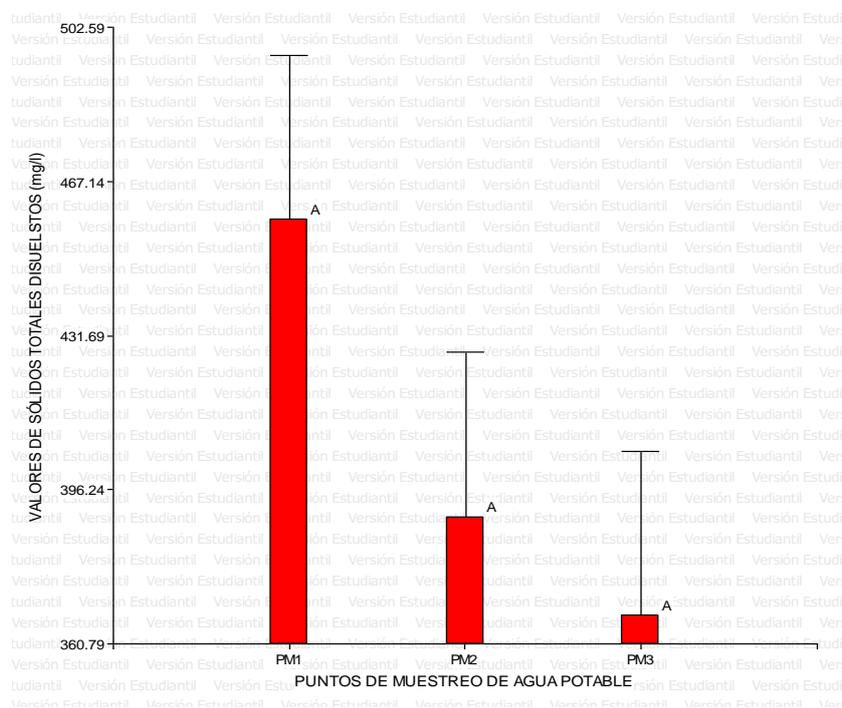
**Fuente:** Elaboración propia.

El contenido de nitratos fue negativo en todas las muestras de aguas de los tres puntos de muestreo; mientras tanto que, el contenido de nitritos presentó coeficientes de variación superiores al 50%, indicando valores muy dispersos en todos los puntos de muestreo. El nitrato y el nitrito son dos especies iónicas naturales del ciclo de nitrógeno de la tierra, se encuentran solubles en agua, y en asociación con iones sodio y potasio, asimismo, el nitrito se oxida fácilmente (se combina con oxígeno) y forma nitrato, éste último es estable en el ambiente; sin embargo, es posible su reducción a nitrito por medio de procesos biológicos que involucran plantas, microbios, entre otros, en tal sentido, los niveles elevados de nitratos en agua potable tendría como causa la contaminación por residuos de animales, los derrames de agua procedentes de empresas lecheras o ganado, el elevado uso de fertilizantes, o la infiltración de drenaje humano que proviene de las fosas sépticas. Los microorganismos que están presentes en el agua pueden transformar los nitratos en nitritos (67).



**Figura 12.** Valores de sólidos totales disueltos (mg/l) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

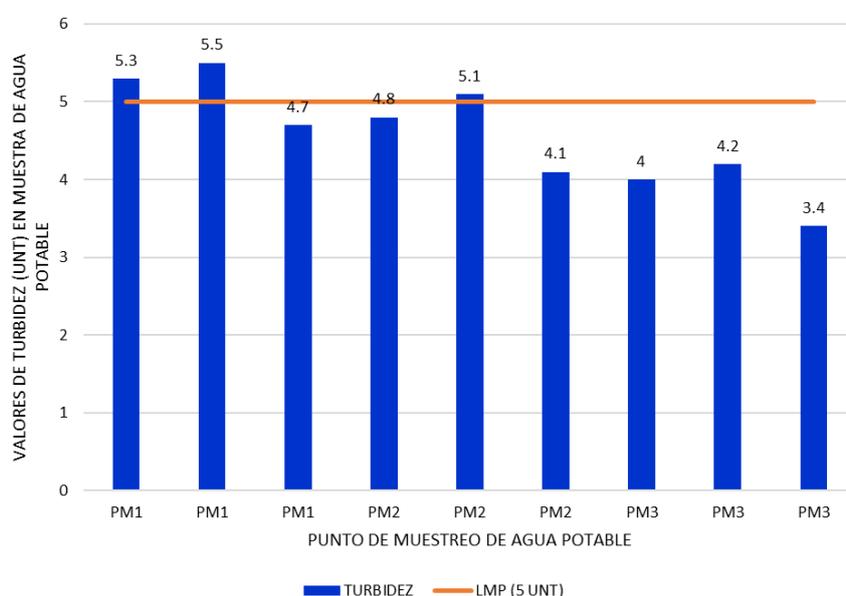


**Figura 13.** Análisis de varianza de los valores de sólidos disueltos totales de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

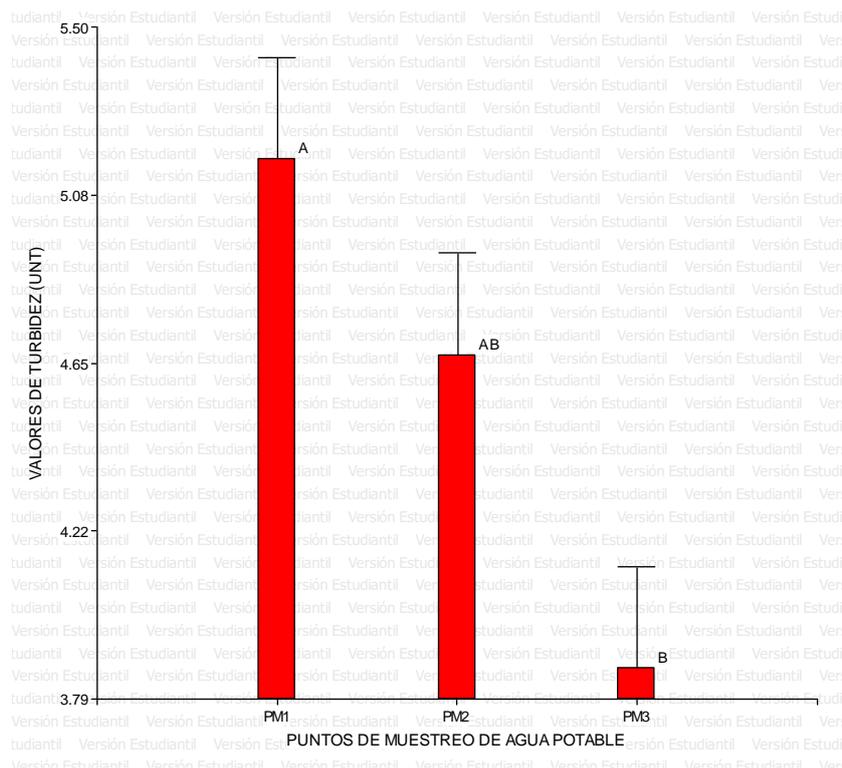
Con respecto a las bacterias coliformes totales, los resultados obtenidos en la investigación (46 y 23 NMP/100 ml) en los PM1 y PM2 respectivamente, fueron similares a los obtenidos por EMAPA Ucayali <sup>(9)</sup>, que afirman recuentos de coliformes totales de 25 NMP/100 ml y en el reservorio Micaela Bastidas y reservorio Palmeras los valores de coliformes totales 4 NMP/100 ml; asimismo se determinó la calidad microbiológica de la fuente Chimu con coliformes totales 18 NMP/100 ml <sup>(13)</sup>; se evaluó el agua de pozo del mercado Bellavista y determinó coliformes totales de 827.25 NMP/100 ml; en el mercado Unión y Dignidad las coliformes totales 102 NMP/100ml <sup>(20)</sup>; en la ciudad de Puno, registró recuentos <3 NMP/100 ml en la fuente Chimu y en la fuente Totorani coliformes fecales 7 NMP/100 ml <sup>(13)</sup>, estando dentro de la norma vigente; y en Ayacucho – Perú, provincia de La Mar, distrito de Anco, estableció los siguientes resultados 70 coliformes totales/100 ml y 7 coliformes fecales/100 ml <sup>(10)</sup>.

Por otro lado, los resultados de la investigación con respecto a coliformes termotolerantes fueron similares a los reportados por EMSA – Puno <sup>(6)</sup>, quienes los resultaron, cifras de coliformes fecales <3 NMP/100 ml, en muestras de agua de la ciudad de Ilave; asimismo con Salazar <sup>(59)</sup>, quien reporta cifras negativas de coliformes termotolerantes.



**Figura 14.** Valores de sólidos totales disueltos (mg/l) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 15.** Análisis de varianza de los valores de turbidez de las muestras de agua en tres puntos de muestreo (PM) de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

En una investigación, bebés menores de 6 meses fueron sensibles a los efectos del consumo elevado de nitritos en fórmulas preparadas, debido a la alteración en su hemoglobina falleciendo algunos, donde la causa se determinó a la metahemoglobinemia (una alteración a la hemoglobina, reduciendo la capacidad de transportar oxígeno hacia los tejidos). Algunos niños y adultos que consumieron alimentos y líquidos con niveles de nitrito altos resultaron con caída de la presión sanguínea, el aumento del pulso, la reducción de la capacidad de la sangre para llevar oxígeno a los tejidos, los dolores de cabeza, los calambres abdominales, los vómitos y la muerte (Vitoria *et al.*, 2015), existe pocas evidencia que sugiere que el nitrito puede originar algunos tipos de cáncer gastrointestinal en seres humanos y en ratones, a causa de las reacciones entre el nitrito y otras sustancias químicas formando compuestos que producen cáncer <sup>(67)</sup>.

## Parámetros bacterianos del agua potable de la ciudad de Ilave

La carga bacteriana promedio presente en las muestras de aguas de los PM1 (46 NMP/100 ml) y PM2 (23 NMP/100 ml) (tabla 8), están por debajo de los rangos permitidos en los ECAs (50 NMP/100 ml); pero en el PM1 la primera muestra analizada superó las normas ECAs (figura 16). En el PM1, los datos bacterianos presentaron un coeficiente de variabilidad del 28.51% lo cual indica una dispersión leve; mientras tanto, los recuentos bacterianos en el PM2, presentó una variabilidad del 55.51%, lo cual indica una dispersión moderada debido a la dispersión de los datos. Entre los PM1 y PM2, los recuentos bacterianos presentaron diferencia estadística significativa ( $F=14.21$ ;  $gl=2$ ;  $P\text{-valor}=0.0053$ ) (figura 17). La carga bacteriana de coliformes termotolerantes estuvieron por debajo de los rangos emanados en los ECAs (20 NMP/100 ml), con valores menores a 3 NMP/100 ml.

**Tabla 8.** Recuentos bacterianos de coliformes totales y termotolerantes (NMP/100 ml) en muestras de agua potable de la ciudad de Ilave.

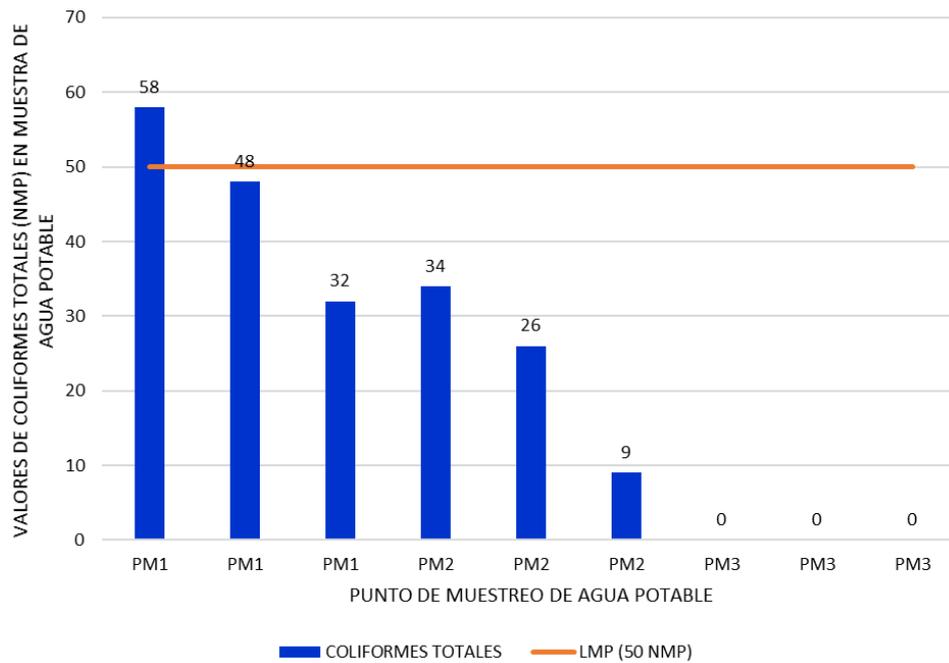
| Puntos de muestreo | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|--------------------|--------------------|----------------------------|
| PM1                | 58                 | <3                         |
|                    | 48                 | <3                         |
|                    | 32                 | <3                         |
| Promedio           | 46.00              | --                         |
| D. E.              | 13.11              | --                         |
| C. V. (%)          | 28.51              | --                         |
| PM2                | 34                 | <3                         |
|                    | 26                 | <3                         |
|                    | 9                  | <3                         |
| Promedio           | 23.00              | --                         |
| D. E.              | 12.77              | --                         |
| C. V. (%)          | 55.51              | --                         |
| PM3                | <3                 | <3                         |
|                    | <3                 | <3                         |
|                    | <3                 | <3                         |
| LMP*               | 50 NMP/100 ml      | 20 NMP/100 ml              |

\* D.S. 004-2017-MINAM.

**Fuente:** Elaboración propia.

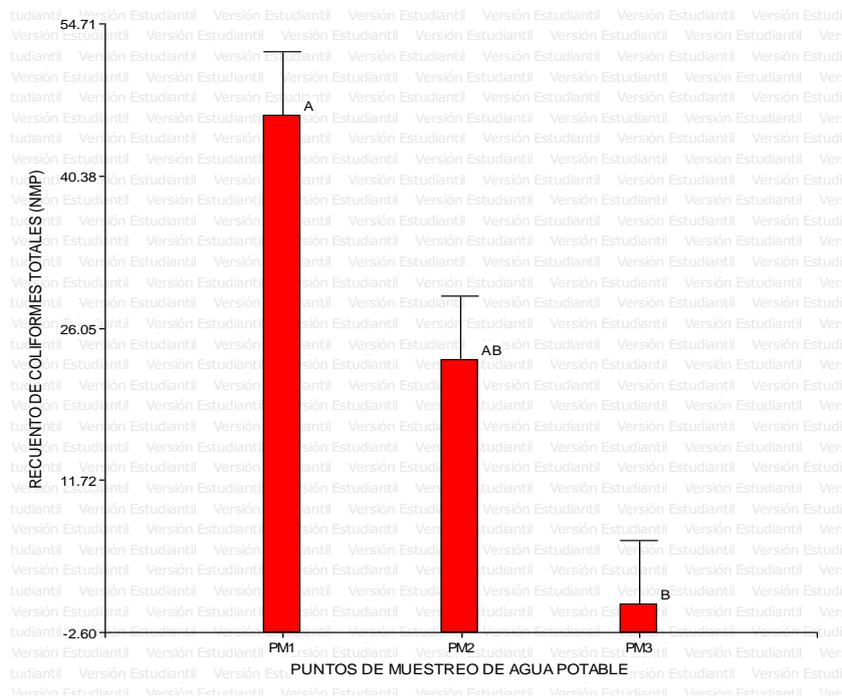
En contraste los resultados de los recuentos bacterianos de coliformes totales y coliformes termotolerantes fueron inferiores a los reportados por Gonzales *et al.* (11), quienes en comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua), registraron análisis bacteriológicos de coliformes totales 400 NMP/100 ml y coliformes fecales 50 NMP/100 ml; Quispe <sup>(12)</sup>, quién estudió muestras de agua de consumo humano en Aplao (Arequipa) con coliformes totales de 42000 NMP/100 ml y coliformes totales 1881 NMP/ ml; con Mendoza <sup>(15)</sup>, quien realizó un estudio microbiológico y estableció valores de coliformes totales 10000 NMP/100 ml y coliformes fecales 1500 NMP/100 ml, Soto <sup>(20)</sup>, en muestras de agua de pozo del mercado Bellavista determinó coliformes termotolerantes con 111 NMP/100 ml; en el mercado Unión y Dignidad las coliformes termotolerantes 0.75 NMP/100ml; Calsin <sup>(22)</sup>, en pozos artesanales y tubulares de Juliaca obtuvo coliformes totales de 378.16 y 226.21 UFC/100 ml, las coliformes fecales de 107.22 y 27.79 UFC/100 ml; y Quispe <sup>(23)</sup>, en 6 manantiales del distrito de Santa Rosa, Melgar (Puno), determinó que los análisis de coliformes totales estuvieron entre 330 NMP/100 ml y 43.33 NMP/100ml y coliformes fecales entre 30 NMP/100 ml y 3 NMP/100 ml.

La presencia de coliformes totales indica la presencia de estas bacterias en el cuerpo de agua ha sido o está contaminada con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos y animales; y las coliformes termotolerantes, son un indicador indirecto de riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, debido a que las coliformes termotolerantes, siempre están en heces humanas y de los animales <sup>(28)</sup>, ya que viven en el intestino grueso, no son patógenos y su presencia permite diagnosticar el tiempo transcurrido desde la contaminación fecal <sup>(68)</sup>. El grupo coliforme incluye a las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas aeróbicas, Gram negativas, no forman esporas, fermentan la lactosa con formación de gas en un periodo de 48 horas y 37 °C y debido a que el número de coliformes en los excrementos humanos es muy grande, la secreción diaria por habitante varía entre  $125 \times 10^9$  y  $400 \times 10^9$ , en tal sentido su presencia en el agua es un índice evidente de contaminación fecal y por tanto la existencia de contaminación con organismos patógenos. El consumo de agua con *E. coli* patógena causa diarrea, especialmente en niños y en viajeros <sup>(26)</sup>.



**Figura 16.** Valores de coliformes totales (NMP/100 ml) de las muestras de agua en tres puntos de muestreo de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 17.** Análisis de varianza de los valores de coliformes totales en muestras de agua en tres puntos de muestreo de la planta de potabilización de la ciudad de Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos, sino también pueden originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo; por tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes <sup>(26)</sup> <sup>(69)</sup>.

Por otro lado, la presencia de coliformes termotolerantes en muestras de agua potabilizadas, se debería a la inadecuada cloración que presentó el punto de muestreo, así como a la presencia de animales y letrinas <sup>(23)</sup> o algún vertido que proceda de aguas residuales domésticas <sup>(65)</sup>. Salazar <sup>(59)</sup>, manifiesta que en observaciones *in situ* de los sistemas de alcantarillado en las ciudades de Puno, no son los adecuados y muchas veces existen roturas de tubos matrices de agua potable, las cuales podrían estar contaminando las aguas que reciben algunos barrios. Vilca <sup>(16)</sup>, aseveran que, la presencia de coliformes se debería a la presencia cercana de hatos, bebederos de animales y letrinas, por lo que el agua puede convertirse en un potencial riesgo de contraer enfermedades diarreicas sino lo realizan el proceso de desinfección y la ingestión de agua con bacterias coliformes ocasionaría gastroenteritis, la infección de piel, ojos y oídos <sup>(70)</sup>.

### *3.1.2. Contenido de metales pesados en el agua potable que se suministra a las viviendas de la ciudad de Ilave por el método de absorción atómica*

El contenido de metales presentes en las muestras de agua del PM3 (reservorio – Santa Bárbara), están por debajo de lo recomendado en las normas ECAs (tabla 9, figuras 19 y 20), excepto los iones plomo con 0.0842 mg/l, el cual es el único que supera las normas que recomiendan valores de 0.01 mg/l (figura 18). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Zaldua *et al.* <sup>(71)</sup>, quienes en la ciudad de San Sebastián (País Vasco – España), las muestras de agua de los grifos del 1.83% de las viviendas de Araba, el 2.18% de las de Bizkaia y del 1.02% de las de Gipuzkoa, superaron el valor referencial de 10 µ/l de plomo en agua de consumo en su país; así como con Llahuilla <sup>(21)</sup>, quien determinó la presencia de dos metales pesados (cadmio y plomo) en agua potable para consumo humano provenientes de los reservorios de la zona de San Juan Pampa (Pasco), reportando rangos de Pb entre 0.1925 y 0.2313 mg/l, evidenciándose la presencia de niveles altos de Pb superiores a los valores permitidos; y a los resultados obtenidos por Moreno *et al.* <sup>(18)</sup>, quienes registraron valores de Pb por encima de

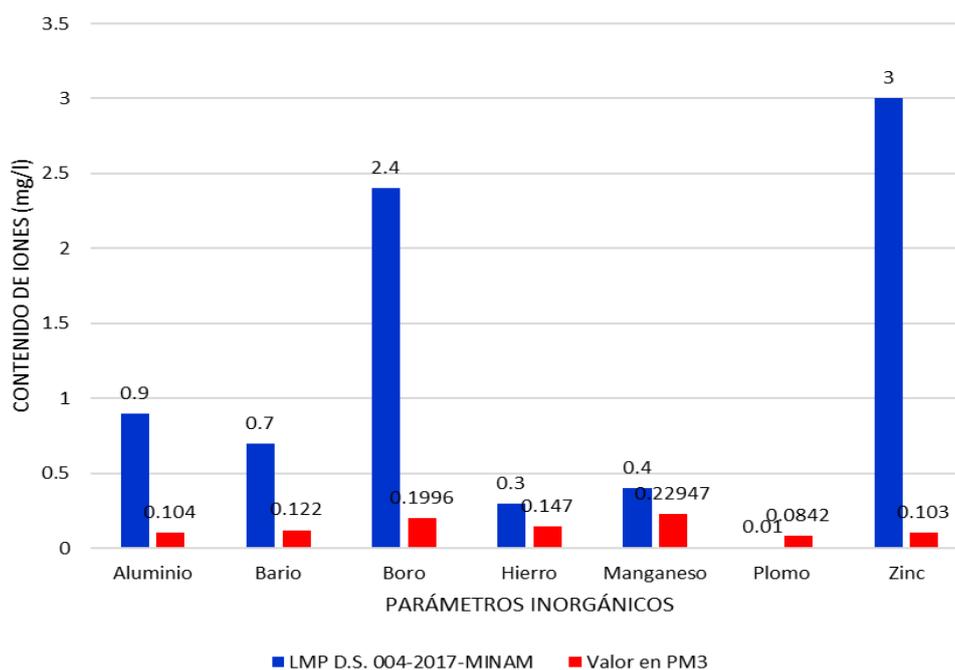
los valores límites máximos para el uso como agua potable (0.025 mg/l) en Xochimilco (México).

**Tabla 9.** Contenido de metales (mg/l) en muestras de agua potable en el reservorio (PM<sub>3</sub>) de la ciudad de Ilave.

| Elemento inorgánico | LMP* | Valor en PM <sub>3</sub> | Elemento inorgánicos | LMP*  | Valor en PM <sub>3</sub> |
|---------------------|------|--------------------------|----------------------|-------|--------------------------|
| Aluminio            | 0.9  | 0.104                    | Berilio              | 0.012 | 0.000079                 |
| Bario               | 0.7  | 0.122                    | Cadmio               | 0.003 | 0.00011                  |
| Boro                | 2.4  | 0.1996                   | Cromo                | 0.05  | 0.00039                  |
| Hierro              | 0.3  | 0.147                    | Molibdeno            | 0.07  | 0.00038                  |
| Manganeso           | 0.4  | 0.22947                  | Níquel               | 0.07  | 0.00051                  |
| Plomo               | 0.01 | 0.0842                   | Cobre                | 2     | 0.002                    |
| Zinc                | 3    | 0.103                    | Selenio              | 0.04  | 0.002                    |
| Antimonio           | 0.02 | 0.00049                  |                      |       |                          |

\* D.S. 004-2017-MINAM

**Fuente:** Elaboración propia.



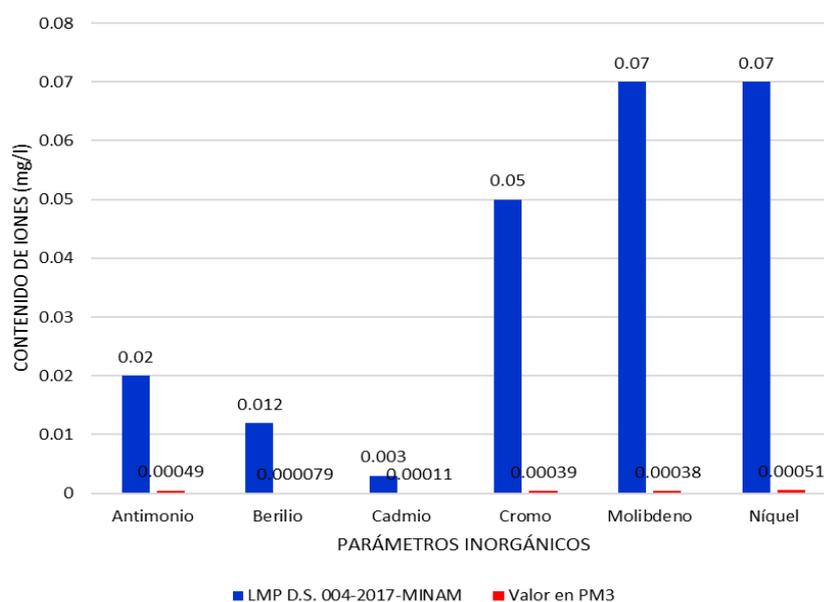
**Figura 18.** Valores permitidos en los ECAs y elementos metálicos mayoritarios presentes en muestras de agua en el PM<sub>3</sub> de la planta de potabilización - Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores de Pb determinados en muestras de agua de grifo de una ciudad, no tendría como origen la disolución de fuentes naturales, sino más bien provendría

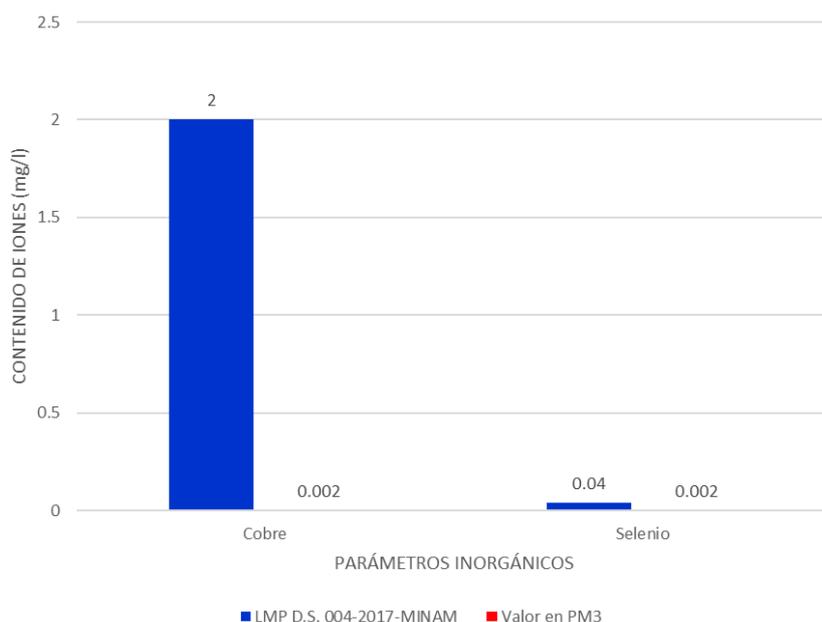
de instalaciones de fontanería doméstica, los cuales contienen Pb en las tuberías, las soldaduras, los accesorios o las conexiones de servicio a las viviendas <sup>(71)</sup>, pero en visitas *in situ*, se ha podido percatar que la misma planta de potabilización de agua de la ciudad de Ilave, posee accesorios metálicos los cuales se constituirían en fuentes potenciales de este elemento metálico, y en los domicilios debido a que muchos vecinos de la ciudad poseen conexiones con más de 20 años antigüedad a base de material metálico los cuales serían la fuente de Pb.

El Pb fue el único elemento metálico entre los metales pesados que se encontró por encima de las normas ECAs, en muestras de agua del proceso de potabilización, se debe tener especial cuidado en su consumo ya que el Pb es una sustancia tóxica que se acumula en el esqueleto, también es tóxico tanto para el sistema nervioso central como para el periférico e induce a efectos neurológicos y conductuales, asimismo, interfiere la actividad de las enzimas implicadas en la síntesis del grupo hemo. La actividad de la deltaaminolevulínico deshidratasa se inhibe a partir de niveles bajos de plomo en sangre si bien no se ha asociado con efectos adversos, así también dificulta el metabolismo del calcio, directamente y a través de la interferencia en el metabolismo de la vitamina D sin que haya podido determinarse un umbral de exposición <sup>(71)</sup>.



**Figura 19.** Valores permitidos en los ECAs y elementos metálicos medianamente mayoritarios en muestras de agua del PM3 de la planta de potabilización - Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 20.** Valores permitidos en los ECAs y elementos metálicos minoritarios en muestras de agua del PM3 de la planta de potabilización - Ilave.

**Fuente:** Elaboración propia.

La liberación de los elementos metálicos como el Pb a partir de material metálico utilizado en tuberías, se debería a la corrosión o deterioro de los metales causado por una reacción química entre el agua y sus tuberías, y entre los factores involucrados se tienen: las propiedades químicas del agua (acidez y alcalinidad) y los tipos y cantidades de minerales en el agua, la cantidad de plomo con la que entra en contacto, la temperatura del agua, qué tan deteriorada están las tuberías, la cantidad de tiempo que el agua permanece en las tuberías y la presencia de capas o revestimientos protectores en el interior de los materiales de plomería (30).

Este elemento se recomienda su pronto tratamiento, ya que en niños pueden causar: problemas de conducta y aprendizaje, coeficiente intelectual (IQ) deficiente e hiperactividad, crecimiento tardío, problemas de audición y anemia, rara vez, causa convulsiones, estado de coma e incluso la muerte. En mujeres embarazadas se bioacumula en el cuerpo con el tiempo, llegando a almacenarse en los huesos con el calcio alterando la estructura de los huesos del feto, ya que puede cruzar la barrera placentaria, induciendo a un crecimiento limitado del feto y el nacimiento prematuro. En adultos, puede traer efectos cardiovasculares, presión arterial elevada e incidencia de hipertensión, insuficiencia renal y

problemas en la reproducción (tanto en hombres como en mujeres) en la formación de las células sexuales <sup>(30)</sup> <sup>(72)</sup>.

Los metales pesados, poseen una elevada toxicidad, causando un fuerte impacto en la salud pública debido a la exposición prolongada y posterior bioacumulación en los tejidos humanos, y dependerá del metal o metaloide, que producirán daños en órganos vitales hasta llegar a procesos cancerígenos <sup>(73)</sup>. A nivel mundial, un caso relevante sucedió en Japón en la década de los cincuenta, en el que la población de las riberas del río Jintsu, se vio afectada por consumir arroz contaminado con Cd ya que se regaban con vertimientos de las minas, originando la enfermedad denominada osteoartritis afectando el tejido óseo <sup>(73)</sup>. En otra región, en la población infantil de Torreón (Coahuila – México), se produjeron envenenamientos por Pb, procedentes de actividades industriales que agregaron este metal a la cadena alimenticia y al agua <sup>(75)</sup>. En tal sentido la ciudad de Ilave estaría clasificada como de alto riesgo, ya que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y varias autoridades ambientales, lo afirman así, cuando existe el incremento en la concentración por encima de los límites establecidos <sup>(76)</sup>.

### *3.1.3. Alternativas de solución para mejorar la calidad del agua potable en la ciudad de Ilave*

En la investigación los valores de turbidez superaron los valores emanados por los ECAs del Ministerio del Ambiente del Perú, una alternativa de solución lo manifiestan Cruz *et al.* <sup>(77)</sup>, quienes experimentaron la eficiencia de un filtro a base de carbón activado generado a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable producido en la ciudad de Tumbes, dicho carbón activado fue obtenido por activación química con  $ZnCl_2$  a 600 °C durante 2 horas y bajo atmósfera de nitrógeno y el quitosano fue añadido bajo condición húmeda por 4 horas en agitación constante, entre sus resultados se logró disminuir eficientemente los valores de turbidez en 46.9 y 68.9%, asimismo, la cantidad inicial de bacterias heterótrofas disminuyó en 32.8 y 66.7% en los primeros 50 min del experimento, tratando caudales de agua de 0.20 l/min.

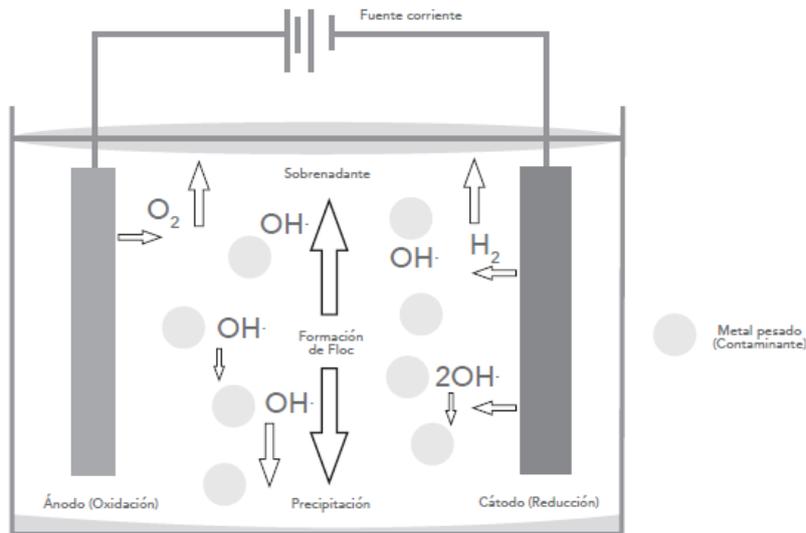
La disminución de los valores de turbiedad en el agua para consumo humano es de vital importancia con la finalidad de que no tenga efectos negativos en los consumidores, su remoción, es recomendable antes del tratamiento de

desinfección, debido a que los altos niveles de turbiedad disminuyen los efectos del cloro con acción desinfectante, pudiendo incrementarse el crecimiento microbiano, necesitando elevadas cantidades de cloro para lograr la desinfección, siendo perjudicial para la salud <sup>(60)</sup>.

Por otro lado, el metal pesado Pb, fue el único que superó los valores emanados por los ECAs, ante ello se plantea la siguiente alternativa de solución reportada por Gebremedhin <sup>(78)</sup>, quien para remover Hg en presencia o ausencia de Cu, Zn y Ni utilizó minerales zeolíticos modificados mexicanos con compuestos orgánicos de azufre a pH ácido, lográndose la mayor retención de Hg con minerales zeolíticos modificados con cloruro de cisteaminio o dicloruro de cistaminio, con una adsorción máxima de 0.0511 y 0.0525 mmol Hg/g, respectivamente, donde la presencia de Cu, Zn y Ni no interfirieron el procedimientos químicos.

Acosta *et al.* <sup>(79)</sup>, afirman que la remoción de metales pesados en aguas es preocupación de las autoridades ambientales, por los altos costos, y la producción de residuos secundarios y muchas veces con baja eficiencia de los procesos empleados, en tal sentido los investigadores sugieren el retiro de metales pesados en aguas, mediante la electrocoagulación, ya que genera pocos residuos secundarios, es viable económicamente con altos porcentajes de remoción, cercanos o iguales al 100%.

La electrocoagulación es similar a la coagulación, pero presenta mayor eficiencia, y se debe a que los cationes generados poseen mayores porcentajes de remoción frente al tradicional sulfato de aluminio o hierro. El uso de esta tecnología se basa en utilizar un reactor de electrocoagulación, a manera de una celda electrolítica cuyos elementos conductores de energía eléctrica o electrodos (ánodos o electrodos de trabajo y cátodos o electrodos inertes), se sumergen en el líquido a tratar <sup>(80)</sup>. Y dentro de los metales más estudiados se encuentran el arsénico, hierro, níquel, cobre, zinc, plomo, cadmio, mercurio y cromo hexavalente, siendo los electrodos más utilizados en los procesos de electrocoagulación aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) y hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) <sup>(81)</sup>, donde se han reportado altos porcentajes de remoción <sup>(82)</sup>.



**Figura 21.** Mecanismo de electrocoagulación e agua contaminada con un metal pesado.

**Fuente:** Acosta *et al.* (2013).

En la actualidad la ciudad de Ilave estaría literalmente consumiendo agua potable con una adecuada dureza, pero si en caso la población prefiera disminuir la presencia de dureza (calcio) en el agua de consumo, se les recomendaría que el agua sea hervida y se deje reposar por varias horas antes de beberla, de modo que las partículas de calcio precipiten, finalmente se debe eliminar las impurezas precipitadas que quedará en el fondo del envase <sup>(66)</sup>.

Carranza <sup>(83)</sup>, en la Universidad de El Salvador, evaluaron dos tecnologías artesanales para remover plomo y arsénico en agua para consumo humano, constituida por dos cubetas y el método de remoción asistido por luz solar (RAOS), que se basan en la propiedad coaguladora del hidróxido de hierro (III), el cual por adsorción – floculación capta partículas del As y Pb presentes en el agua a tratar, para la formación del coagulante se utilizaron clavos de hierro de una pulgada, los cuales se pusieron en contacto con agua destilada a diferentes periodos de tiempo y obtuvieron la remoción de plomo en el 99.98% y en la unidad de tratamiento con dos cubetas del 99.92%, por tanto, con ambos métodos se redujo el contenido de Pb por debajo del límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua potable NSO 13.07.01:08, no siendo eficaz para otros elementos como el As.

Vilchez <sup>(84)</sup>, en su investigación doctoral, manifiesta que los sistemas de biofiltros sumergidos, son ampliamente empleados en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, poseen bajo costo inicial y de mantenimiento, recomienda a nivel biológico y químico la utilización de biofiltros de biopelículas sumergida destinados a la descontaminación de metales pesados de aguas, ya que son capaces de eliminarlos del efluente. Obtuvieron la formación de biopelícula en los biofiltros empleados en 24 horas y el tiempo de lavado fue de diez días, con un caudal de 2.3 l/hora y una concentración de sacarosa de 250 mg de sacarosa/L. El metabolismo de los microorganismos presentes en las biopelículas se ve influenciado por la presencia de metal pesado. El género predominante en el biofiltro con cobre (II) fue *Sphingomonas*, en la presencia de plomo (II) incrementa la comunidad de la Familia Rhodobacteraceae, en el biofiltro contaminado con el ión Cr (III) se obtuvo comunidades de Alfa-proteobacterias como a Beta-proteobacterias, y la presencia de As (III) en el influente incrementa la Familia Rhizobiaceae en la biopelícula.

Investigaciones recientes reportan que la biomasa microbiana de células vivas o inactivas son eficaces para la adsorción de metales pesados, con rendimientos superiores a los obtenidos con carbón activo, esta diferencia se debe a la presencia de grupos químicos en la superficie celular y en el exopolímero que presentan afinidad química con los cationes, por tanto el empleo de microorganismos, bacterias, hongos o levaduras, e inclusive algas y plantas acuáticas (fitorremediación), tanto vivas como inactivas, es ampliamente utilizado en procesos de bioadsorción de este tipo de contaminantes <sup>(84)</sup>. Gadd <sup>(85)</sup>, determinó una rápida adsorción de iones plumboso, cúprico y cadmio (II) por *Pseudomonas aeruginosa*; Ozdemir <sup>(86)</sup>, empleó células inactivas de *Ochrobactrum anthropi* para realizar la adsorción de cadmio (II) a 30 mg/l e cúprico a 125 mg/l, disminuyendo en un tiempo de 5 minutos de contacto y permanecía constante a lo largo de las restantes 2 horas de experiencia. Los sistemas de biofiltros sumergidos poseen un rendimiento mayor de adsorción con respecto a los fangos activos, es así que Kapoor *et al.* <sup>(87)</sup> estudió la adsorción del ión plomo (II) sobre la biomasa estéril de *Aspergillus niger*, que, por mecanismos de intercambio iónico, obtiene el doble de rendimiento de adsorción.

### 3.2. Conclusiones

1. Los parámetros fisicoquímicos pH (7.94 – 8.05 unidades), dureza (160.67 – 174.62 mg/l), cloruros (111.67 – 143.61 mg/l), sulfatos (56.36 – 69.54 mg/l), nitratos (todos negativos), nitritos (0.53 – 0.96 mg/l) y sólidos disueltos totales (367.23 – 458.27 mg/l), las coliformes totales (<0.3 – 46 NMP/100 ml) los cuales fueron disminuyendo mientras pasaba al tratamiento y coliformes termotolerantes (<0.3 NMP/100 ml), estuvieron por debajo de las normas señaladas vigentes de los ECAs; mientras tanto el valor de la turbiedad si superó en el PM1, el cual también disminuyó en el PM3.
2. El contenido de metales presentes en las muestras de agua del PM3 (reservorio – Santa Bárbara), están por debajo de lo recomendado en las normas ECAs, excepto los iones plomo con 0.0842 mg/l, el cual es el único que supera las normas que recomiendan valores de 0.01 mg/l.
3. Las alternativas de solución que se plantean para mejorar la calidad fisicoquímica, microbiológica y de contenido de metales en la planta de potabilización se mencionan los siguientes: mediante el filtro con carbón activado impregnado con quitosano, para disminución de la turbidez y la carga bacteriana presente; en zonas rurales se plantea el proceso de hervido y posterior sedimentación del agua; para la disminución de metales se plantea el uso de minerales zeolíticos modificados con cisteaminio o dicloruro de cistaminio; asimismo para reducir metales se usa la electrocoagulación; el método de dos cubetas y remoción asistida por luz solar para reducir Pb y As; y finalmente las biotecnologías, la cual utiliza bacterias, hongos, mediante filtros de biopelículas, algas y plantas por fitorremediación para la reducción de metales a partir de soluciones acuosas.

## REFERENCIAS

1. Abad A. Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de cinco manantiales del distrito de Jacas Chico, provincia de Yarowilca, región Huánuco. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2014.
2. Aber S, Amani A, Mirzajani V. Removal of Cr (VI) from polluted solutions by electrocoagulation: Modeling of experimental results using artificial neural network. *Journal of Hazardous Materials.* ;: p. 487 - 490.
3. Acosta G, Coy C, Bourdón A, Cuervo E. La electrocoagulación como un tratamiento eficiente para la remoción de metales pesados presentes en agua residuales. *Revista de la Universidad Militar de Nueva Granada.* 2013; 9(2): p. 306 - 317.
4. Acosta E, Gonzáles L. Fundamentos para el análisis de los alimentos. Barranquilla. .
5. Administración Local de Ilave de Agua Potable. Boletín informativo de la calidad de agua potable. Puno - Perú: Municipalidad Provincial de El Callao; 2011.
6. APHA , AWWA , WPCF. Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual. 17th ed. Madrid - España: Díaz de Santos; 1992.
7. Arnous M, Hassan A. Heavy metals risk assessment in water and bottom sediments of the eastern part of lake Manzala, Egypt, based on remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences.* 2015; 8(10): p. 7899 - 7918.
8. ATSDR. Resumen de Salud Pública. Nitrato y Nitrito. [Online].; 2015 [cited 2018 agosto 15. Available from: [www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs204.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.pdf).
9. Barrenechea A. Aspectos fisicoquímicos de la calidad de agua. [Online].; 2015 [cited 2015 julio 10. Available from: [www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/\\_manuall/\\_tomoI/uno.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/_manuall/_tomoI/uno.pdf).
10. Belizario S. Informe de prácticas pre - profesionales Puno - Perú: Laboratorio de análisis de suelos y aguas, Estación Experimental Ilpa - Puno; 2002.

11. Berenguer A. Tratamiento de aguas residuales mediante tecnología electroquímicas Alicante - España: Universidad de Alicante; 2009.
12. Calsín L. Tratamiento de aguas residuales mediante tecnología de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2016.
13. Camacho A, Giles M, Ortegón M, Palao B, Velaszquez O. Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. 2nd ed. México: Facultad de Química, UNAM; 2009.
14. Cano M. Análisis de elementos residuales depositados en la mano después de disparar un arma de fuego usando espectroscopía de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente. Tesis de Ingeniero. México: Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico, Ingeniería Química Industrial; 2007.
15. Carranza R. Medio ambiente problemas y soluciones. Primera ed. Callao - Perú: Universidad Nacional del Callao; 2001.
16. Carranza F. Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en aguas para consumo humano. Tesis de Magíster en Gestión Integral del Agua. El Salvador: Facultad de Ciencias Agronómicas, Programa de Posgrado en Agronomía Tropical; 2015.
17. Carrillo M, Salinas A. Manual de laboratorio de análisis químico cuantitativo Arequipa - Perú: Universidad Católica de Santa María; 1988.
18. Clair N, Perry L, Mccarty M, Gene F. Química para Ingeniería Ambiental. Cuarta ed.; 2000.
19. Crites R, Tchobanoglous G. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones Bogotá - Colombia: McGraw - Hill Interamericana; 2000.
20. Cook T, Reichardt C. Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa. Morata ed. Madrid - España; 1986.
21. Cruz G, Guzmán V, Rimaycuna J, Alfaro R, Cruz J, Aguirre D. , et al. Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quistosano producidos a partir de biomasa residual. Revista Manglar. 2017; 12(1): p. 65 - 74.

22. D. S. 031-2010-SA DS. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Lima - Perú; MINSA - Perú; 2011.
23. DIGESA DGdS. Reglamento de la calidad de agua para consumo humano. Norma Legal. Lima - Perú; MINSA - Perú; 2011.
24. EMSA - Puno. Boletín informativo de la calidad de agua potable. Boletín del MINSA. Lima - Perú: Municipalidad Provincia de El Collao; 2003.
25. EMSA - Puno. Boletín informativo de la calidad de agua potable. Puno - Perú; Municipalidad Provincial de Puno; 2004.
26. EMSA - Puno. Boletín informativo de la calidad de agua potable. Boletín informativo. Puno - Perú: Municipalidad Provincial de Puno; 2011.
27. EPA AdPAE. Información básica sobre el plomo en el agua potable. [Online].; 2018 [cited 2018 agosto 14. Available from: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable>.
28. EPSS - Grau. Boletín informativo de la calidad de agua potable. Boletín informativo. Piura - Perú: Municipalidad Provincial de Piura; 2004.
29. Espigares M, Fernández M. Calidad del agua para consumo público: caracteres fisicoquímicos. In Pérez J, Espigares M.. Granada - España: Universidad de Granada p. 85 - 115.
30. Fernández M, Fernández O. Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del Municipio de Moa. Rev. de Minería y Geología. 2007; 23(4).
31. Gadd M. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. Current Opinion in Biotechnology. 2000; 11: p. 271 - 279.
32. Gebremedhin T. Remoción de metales pesados del agua por mineral zeolítico químicamente modificado mercurio como un caso particular. Tesis de Magíster. Toluca - México: Universidad Autónoma del Estado de México, Maestría en Ciencias Ambientales; 2002.
33. Gonzáles O, Aguirre J, Saugar G, Orozco L, Álvarez G, Palacios K, et al. Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural nor este del Municipio de León. Rev. Universias. 2007; 1(1).

34. Green B. Plomo en el agua potable. [Online].; 2018 [cited 2018 abril 05]. Available from: <http://gbwater.org/media/80572/Spanish-Lead-Public-Education-Material-website.pdf>.
35. HannaChile. Turbiedad de agua en uso doméstico Santiago - Chile: Hanna Instruments; 2017.
36. Harris C. Análisis químico cuantitativo. Segunda edición ed.: Reverte; 2007.
37. Harvey J. Nitratos de agua en uso doméstico. Water Quality Drinking Water Protection ed. U.S.A.: State of Oregon Department of Environmental Quality; 2017.
38. Hernández C. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 millas de Matina, Limón. Tesis de Licenciatura. Costa Rica: Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambientales; 2016.
39. Hernández J. Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chuquimila. Tesis de Licenciatura. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2012.
40. Hou X, Jones B. Inductively coupled plasma / optical emission spectrometry. Winston - Salem, U. S. A.: Encyclopedia of Analytical Chemistry; 2000.
41. IDEAM IdSP. Nitrato en agua de espectrofotómetro Colombia: Subdirección de Hidrología - Grupo laboratorio de Calidad Ambiental; 2009.
42. INS IdSP. Método de filtración por membrana para determinación de coliformes y E. coli en agua Lima - Perú: Sección PRT - 712.03 - 009; 2008.
43. Janda J, Duffey P. Mesophilic aeromonads in human disease: current taxonomy, laboratory identification and infectious disease spectrum: Reviews in infectious Diseases; 1998.
44. Jimeno E. Análisis de aguas y desagües Lima - Perú: Universidad Central de Buenestar universitario.; 1998.
45. Kapoor A, Viraraghavan T. Removal of heavy metal from aqueous solutions using immobilised fungal biomass in continuous mode. Water Research. 1998; 20(3): p. 1968 - 1970.

46. Krauskopf M, Vera M. Las revistas latinoamericanas de corriente principal: Indicadores y estrategias para su consolidación. *Inter ciencia*. 1995; 20(3): p. 144 - 148.
47. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado CP. Boletín informativo de la calidad de agua potable 2004 Ucayali - Perú: Municipalidad Provincial de Pucallpa; 2004.
48. Laura E. Control de Calidad de los Alimentos. Universidad Nacional de altiplano ed. Puno - Perú: Universitaria; 2009.
49. Llahuilla J. Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorio de la zona de San Juan Pampa - distrito de Yanacancha - Pasco. Tesis de Licenciatura. Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos., E. A. P. Farmacia y Bioquímica; 2015.
50. Luna C. Manual Operativo de análisis microbiológico. 2nd ed. Zaragoza - España: Acribia; 1991.
51. Madigan M, Martinko T, Dunlap P, Clark D. Biología de los microorganismos. Duodécima Ed. ed. Madrid - España: Pearson; 2012.
52. Marcó L, Azario R, Metzler C, García D. La turbidez como indicador de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Rev. Hig. Sanid. Ambient.* 2004; 4: p. 72 - 82.
53. Mendoza C. Microbiología y factores físicos de las aguas de las desembocaduras de los principales ríos tributarios del lago Titicaca. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2011.
54. MINAM Mda. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Lima - Perú; 2008.
55. Miranda N. Tecnología de aguas y control de calidad Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano; 2000.
56. Montero V, Quesada J, Ledezma A, Sandoval R, Melo V. Determinación de arsénico en abastecimiento de agua para consumo humano de la provincia de Cartago, Costa Rica. *Acta Médica Costarricense*. 2010; 52(2): p. 96 - 101.

57. Moreno C, Zugazagoitia R, Sánchez C, Córdova R, Melo V. Determinación de metales pesados en el agua de un canal de Xochimilco (México D. F.) como proyecto de servicio civil. *Rev. Educ , Quím.* 2012; 3(3): p. 375 - 382.
58. Nava C, Méndez M. Efectos neurotoxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias.* 2011; 16(3).
59. NMX-AA-073-SCFI. Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales residuales y residuales tratdas. Norma Mexicana. 2001.
60. NMXAA-093-SCFI. Análisis de agua - determinación de la conductividad electrónica - Método de Prueba. Norma Mexinana.
61. OMS OMs. Guías para la calidad de agua potable México; 1998.
62. OMS Omds. Guías para la calidad de aguas potable. Suiza: Primer apéndice a la tercera edición; 2006.
63. Orellana J. Características del agua potable Argentina: Ingeniería Sanitaria UTN - FRRO; 2005.
64. Orellana J. Ingeniería Sanitaria. 3rd ed. Argentina; 2005.
65. Orozco C, Pérez A, Gonzáles N, Rodríguez F, Alfayate J. Contaminación ambiental. Una visión desde la Química Madrid - España: Thomson; 2003.
66. Oruna C. Calidad bacteriológica, fisicoquímica del agua potable de la ciudad de Puno. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2010.
67. Ozdemir G, Ozturk T, Ceyhan N, Isler R, Cosar T. Heavy metal biosorption by biomass of *Ochrabactrum anthropi* producing exopolysacchararide in activated sludge. *Bioresources Technology.* 2003; 90.
68. Pacheco J, Cabrera V. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán México; 2004.
69. Pacheco M, Calderón V. Microbiología Alimentaria, metodología analítca para alimentos y bebidas. 2nd ed. Madrid - España: Editorial Díaz de Santos; 2000.
70. Pérez A. La deixis personal y otros recursos lingüísticos como marcas de la personalización y despersonalización en artículos científicos publicados en revistas contenidas en el registro de publicaciones científicas y tecnologías

del FONACIT, año 2007. Tesis de Magíster Scientiarum en Educación. Cumaná - Venezuela: Universidad de Oriente, Coordinación de Posgrado en Educación; 2009.

71. Quispe D. Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de seis manantiales del distrito de Santa Rosa - Melgar. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2017.
72. Quispe H. Componentes fisicoquímicos e indicadores bacterianos de contaminación fecal en aguas de consumo humano de la ciudad de Aplao, valle de Majes, Arequipa. Tesis de Licencia. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2010.
73. Romero J. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2000.
74. Romero J. Calidad del agua: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2009.
75. Sabino C. Cómo hacer una tesis y elaborar todo tipo de escritos. Venezuela: Panapo; 2006.
76. Salazar M. Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua, en el sistema de abastecimiento para consumo humano en la ciudad de Juliaca - 2014. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2015.
77. Sánchez I. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del Municipio de Ricaurte y los barrios Brisas de Bogotá y la Victoria del Municipio de Girardot. *Investig. Enferm.* 2010; 12(2): p. 93 - 116.
78. Sawyer C, McCarty L, Parkin G. Química para Ingeniería Ambiental. 4th ed.: Mc GrawHill; 2000.
79. Sierra R. Calidad de agua. 1st ed. Bogotá - Colombia: Editorial Ediciones de la U; 2011.
80. Soto Y. Calidad bacteriológica de agua de pozo y agua potable utilizada en los mercados de la ciudad de Puno - 2012. Tesis de Licenciatura. Puno -

- Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2013.
81. Spellman J. Manual de agua potable. 12th ed. Zaragoza - España: Acribia; 2004.
  82. SUNASS. La calidad del agua potable en el Perú. Publicación Oficial ed. Lima - Perú: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento; 2004.
  83. Taylor S, Bogdan R. Introducción a los métodos cualitativos. 3rd ed.: Ediciones Paidós; 2000.
  84. Tchamango S, Nanseu C, Ngameni E, Hadjiev D, Darchen A. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes: Science of the total environment; 2010.
  85. Trelles J. Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasa vegetal inerte. Tesis de Maestro en Ciencias. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental; 2013.
  86. UCN. Dureza del agua y sus repercusiones en la salud. [Online].; 2018 [cited 2018 agosto 21. Available from: [www.noticias.ucn.cl/columnistaas/dureza-del-agua-y-repercusiones-en-la-salud](http://www.noticias.ucn.cl/columnistaas/dureza-del-agua-y-repercusiones-en-la-salud).
  87. Valdez F. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México: 1era edición; 1999.
  88. Vilca C. Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de consumo humano en la localidad de Vilque, Puno - Perú. Tesis de Licenciatura. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas; 2011.
  89. Vilchez R. Eliminación de metales pesados de aguas subterráneas mediante sistemas de lechos sumergidos. Tesis Doctoral. España: Universidad de Granada, Instituto del Agua; 2005.
  90. Vitoria I, Maraver F, Sanchez F, Armijo F. Contenido de nitratos de agua de consumo público españolas. Gac. Sanit. 2015; 29(3): p. 258 p.
  91. Zaldúa I, Cambra K, Onaindia C, Varela J. Estudio de la problemática derivada de la cesión de plomo y otros metales de las instalaciones de fontanería al agua de consumo en las zonas. San Sebastián.; Gobierno Vasco; 2010.

92. Zamora F, Rodríguez N, Torres K, Yendis H. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Esato Al. Revista Bioagro. 2008; 20(3): p. 193 - 199.

# ANEXOS

## Anexo 1. Certificado de análisis emitido por el mega laboratorio de la universidad nacional del altiplano – puno, resultados fisicoquímicos



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
IQ-2018



Nº 365

### Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de AGUA de: RESERVORIO SANTA BARBARA

**PROCEDENCIA** : Puno-Diave-BARRIO SANTA BARBARA

**INTERESADO** : Isabel Eveling CASTILLO COAQUIRA

**MOTIVO** : Control de Calidad Para consumo humano.

**MUESTREO** : 20/07/2018, por el interesado

**ANÁLISIS** : 20/07/2018

**COD. MUESTRA** : B009-00000045

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:**

**ASPECTO** : Líquido

**COLOR** : Incoloro

**OLOR** : Inodoro

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

|   |             |
|---|-------------|
| pH  | 8,14        |
| <b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>             |             |
| Dureza Total como CaCO <sub>3</sub>         | 168,92 mg/L |
| Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>          | 109,20 mg/L |
| Cloruros como Cl <sup>-</sup>               | 111,54 mg/L |
| Sulfatos como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 58,40 mg/L  |
| Fosforo como PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>  | 0,90 mg/L   |
| Nitritos como NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | NEGATIVO    |
| Nitratos como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0,11 mg/L   |
| Calcio como Ca <sup>++</sup>                | 47,23 mg/L  |
| Magnesio como Mg <sup>++</sup>              | 1,34 mg/L   |
| Sólidos Totales                             | 390,00 mg/L |
| Turbidez                                    | 4 NTU       |

**INTERPRETACIÓN**

1.- Los parámetros físico-químicos analizados en el laboratorio de control de calidad cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua, según D.S 004-2017-MINAM.

**DICTAMEN**

Según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua D.S 004-2017-MINAM. La muestra analizada en el Laboratorio de Control de Calidad: ES APTO para el consumo humano

Puno, C.U. 14 de agosto del 2018.

VºBº



Dr. Nazario Villafuerte Prudencio  
DECANO (e) IQ-UNA



Ing. Luz Marina Teves Ponce  
ANALISTA DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
IQ-UNA - CIP 182393

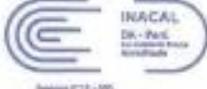
Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -362992.

**Anexo 2. Certificado de análisis emitido por el laboratorio analítico del sur, barrido de metales pesados**



**Laboratorio Analítico del Sur**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL  
INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



**INACAL**  
DIRECCIÓN NACIONAL DE ACREDITACIÓN

---

**INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-00704**

Pág: 1/4

**Hoja de datos**

**Señales:** EVELINO CASTILLO COADJURA  
**Dirección:** AV MARTÍN DEL 4 DE NOVIEMBRE 2014 PUNO SAN ROMÁN ZUJUCA  
**Municipio:** INLAO SAC  
**Proyecto:** BARRIO SANTA BARBARA DIST. DE ILAVE, PRV. DE EL COLLAO, DEPT. DE PUNO  
**Nº de muestra:** 1  
**Muestra realizada por:** Cliente: EVELINO CASTILLO COADJURA  
**Registro de muestra:** 118-08  
**Preparación aplicable:** Muestreado por el cliente  
**Fecha de recepción:** 11/04/2018  
**Fecha de ensayo:** 11/04/2018  
**Fecha de emisión:** 14/04/2018  
**Condiciones de recepción de la muestra:** Color debidamente refrigerado  
**Observaciones:** Cero proporcionado por el cliente.

**Método de ensayo aplicado**

802. EPA 803.2 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4, Métodos Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

| Cód. Interno LAS | Nombre de muestra                 | Matriz de la muestra  | Lugar de muestra   | Punto de muestreo y/o coordenadas Geográficas UTM Este / Norte | Fecha de inicio de muestreo | Hora de inicio de muestreo |
|------------------|-----------------------------------|---|--|--|-----------------------------|----------------------------|
| AG1800289        | AGUA ILAVE - BARRIO SANTA BARBARA | Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Saneamiento - Agua Potable | BARRIO SANTA BARBARA, DIST. DE ILAVE, PRV. DE EL COLLAO, DEPT. DE PUNO | 8243718.24 / N6925470.04                                       | 10/04/18                    | 18:00 h.v.                 |



**Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.**  
**Omar A. Juárez Soto**  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniería Química CP 11428

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.  
 "Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está firmemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier error u omisión o corrección en el contenido del presente documento lo aculca.

---

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdesur.com

**A-18 N° 0697**

**INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-00704**

Hoja de resultados

14/04/2018

Pág.: 2/4

MT=metales totales

| Cod. Intenyo<br>L.A.S. | Nombre de Muestra                   | 801      | 802      | 803     | 804      | 805        | 806      | 807       | 808        | 809       | 810      | 811  |
|------------------------|-------------------------------------|----------|----------|---------|----------|------------|----------|-----------|------------|-----------|----------|------|
|                        |                                     | Ag<br>MT | Al<br>MT | B<br>NT | Ba<br>MT | Be<br>MT   | Ca<br>NT | Cd<br>MT  | Co<br>MT   | Cr<br>MT  | Cu<br>MT |      |
|                        |                                     | ng/L     | ng/L     | ng/L    | ng/L     | ng/L       | ng/L     | ng/L      | ng/L       | ng/L      | ng/L     | ng/L |
| AG1800028              | AGUA LLAVE - BARRO<br>SANTA BARBARA | <=0,0634 | 0,124    | 0,1685  | 0,12200  | <=0,000079 | 57,8     | <=0,00011 | <=0,000094 | <=0,00038 | <=0,002  |      |

*(Firma)*  
Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.  
César A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico QP 11468

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

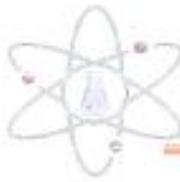
\*\*Valor numérico = Límite de detección del método, \*\*\*Valor numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Camino Colorado - Arequipa - Perú  
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratorioanaliticoelsur.com

**A-18 N° 0698**



**RHLAB S.A.C.**

RH-M16-021

SERVICIOS ANALÍTICOS AMBIENTALES - METALÚRGICOS

## INFORME DE ENSAYO

| ELEMENTOS        | Símbolo          | Unidades de Medida | L.M.P. D.S 004-2017 MINAM | Valores Obtenidos |
|------------------|------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Plata            | Ag               | mg/l               |                           | <0.0024           |
| Aluminio         | Al               | mg/l               | 0.9                       | 0.104             |
| Boro             | B                | mg/l               | 2.4                       | 0.1996            |
| Bario            | Ba               | mg/l               | 0.7                       | 0.122             |
| Berilio          | Be               | mg/l               | 0.012                     | <0.000079         |
| Calcio           | Ca               | mg/l               |                           | 57.6              |
| Cadmio           | Cd               | mg/l               | 0.003                     | <0.00011          |
| Cobalto          | Co               | mg/l               |                           | <0.000094         |
| Cromo            | Cr               | mg/l               | 0.05                      | <0.00039          |
| Cobre            | Cu               | mg/l               | 2                         | <0.002            |
| Hierro           | Fe               | mg/l               | 0.3                       | 0.147             |
| Potasio          | K                | mg/l               |                           | 5.59              |
| Litio            | Li               | mg/l               |                           | 0.03662           |
| Magnesio         | Mg               | mg/l               |                           | 10.31             |
| Manganeso        | Mn               | mg/l               | 0.4                       | 0.22947           |
| Molibdeno        | Mo               | mg/l               | 0.07                      | <0.00038          |
| Sodio            | Na               | mg/l               |                           | 42.1              |
| Níquel           | Ni               | mg/l               | 0.07                      | <0.00051          |
| Fósforo          | P                | mg/l               |                           | 0.1471            |
| Plomo            | Pb               | mg/l               | 0.01                      | 0.0842            |
| Antimonio        | Sb               | mg/l               | 0.02                      | <0.00049          |
| Selenio          | Se               | mg/l               | 0.04                      | <0.002            |
| SiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> | mg/l               |                           | 40.94             |
| Estaño           | Sn               | mg/l               |                           | 0.00196           |
| Estroncio        | Sr               | mg/l               |                           | 0.5245            |
| Titanio          | Ti               | mg/l               |                           | 0.00566           |
| Taño             | Tl               | mg/l               |                           | <0.0013           |
| Vanadio          | V                | mg/l               |                           | 0.00132           |
| Zinc             | Zn               | mg/l               | 3                         | 0.103             |

  
Ing. Pío Alejandro Lopez  
D.º 147738  
RHLAB GERENTE DE OPERACIONES

Anexo 3. Certificado de análisis emitido por la DIRESA puno, resultados de coliformes totales y coliformes fecales.



**Ministerio de Salud**  
Documen para administracion publica

**DIRECCION REGIONAL DE SALUD - PUNO**  
**LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL**  
Jr. José Antonio Encinas N°140 - Telf: 3251510  
 E-mail: labcontrolcap@dirsa.puno.gob.pe | http://www.dirsa.puno.gob.pe

**ENSAYO: BACTERIOLOGICO DE AGUA**  
**RESULTADOS DE ANALISIS**  
**EN: GRABE NTURIZADOR**

**SOLICITANTE**  
 : ISABEL EVELING CASTILLO COAQUIRA,  
**DIRECCION**  
 : DISTRITO DE ILAVE,  
**FUENTE DE ORIGEN**  
 : RESERVORIO,  
**ESTACION DE MUESTREO**  
 : RESERVORIO SANTA BARBARA,  
**VOLUMEN DE MUESTRA**  
 : ENVASE VIDRIO DE APROX. 2000 ml  
**FECHA DE RECEPCION**  
 : 07.08.2018,  
**FECHA DE ANALISIS**  
 : 07.08.2018,  
**LUGAR**  
 : DISTRITO DE ILAVE, PROVINCIA EL COLLADO, REGION PUNO,  
**REFERENCIA**  
 : MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

**PUNTOS DE MUESTREO**  
 : ISABEL EVELING CASTILLO COAQUIRA,  
 : DISTRITO DE ILAVE,  
 : RESERVORIO,  
 : RESERVORIO SANTA BARBARA,  
 : ENVASE VIDRIO DE APROX. 2000 ml  
 : 07.08.2018,  
 : 07.08.2018,  
 : DISTRITO DE ILAVE, PROVINCIA EL COLLADO, REGION PUNO,  
 : MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

**RESULTADOS**

| N.O | PUNTOS DE MUESTREO                             | LUGAR DISTRITO | METODO ANALITICO FILTRACION EN MEMBRANA | RESULTADOS                 |                              |
|-----|--|----------------|---|----------------------------|------------------------------|
|     |  |                |   | COLIFORMES TOTALES (35 °C) | COLIFORMES TOTALES (44.5 °C) |
| 01  | MUESTRA N° 01 - RESERVORIO SANTA BARBARA-ILAVE | ILAVE          | UFC/100 mL                              | 0 UFC/100 mL               | 0 UFC/100 mL                 |

UFC/100 ml = Unidad Formadora de Colonias por mililitro.  
 METODO DE ENSAYO: NUMERACION COLIFORMES TOTALES (35 °C) Y COLIFORMES FECALES Y E COLI METODO ESTANDARIZADO DE TUBOS MULTIPLOS (MHA, IMVA, VET Pa. 20218 E 219 ed. 2005)

Puno, 10 de Agosto de 2018.



#### Anexo 4. Panel fotográfico

Foto 1. Localización del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Ilave, provincia del Collao y región de Puno



**Foto 2. Sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Llave, provincia del Collao y región de Puno**



Este libro se publicó en la editorial

**Instituto Universitario  
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**



EDITADA POR  
INSTITUTO  
UNIVERSITARIO  
DE INNOVACIÓN CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ