

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA
VICERRECTORADO
CENTRO DE ESTUDIOS POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INDUSTRIA DE ALIMENTOS T.S**



**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO
EN LA LOCALIDAD DE MOJTULO DISTRITO-7 SUCRE**

TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN BROMATOLOGÍA

JHANET FLORES PIÑA

**SUCRE – BOLIVIA
2024**

INDICE

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

| | |
|----------------------------------|---|
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS | 1 |
| 1.2.1 objetivo general | 1 |
| 1.2.2 objetivo específicos | 1 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.4 METODOLOGIA..... | 2 |

CAPITULO II

MARCO TEORICO

| | |
|---|----|
| 2.1 MARCO CONCEPTUAL | 3 |
| 2.1.1 Agua potable | 3 |
| 2.1.2 El agua..... | 5 |
| 2.1.3 Aguas naturales | 6 |
| 2.1.4 Agua de consumo humano | 6 |
| 2.1.5 Estados del agua..... | 6 |
| 2.1.6 Tipos de fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano | 7 |
| 2.1.7 Efectos de la contaminación del agua en la salud | 9 |
| 2.1.8 Clasificación de los cuerpos de agua según la ley 1333 | 9 |
| 2.1.9 Calidad del agua..... | 11 |
| 2.1.10 Parámetros de calidad de agua..... | 13 |
| 2.1.11 Parámetros físico-químicos | 14 |
| 2.1.12 Calidad del agua de consumo humano..... | 18 |
| 2.1.13 Proceso general de tratamiento del agua potable | 18 |
| 2.1.14 Diagrama de bloque del proceso de tratamiento de agua para el consumo humano | 19 |
| 2.1.15 Descripción del proceso por etapas del tratamiento de agua para consumo | 19 |
| 2.2 MARCO CONTEXTUAL | 21 |
| 2.2.1 Fuente de captación de agua..... | 22 |

CAPITULO III

DESARROLLO

| | |
|--|----|
| 3.1 DEFINICIÓN ESPECIFICA DE AGUA DE VERTIENTE | 24 |
| 3.2 METODOLOGÍA Y MATERIALES..... | 24 |
| 3.2.1 Ubicación del punto de muestreo | 24 |
| 3.2.2 Muestreo..... | 25 |
| 3.2.3 Punto de muestreo | 25 |
| 3.3 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRA | 25 |
| 3.3.1 Limpieza..... | 25 |
| 3.3.2 Etiquetado..... | 26 |
| 3.3.3 Almacenamiento y transporte..... | 26 |
| 3.3.4 Documentación..... | 26 |
| 3.3.5 Transporte y conservación de muestra | 27 |
| 3.4 PARÁMETRO FISICO-QUÍMICO | 28 |
| 3.4.1 Determinación de PH | 28 |
| 3.4.2 Determinación de conductividad Eléctrica. | 29 |
| 3.4.3 Turbidez | 30 |
| 3.4.4 Dureza total (Ca+ Mg) | 31 |
| 3.4.5 Determinación de potasio (k +) y sodio (Na +)..... | 32 |
| 3.4.6 Alcalinidad total | 33 |
| 3.4.7 Determinación de Cloruros | 34 |
| 3.5 RESULTADOS DE LOS PARAMETROS FISICO-QUÍMICOS | 36 |
| 3.5.1 pH..... | 36 |
| 3.5.2 Conductividad eléctrica..... | 36 |
| 3.5.3 Turbidez | 37 |
| 3.5.4 Calcio | 37 |
| 3.5.5 Magnesio | 39 |
| 3.5.6 Sodio..... | 41 |
| 3.5.7 Potasio | 43 |
| 3.5.8 Dureza total | 46 |
| 3.5.9 Bicarbonatos..... | 47 |
| 3.5.10 Cloruro | 49 |

| | |
|---|----|
| 3.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 52 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 54 |
| CONCLUSIONES | 54 |
| RECOMENDACIONES | 54 |
| BIBLIOGRAFIA | 55 |
| ANEXOS | 57 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Requisitos fisico-químicos en agua potable | 4 |
| Tabla 2: Valores máximo admisible de parámetros en cuerpo de agua | 11 |
| Tabla 3: Actividades del muestreo | 26 |
| Tabla 4: Condiciones de transporte y conservación de la muestra..... | 28 |
| Tabla 5: Resultados obtenidos del análisis de pH | 36 |
| Tabla 6: Análisis obtenido de la conductividad eléctrica..... | 36 |
| Tabla 7: Resultados obtenidos del análisis de turbidez..... | 37 |
| Tabla 8: Resultados obtenidos en el análisis de calcio..... | 39 |
| Tabla 9: Resultados obtenidos del análisis de magnesio..... | 41 |
| Tabla 10: Análisis obtenido de dureza total del agua..... | 47 |
| Tabla 11: Resultados obtenidos del análisis de bicarbonato | 49 |
| Tabla 12: Resultados obtenido del análisis de cloruro | 50 |
| Tabla 13: Resumen de resultado de análisis fisico-químico en laboratorio | 52 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Diagrama de bloques del tratamiento de agua..... | 19 |
| Figura 2: Ubicacion de la localidad de mojtulo | 22 |
| Figura 3: Lectura de patrón de sodio 1..... | 42 |
| Figura 4: Lectura del patrón de sodio 2..... | 43 |
| Figura 5: Lectura de patrón de potasio 1 | 44 |
| Figura 6: Lectura de patrón de potasio 2..... | 45 |

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El agua se presenta como un elemento esencial para la sustentación de la vida en la Tierra. En consecuencia, a lo largo de la historia, la humanidad ha llevado a cabo la tarea de acumular y distribuir el agua desde sus comienzos. Desde los iniciales métodos de almacenamiento, purificación y reparto hasta las actuales infraestructuras y tecnologías empleadas en el tratamiento de este recurso vital.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) destaca que el 80 % de las enfermedades que afectan a los países en desarrollo son causadas por la contaminación bacteriana del agua. Cada año, 15 millones de niños en el rango de edades de 0 a 5 años fallecen directa o indirectamente debido a la carencia o insuficiencia de sistemas de suministro de agua y alcantarillado. Solamente el 30 % de la población mundial cuenta con garantías de acceso a agua tratada, mientras que el 70 % restante depende de pozos y otras fuentes de suministro que potencialmente pueden presentar algún grado de contaminación.

La carencia de acceso a servicios básicos, como la provisión de agua potable y el tratamiento adecuado del agua, representa una amenaza directa al principio fundamental del derecho a la vida.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 objetivo general

Determinar la calidad del agua de consumo humano en la localidad de Mojtulo distrito-7 Sucre

1.2.2 objetivo específicos

- Analizar los parámetros físicos y químicos del agua.
- Realizar el muestreo del agua de vertiente y grifo.
- Establecer la potabilidad del agua apta para el consumo humano de acuerdo a la Norma Boliviana 512.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El propósito de esta monografía es evaluar la calidad del agua de consumo humano en la localidad Mojtulo, mediante el análisis de sus parámetros físico-químicos, con el fin de determinar si cumple con las normativas de calidad establecidas en la Norma Boliviana 512. Esta evaluación busca contribuir a la reducción de los riesgos de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada por parte de los residentes de Mojtulo.

Es relevante esta investigación, durante muchos años no hubo control de calidad de agua potable que consumen los comunarios de Mojtulo.

1.4 METODOLOGIA

Considerando que, dentro del marco de la Política Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano, promulgada mediante Resolución Ministerial 272/2015 del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, se describe en las metas a conseguir que debe ser importante la protección de las fuentes de agua destinadas al consumo humano, así como el mejoramiento continuo de los indicadores de calidad, reduciendo sustancialmente los riesgos a la salud pública.

La OMS considera la metodología de los Planes de Seguridad del Agua (PSA) como el instrumento integrador para el manejo y control de los riesgos para la salud, desde la cuenca de captación hasta su llegada al consumidor final, se recomienda sea aplicada a todos los sistemas de abastecimiento de agua potable.

La estructura de la norma toma en consideración la importancia sanitaria del agua, de los parámetros a analizar y la calidad de las fuentes utilizadas en la producción de agua para consumo humano y la infraestructura sanitaria, desde el sistema de distribución y almacenamiento hasta el punto de consumo, como se indica en la NB 512.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

El agua es un recurso limitado y fundamental para el desarrollo de la vida. Sin embargo, se ve sometido a muchas presiones antrópicas (es decir, generadas por el ser humano) que pueden afectar potencialmente su calidad.

Las principales razones para el establecimiento de programas de monitoreo de calidad del agua, tienen que ver con la necesidad de verificar si la calidad del recurso cumple con las condiciones para los usos requeridos, con la determinación de las tendencias de la calidad del ambiente acuático y como este se va afectando por el vertido de contaminantes originados por actividades humanas y con la estimación de los flujos de los contaminantes y nutrientes vertidos a las masas de agua. Para el caso se realiza una evaluación sistemática cualitativa y cuantitativa de la calidad del agua. (Programa 21 Naciones Unidas, 2002).

2.1.1 Agua potable

El agua potable se refiere al agua que es segura y adecuada para el consumo humano, es decir, que cumple con los estándares de calidad establecidos para garantizar su potabilidad. El acceso a agua potable es fundamental para preservar la salud y el bienestar de las personas.

Para que el agua sea considerada potable, debe cumplir con ciertos criterios y parámetros establecidos por las autoridades sanitarias y regulaciones vigentes. Algunos de los parámetros que se evalúan para determinar la potabilidad del agua incluyen:

- **Microbiológicos:** Se realiza el análisis de microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos, para asegurar que el agua esté libre de contaminación microbiológica
- **Físicos:** Se evalúan características físicas del agua, como su apariencia, color, olor y sabor, para detectar posibles contaminantes o alteraciones que puedan indicar problemas de calidad

- **Químicos:** Se realizan análisis de diversos compuestos químicos, como metales pesados, productos químicos orgánicos, nitratos, fluoruros, entre otros, para garantizar que los niveles de estos compuestos no superen los límites establecidos
- **Radiológicos:** Se llevan a cabo análisis de sustancias radiactivas presentes en el agua para asegurar que los niveles de radiación estén dentro de los límites permitidos

Es importante destacar que las normas y estándares para el agua potable pueden variar de un país a otro, y es necesario seguir las regulaciones y recomendaciones locales en materia de calidad del agua potable.

Tabla 1: Requisitos físico-químicos en agua potable

| Valor máximo | | |
|---|----------------------------|---|
| Características | Aceptable | Observaciones |
| Requisitos físico-organolépticos | | |
| Sabor y olor | Ninguno | Deben ser aceptables |
| Turbiedad | 5 UNT | UNT unidades nefelometrías de turbiedad |
| Sólidos totales disueltos | 1000 mg/L | |
| Requisitos físico-químicos | | |
| Ph | 9,0 | Límite inferior 6,5 |
| Conductividad Eléctrica | 1500 μ S/cm | - |
| Alcalinidad total | 370 mg/L CaCO ₃ | El mismo está relacionado con el pH |
| Calcio Ca | 200 mg-Ca/L | Valor mayor tiene efecto sobre la salud |
| Magnesio Mg | 150,0 mg/L | Valor mayor tiene efecto sobre la salud |
| Sodio Na | 200,0 mg/L | Valor mayor tiene efecto sobre la salud |
| Potasio | - mg/L | Valor mayor tiene efecto sobre la salud |
| Dureza Total CaCO ₃ | 500 mg/L CaCO ₃ | Valores mayores tiene efecto sobre la salud |
| Carbonatos CaCO ₃ | 370 mg/L CaCO ₃ | Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el olor y el sabor |

| | | |
|--|----------------------------|---|
| Bicarbonatos CaCO ₃ | 370 mg/L CaCO ₃ | Valor mayor tiene efecto sobre la salud |
| Cloruros Cl I | 250,0 mg/L | Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el sabor |
| Sulfatos SO ₄ ⁻² | 400 mg/L | Valor mayor influye en la aceptabilidad, por el sabor |
| Nitratos NO ₃ ⁻ | 45,0 mg/L | Valor mayor tiene efecto sobre la salud |

Fuente: Norma Boliviana 512

2.1.2 El agua

El agua la podemos considerar como el recurso natural de mayor importancia, por ser vital para la vida. El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O).

El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo y en su forma gaseosa denominada vapor. Es una sustancia bastante común en el universo y el sistema solar, donde se encuentra principalmente en forma de vapor o de hielo. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida.

El agua recubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5 % del agua total. A los glaciares y casquetes polares les corresponde el 1,74 %, mientras que los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales concentran el 1,72 % el restante 0,04 % se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. (UNESCO, 2009)

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza.

2.1.3 Aguas naturales

Las aguas naturales son aquellas cuyas propiedades originales no han sido modificadas por la actividad humana; y se clasifican en:

- **Superficiales;** como aguas de lagos, lagunas, pantanos, arroyos con aguas permanentes y/o intermitentes, ríos y sus afluentes, nevados y glaciares
- **Subterráneas;** en estado líquido o gaseoso que afloren de forma natural o por efecto de métodos artificiales
- **Meteóricas o atmosféricas;** que provienen de lluvias de precipitación natural o artificial.

2.1.4 Agua de consumo humano

Adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. En esta definición está implícito que el agua debe estar libre de organismos patógenos, sustancias químicas, impurezas y cualquier tipo de contaminación que cause problemas a la salud humana. (OMS, Guías para la calidad del agua para consumo humano de la organización mundial de la salud, 2008)

2.1.5 Estados del agua

El agua puede existir en tres estados físicos diferentes: sólido, líquido y gaseoso. Estos estados se conocen como los estados del agua. Los cambios entre estos estados se producen debido a las variaciones en la temperatura y la presión.

A continuación, según (USGS, 2021) se describen brevemente los tres estados del agua.

2.1.5.1 Agua sólida

El agua en su estado sólido se conoce como hielo. En este estado, las moléculas de agua se mantienen unidas en una estructura ordenada, formando una red cristalina. El hielo es menos denso que el agua líquida, lo que provoca que flote en la superficie de los cuerpos de agua congelados. La temperatura de congelación del agua es de 0 °C o 32 °F

2.1.5.2 Agua líquida

El agua en su estado líquido es la forma más común y familiar en la que encontramos el agua. En este estado, las moléculas de agua se mueven libremente y están menos ordenadas que en el estado sólido.

El agua líquida tiene una densidad máxima a 4 °C, lo que significa que se expande tanto si se enfría por debajo de esta temperatura como si se calienta por encima de ella. La temperatura de ebullición del agua es de 100 °C o 212,32 °F

2.1.5.3 Vapor de agua

El agua en su estado gaseoso se llama vapor de agua, cuando se aplica calor al agua líquida, las moléculas ganan energía y se vuelven lo suficientemente rápidas como para escapar y convertirse en vapor. El vapor de agua es invisible y está compuesto por moléculas de agua dispersas en el aire.

La temperatura de condensación del vapor de agua es la misma que la temperatura de ebullición del agua, es decir, 100 °C o 212 °F

Estos tres estados del agua están interrelacionados y pueden transformarse entre sí mediante cambios en la temperatura y la presión. Este ciclo de transformación se conoce como ciclo del agua y es fundamental para la existencia y el equilibrio de la vida en la tierra.

2.1.6 Tipos de fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano

2.1.6.1 Fuentes subterráneas

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos excavados y tubulares. Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano.

Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes.

Aguas subterráneas clase I: Son aguas subterráneas de excelente calidad y aptas para el consumo humano sin tratamiento adicional.

Aguas subterráneas clase II: Son aguas subterráneas de buena calidad y aptas para consumo humano con tratamientos básicos.

Aguas subterráneas clase III: Son aguas subterráneas que pueden requerir un tratamiento adicional para uso humano y que se utilizan principalmente para actividades agrícolas e industriales.

Aguas subterráneas clase IV: Son aguas subterráneas con una calidad deficiente y que no son aptas para el consumo humano ni para otros usos.

2.1.6.2 Fuentes superficiales

Las aguas superficiales están constituidas por los ríos, lagos, embalses, arroyos, etc. La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas, presencia de animales, residuos sólidos y otros.

Aguas superficiales clase I: Son cuerpos de agua con una excelente calidad y aptos para el abastecimiento público sin ningún tratamiento.

Aguas superficiales clase II: Son cuerpos de agua con buena calidad y aptos para consumo humano, pero que pueden requerir un tratamiento mínimo.

Aguas superficiales clase III: Son cuerpos de agua que pueden utilizarse para actividades recreativas, riego agrícola y actividades industriales con ciertas restricciones y tratamientos previos.

Aguas superficiales clase IV: Son cuerpos de agua que no cumplen con los estándares de calidad para uso directo y que solo se utilizan para actividades industriales, riego agrícola y otras actividades específicas con tratamientos adecuados.

2.1.7 Efectos de la contaminación del agua en la salud

La contaminación del agua representa un gran problema de salud pública. Los mecanismos de transmisión de las enfermedades pueden ser:

Indirecto: El agua actúa Como vehículo de infecciones, o bien puede transmitirse a través de alimentos contaminados por el riego de aguas residuales. Así mismo, los moluscos acumulan gran cantidad de polivirus y pueden ser ingeridos y afectar a los seres humanos.

Finalmente, algunos insectos que se reproducen en el agua son transmisores de enfermedades como el paludismo o la fiebre amarilla.

Directos: Por ingestión de agua contaminada, proveniente de abastecimientos de grandes poblaciones o de pozos contaminados.

En otros casos es por contacto cutáneo o mucoso (con fines recreativos, contacto ocupacional o incluso terapéutico) pudiendo originar infecciones locales en piel dañada o infecciones sistémicas en personas con problemas de inmunodepresión. (Vasquez, 2015)

2.1.8 Clasificación de los cuerpos de agua según la ley 1333

La clasificación de los cuerpos de agua, según la ley 1333 del reglamento a la ley de medio ambiente a las clases señaladas en la tabla N°1.

Esta clasificación general de cuerpos de agua; en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

Clase A: Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.

Clase B: Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

Clase C: Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

Clase D: Aguas de calidad mínima que, para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de pre-sedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

Tabla 2: Valores máximo admisible de parámetros en cuerpo de agua

| Nº | Parámetros | Unidad | Cancerígenos | Clase A | Clase B | Clase C | Clase D |
|----|---------------------------|----------|--------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Ph | | No | 6,0 a 8,5 | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 |
| 2 | Temperatura | °C | - | ± 3 °C de c. receptor | ± 3 °C de c. receptor | ± 3 °C de c. receptor | ± 3 °C de c. receptor |
| 3 | Sólidos disueltos totales | mg/L | - | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
| 4 | Aceites y Grasas | mg/L | No | Ausentes | Ausente | 0.3 | 1 |
| 5 | DBO5 | mg/L | No | < 2 | < 5 | < 20 | < 30 |
| 6 | DQO | mg/L | No | < 5 | < 10 | < 40 | < 60 |
| 7 | NMP Colifecales | N/100 mL | No | <50 y <5 en 80 % de muestras | <1000 y <200 en 80 % de muestras | <5000 y <1000 en 80 % de muestras | <50000 y <5000 en 80 % de muestras |
| 8 | Oxígeno Disuelto | mg/L | No | > 80 % sat. | >70 % sat. | >60 % sat. | >50 % sat. |
| 9 | Turbidez | UNT | No | <10 | <50 | <100<2000*** | <200<10000*** |
| 10 | Amoniaco | mg/L | No | 0,05 c. NH | 1,0 c. NH | 2 c. NH | 4 c. NH |
| 11 | Arsénico total | mg/L | Si | 0,05 As | 0,05 As | 0,05 As | 0,1 As |
| 12 | Calcio | mg/L | No | 200 | 300 | 300 | 400 |
| 13 | Cadmio | mg/L | No | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| 14 | Cianuros | mg/L | No | 0,002 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| 15 | Cloruros | mg/L | No | 250 c. Cl | 300 c. Cl | 300 c. Cl | 400 c. Cl |
| 16 | Cobre | mg/L | No | 0,05 c. Cu | 1,0 c. Cu | 1,0c. Cu | 1,0c. Cu |
| 17 | Magnesio | mg/L | No | 100 c. Mg | 100 c. Mg | 150 c. Mg | 150 c. Mg |

Fuente: Reglamento a la ley del medio ambiente 1333

2.1.9 Calidad del agua

El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria. Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable. (Agua, 2012)

Si bien en sus primeros orígenes el concepto de “calidad de agua” estuvo asociado con la utilización del agua para el consumo humano; la expansión y el desarrollo de los asentamientos humanos ha diversificado y ampliado los usos y aplicaciones potenciales del agua; hasta tal punto, que el significado de calidad de agua ha debido ampliarse, para ajustarse a este nuevo espectro de posibilidades y significados.

En la actualidad, es tan importante conocer la calidad del agua para el consumo humano, como lo puede ser para el riego de cultivos, para el uso industrial en calderas, para la fabricación de productos farmacéuticos, para la expedición de licencias ambientales, para diseñar y ejecutar programas de monitoreo en las evaluaciones ambientales, para adecuarla a las múltiples aplicaciones analíticas de los laboratorios y para regular y optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, entre muchos otros fines.

En síntesis, una determinada fuente de agua puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular y al mismo tiempo, no ser apta para otro.

Puesto que no existe un tipo de agua que satisfaga los requerimientos de calidad para cualquier uso concebible ni tampoco “un criterio único de calidad para cualquier fin”, el concepto de calidad de agua, se aplica siempre en relación con un uso o aplicación previamente establecida. (Jiménez, 2001)

Por lo tanto, la calidad del agua es un término variable en función del uso concreto que se vaya a hacer de ella.

Para los usos más importantes y comunes del agua existen una serie de requisitos recogidos en normas específicas basados tradicionalmente en las concentraciones de diversos parámetros:

Los parámetros de calidad de agua son:

- Parámetros organolépticos
- Parámetros fisicoquímicos
- Parámetros microbiológicos

Los parámetros que se van analizar en el proyecto para determinar si el agua es apta o no para el consumo humano de la localidad de Mojtulo, deberán cumplir con lo establecido en la Norma Boliviana 512. La cual indica la potabilidad del agua de consumo humano.

2.1.10 Parámetros de calidad de agua

2.1.10.1 Parámetros organolépticos

2.1.10.2 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. El material colorante resulta del contacto con detritus orgánicos como hojas, agujas de coníferas y madera, en diversos estados de descomposición, está formado por una considerable variedad de extractos vegetales. El color causado 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. En el análisis del agua es importante diferenciar entre el color aparente y el real. (Santos, 1989)

2.1.10.3 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. 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.

Así, por ejemplo, las aguas residuales de industrias vinícolas, de industrias cerveceras, de industrias lecheras y de empresas relacionadas con la explotación o procesamiento del petróleo, tienen olores distintivos que son fácil y rápidamente perceptibles y que deben registrarse en las libretas de campo.

El olor se reconoce como factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable (y de los alimentos preparados con ella) que pueda corromperse con la presencia, de peces y otro organismo acuático y anular la estética de las aguas de instalaciones de recreo. 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. (Santos, 1989)

2.1.11 Parámetros físico-químicos

2.1.11.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH o la actividad del ion hidrógeno de un agua, indica la reacción ácida o básica de la misma es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, por ejemplo: neutralización ácido – base, ablandamiento, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH.

2.1.11.2 Conductividad eléctrica

Es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto, la conductividad que podamos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Es por lo tanto un parámetro bastante bueno para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura
- La composición del agua se mantenga relativamente constante

2.1.11.3 Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

2.1.11.4 Sólidos totales

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación.

2.1.11.5 Turbiedad

La claridad del agua es importante en la producción de productos destinados para el consumo humano y en muchas operaciones de manufacturación. Productores de bebidas, procesadores de alimentos y plantas de tratamiento de agua potable proveniente de una fuente superficial de agua. La turbiedad de un agua es causada por material suspendido y coloidal, tal como arcillas, material orgánico e inorgánico finamente dividido, plancton y otros organismos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz sea dispersa y

absorbida en lugar de ser transmitida sin cambio de dirección o fluctuación de nivel a través de la muestra.

2.1.11.6 Calcio

El calcio (Ca) es un elemento químico esencial que se encuentra comúnmente en el agua natural y desempeña un papel importante en la determinación de la calidad del agua de consumo humano. La presencia y concentración de calcio en el agua pueden ser indicativos de varios aspectos relacionados con la calidad y la idoneidad del agua para el consumo. Aquí hay algunas formas en las que el calcio puede influir en la calidad del agua potable:

- El calcio es uno de los principales componentes responsables de la dureza del agua. La dureza se refiere a la concentración de minerales disueltos, como calcio y magnesio, en el agua. Una alta concentración de calcio puede aumentar la dureza del agua. Si bien la dureza del agua no es un riesgo directo para la salud, puede tener implicaciones en la formación de depósitos minerales en tuberías y electrodomésticos, lo que afecta la eficiencia y la vida útil de los equipos
- El calcio puede influir en el sabor y el aspecto del agua. Concentraciones excesivas de calcio pueden causar un sabor mineral o astringente en el agua, lo que puede afectar su aceptabilidad para el consumo
- El exceso de calcio en el agua puede contribuir a la formación de incrustaciones en tuberías, calentadores de agua y electrodomésticos. Esto puede reducir la eficiencia de los equipos y aumentar los costos de mantenimiento
- El calcio puede interactuar con otros compuestos presentes en el agua, como el bicarbonato, el sulfato y el fluoruro. Estas interacciones pueden influir en la capacidad del agua para transportar otros elementos y compuestos, y pueden afectar la calidad general del agua

La concentración de calcio en el agua se mide en miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm). Si bien el calcio en sí mismo no es un metal pesado ni un contaminante en la mayoría de los casos, su presencia y concentración son factores importantes a considerar al evaluar la calidad del agua de consumo humano. (Tratamiento Y Purificación de Agua, 2018)

2.1.11.7 Magnesio

El magnesio (Mg) es otro elemento esencial que puede influir en la determinación de la calidad del agua de consumo humano. Similar al calcio, el magnesio está presente en el agua natural y puede tener varios efectos en la calidad y la idoneidad del agua potable. Aquí hay algunas formas en las que el magnesio puede ser relevante para evaluar la calidad del agua de consumo:

- Al igual que el calcio, el magnesio es uno de los principales componentes que contribuye a la dureza del agua. La dureza del agua puede influir en la formación de depósitos minerales en tuberías y aparatos, y puede afectar la eficiencia de los equipos
- Concentraciones elevadas de magnesio pueden afectar el sabor del agua y darle un carácter mineral. Esto puede influir en la aceptabilidad del agua para el consumo
- Aunque en el agua potable el magnesio generalmente no se considera como fuente significativa de este mineral en la dieta, su presencia puede contribuir de manera leve a la ingesta diaria de magnesio en ciertas áreas
- Al igual que el calcio, el magnesio puede interactuar con otros compuestos presentes en el agua y afectar su capacidad para transportar otros elementos y compuestos

La concentración de magnesio en el agua también se mide en miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm). En la mayoría de los casos, el magnesio no se considera un contaminante perjudicial en el agua potable y su presencia no suele representar un riesgo significativo para la salud humana. De hecho, el magnesio es esencial para diversas funciones biológicas en el cuerpo humano y su presencia en el agua puede contribuir a una dieta equilibrada en magnesio. (Bueno, 2011)

Sin embargo, al igual que con otros elementos, es importante mantener el equilibrio y controlar las concentraciones para asegurarse de que no haya efectos adversos en la calidad del agua y en la salud humana. Los estándares específicos para el magnesio en el agua potable pueden variar según las regulaciones locales y las recomendaciones de agencias de salud y medio ambiente.

2.1.11.8 Dureza total

Originalmente, la dureza del agua se entendió como una medida de su capacidad para precipitar el jabón. El jabón es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio.

Otros cationes polivalentes también pueden hacerlo, pero estos suelen estar presentes en formas complejas, frecuentemente con componentes orgánicos, y su influencia en la dureza del agua puede ser mínima y difícil de determinar. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro. La dureza varía entre cero y cientos de miligramos por litro, dependiendo de la fuente y del tratamiento al que haya sido sometida el agua. (Tratamiento Y Purificación de Agua, 2018)

2.1.11.9 Sodio

El sodio (Na) es un elemento químico que puede influir en la determinación de la calidad del agua de consumo humano.

El sodio es un elemento esencial para la salud humana, pero altas concentraciones de sodio en el agua de consumo pueden tener implicaciones para la salud, especialmente en individuos con hipertensión arterial o problemas cardiovasculares. El sodio puede contribuir al sabor salado del agua, pero es importante controlar sus niveles para evitar efectos adversos en la salud y para garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad para el consumo humano. (Sodio en el agua potable y su impacto en la salud pública, 2017)

2.1.11.10 Potasio

El potasio (K) es un elemento químico que también puede ser relevante para la determinación de la calidad del agua de consumo humano.

El potasio es un micronutriente esencial para el cuerpo humano y desempeña un papel crucial en la función celular, la regulación de fluidos y el equilibrio electrolítico. Aunque es necesario para la salud, concentraciones excesivas de potasio en el agua potable pueden tener implicaciones en la salud, especialmente en personas con problemas renales o cardíacos. Controlar los niveles de potasio en el agua es importante para garantizar que cumpla con los estándares de calidad y no represente un riesgo para la salud de quienes la consumen. (El-Salam, 2018)

2.1.11.11 Alcalinidad total

La alcalinidad total del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Representa la cantidad de especies químicas en el agua que pueden aceptar protones (iones de hidrógeno) y mantener su pH en un rango alcalino. La alcalinidad es importante en la

determinación de la calidad del agua de consumo humano porque puede afectar el equilibrio ácido-base en el cuerpo humano y la corrosión de las tuberías y equipos de distribución de agua.

Una alcalinidad adecuada puede ayudar a mantener el pH del agua cerca de niveles neutrales o ligeramente alcalinos, lo que es importante para evitar la corrosión de tuberías y la preservación de la infraestructura de distribución de agua. (Sarah A. Perryman, 2017)

2.1.11.12 Cloruros

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje.

El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de Na Cl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio o de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 ppm (Bueno, 2011)

2.1.12 Calidad del agua de consumo humano

Se define como agua potable aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua para consumo humano y que básicamente atiende a los siguientes requisitos:

- Libre de microorganismos que causan enfermedades
- Libre de compuestos nocivos a la salud
- Con bajo contenido de color, gusto y olor aceptables
- Sin compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones sanitarias

El agua para consumo humano debe cumplir los estándares de calidad establecidos por las normas vigentes de cada país. Las “Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano” de la OMS recomiendan valores límites para los diferentes contaminantes que pueden encontrarse en el agua de consumo humano.

2.1.13 Proceso general de tratamiento del agua potable

El proceso general de tratamiento del agua potable consiste en una serie de etapas diseñadas para eliminar contaminantes, bajo estándares específicos de calidad del agua en cada región,

a través de las operaciones físicas, químicas y biológicas realizadas para eliminar partículas, sedimentos, microorganismos, productos químicos y otros contaminantes presentes en el agua cruda, con el objetivo asegurar y garantizar la producción de agua segura y de calidad para el consumo humano. (Water Treatment and Distribution, 2021)

2.1.14 Diagrama de bloque del proceso de tratamiento de agua para el consumo humano

Figura 1: Diagrama de bloques del tratamiento de agua



Fuente: Documentación NB-512

2.1.15 Descripción del proceso por etapas del tratamiento de agua para consumo

2.1.15.1 Captación del agua

La captación del agua en el proceso de tratamiento del agua potable se refiere a la recolección y obtención del agua cruda de fuentes naturales.

2.1.15.2 Desarenación

Es una etapa del proceso de tratamiento del agua potable que tiene como objetivo remover las partículas de arena y sedimentos presentes en el agua cruda.

2.1.15.3 Aeración

La aireación es un proceso mediante el cual el agua entra en contacto con el aire para aumentar la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

2.1.15.4 Pre-decantación

La pre-decantación es una etapa del tratamiento del agua potable que consiste en la remoción de partículas y sedimentos de mayor tamaño presentes en el agua cruda antes de que ingrese al proceso de coagulación y floculación.

2.1.15.5 Decantación

La decantación es un proceso físico del tratamiento del agua mediante el cual se permite que las partículas suspendidas y los sólidos más pesados presentes en el agua se sedimenten en el fondo de un tanque o un dispositivo de decantación.

2.1.15.6 Filtración

La filtración en el tratamiento del agua potable es un proceso físico en el cual el agua cruda se hace pasar a través de un medio filtrante con poros o aberturas de tamaño controlado.

2.1.15.7 Neutralización

La neutralización en el tratamiento del agua es un proceso químico en el cual se ajusta el pH del agua mediante la adición controlada de una sustancia ácida o alcalina.

2.1.15.8 Desinfección

La desinfección en el tratamiento del agua es un proceso químico o físico que se aplica con el fin de eliminar o inactivar los microorganismos patógenos presentes en el agua cruda.

2.1.15.9 Consumo

El consumo de agua potable se refiere al acto de utilizar e ingerir agua que ha sido tratada y cumple con los estándares y regulaciones establecidos para garantizar su seguridad y calidad para el consumo humano.

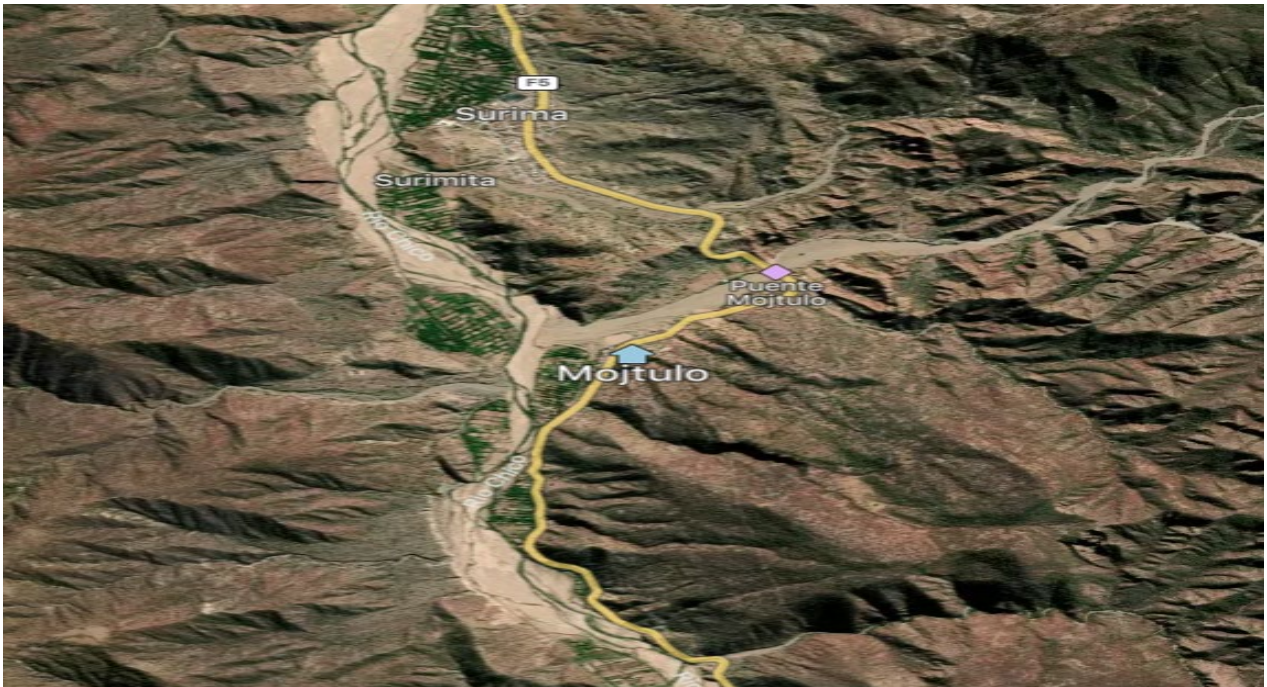
2.2 MARCO CONTEXTUAL

La localidad de Mojtulo es una pequeña comunidad, parte del distrito -7 Municipio Sucre, Departamento de Chuquisaca, Bolivia y tiene alrededor de 230 habitantes distribuidos en 150 familias, con un índice de crecimiento de 0,40% según el (censo 2024) y una altitud de 1.745 metros. Mojtulo está a 55 km de la ciudad de Sucre Carretera a Santa Cruz Cochabamba.

En la localidad de Mojtulo tiene servicios de gas domiciliario, acceso a internet, y telefonía celular de la empresa Entel de GSM, 3g y 4g. y Tigo.

Está ocupada mayoritariamente en la agricultura y muy relacionada al tamaño de la tierra y a la superficie bajo riego. Aquellos que poseen tierra menor a $\frac{1}{4}$ de hectárea con riego, migran temporalmente al exterior y al Chapare o venden su fuerza de trabajo en comunidades vecinas. Las zonas de Rio Chico, es la proveedora de los principales productos agrícolas, hortalizas, tomate, maíz, papa, etc. Frutas, y últimamente leche y sus derivados en menor escala a la ciudad de Sucre.

Figura 2: Ubicacion de la localidad de mojtulo



Fuente: Google Maps 2024

2.2.1 Fuente de captación de agua

La población de Mojtulo se abastece de agua a través de un sistema mixto. El componente principal de este sistema consiste en la captación de agua de una fuente superficial de vertiente, mientras que el componente secundario incluye pozos subterráneos. El agua captada se almacena en un tanque denominado "Central", desde el cual se distribuye a través de una red de tuberías. Este tanque cuenta con un sistema de filtración diseñado para retener impurezas, como sólidos en suspensión, piedras, hojas y ramas que pueden ser arrastrados por la corriente de captación del agua. Sin embargo, el sistema no bloquea impurezas más pequeñas, como microorganismos. Posteriormente, el agua es transportada a otros tanques ubicados en diferentes áreas de la localidad, donde se almacena antes de su distribución a los hogares de la población.

La localidad no dispone de una planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano. Aunque contribuye a la comunidad mediante el almacenamiento y distribución del agua, no se lleva a cabo un proceso de tratamiento y potabilización que incluya un análisis físico, químico y microbiológico del agua procedente de la vertiente y los pozos. Estos recursos

hídricos contienen materia orgánica e inorgánica de origen natural, así como microorganismos, lo que hace que el agua se considere "cruda" y pueda representar un riesgo para la salud de las personas

A través de la presente monografía se realizará un control de la calidad del agua potable en la red de abastecimiento y distribución para verificar si se garantiza la potabilidad del agua al usuario final.

CAPITULO III
DESARROLLO

CAPITULO III

DESARROLLO

3.1 DEFINICIÓN ESPECIFICA DE AGUA DE VERTIENTE

Las vertientes son formaciones geológicas donde el agua subterránea aflora en forma natural creando esteros y ríos. Estas formaciones son consideradas como fuentes de agua seguras, pues en general el agua subterránea es de buena calidad y mantienen una temperatura constante.

3.2 METODOLOGÍA Y MATERIALES

Considerando que, dentro del marco de la Política Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano, promulgada mediante Resolución Ministerial 272/2015 del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, se describe en las metas a conseguir que debe ser importante la protección de las fuentes de agua destinadas al consumo humano, así como el mejoramiento continuo de los indicadores de calidad, reduciendo sustancialmente los riesgos a la salud pública.

La calidad del agua con destino al consumo humano tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos que actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. Caracterizar la calidad del agua, a través de la definición de los valores máximos aceptables de los parámetros organolépticos, físico-químicos, microbiológicos y radiológicos es fundamental para proteger la salud pública.

La estructura de la norma toma en consideración la importancia sanitaria del agua, de los parámetros a analizar y la calidad de las fuentes utilizadas en la producción de agua para consumo humano y la infraestructura sanitaria, desde el sistema de distribución y almacenamiento hasta el punto de consumo, como se indica en la NB 512.

3.2.1 Ubicación del punto de muestreo

Para realizar el trabajo de investigación, se seleccionó un punto de muestreo, tomando como sector la localidad de mojtulo del lugar de captación de agua a 15km de la localidad de

Mojtulo del Municipio de Sucre Distrito-7, con una temperatura promedio de 25 °C población situada en la carretera Sucre- Cochabamba.

La determinación de los parámetros físico-químicos, de caracterización del agua potable, es esencial para el control de la calidad y permite garantizar la salud pública. La actividad de muestreo y las frecuencias de control, deben ser confiables y representativas, siendo una de las etapas más importantes dentro del proceso de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

El muestreo que se realizado, es de vertiente, de donde se provee el agua para el pueblo y el segundo de grifo de un domicilio.

3.2.2 Muestreo

Acción que consiste en coleccionar un volumen considerado como representativo, para examinar y evaluar las diversas características definidas, con un procedimiento dado.

3.2.3 Punto de muestreo

Lugar físico de donde se extrae una muestra representativa, para su posterior análisis físico-químico.

3.3 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRA

La toma de muestras de agua para análisis de laboratorio es un procedimiento crucial para garantizar la seguridad y calidad del agua de consumo humano. A continuación, se presenta un procedimiento general para la toma de muestras de agua de consumo humano:

3.3.1 Limpieza

Limpia tus manos y utiliza guantes desechables, limpia el punto de muestreo con un desinfectante adecuado y enjuágalo con agua de la misma fuente para eliminar cualquier residuo.

Toma de la muestra: Utiliza frascos de muestreo estériles, en algunos casos, puede ser necesario enjuagar el frasco con una pequeña cantidad de agua de la fuente antes de llenarlo para eliminar residuos.

Toma la muestra dejando que el agua fluya durante unos segundos antes de llenar el frasco. Esto ayuda a obtener una muestra representativa y eliminar el agua estancada en las tuberías.

3.3.2 Etiquetado

Etiqueta cada frasco de muestreo con información relevante, como la fecha, el lugar de muestreo, el tipo de análisis requerido y cualquier otra información importante.

3.3.3 Almacenamiento y transporte

Almacena las muestras en un lugar oscuro y fresco para evitar la alteración de los componentes químicos y microbiológicos. Si es necesario, refrigera las muestras.

Transporta las muestras al laboratorio lo más rápido posible, siguiendo las recomendaciones del laboratorio para el tiempo de entrega menos de 48 horas.

3.3.4 Documentación

Lleva un registro detallado de cada muestra tomada, incluyendo la ubicación, la hora y la fecha del muestreo, así como las condiciones ambientales en el momento del muestreo.

Tabla 3: Actividades del muestreo

| Nº | Actividad | Descripción |
|----|-----------------------------|--|
| 1 | Consideraciones de muestreo | Para fines de control y fiscalización se recomienda tomar las muestras en el grifo más cercano a la red. Para fines de vigilancia se recomienda tomar la muestra en cualquier punto de la vivienda |
| 2 | Preparación de los frascos | Preparar los frascos de vidrio, boro, silicato o de polipropileno de boca ancha, con tapa rosca de plástico, previamente lavados, cubrir la tapa con un capuchón de papel kraft o aluminio y esterilizar en laboratorio. Se recomienda que la capacidad de los frascos no sea menor a 250 mL dependiendo del número de determinaciones |

| | | |
|----|---|--|
| 3 | Identificación del frasco de muestreo | Identificar el frasco de muestreo (poner la fecha, hora y el código de la muestra correspondiente) |
| 4 | Verificación de las condiciones de los puntos de muestreo | Que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros (rajaduras, fugas, grifos en mal estado, cajas metálicas, que no contengan elementos extraños como alambres, etc.) |
| 5 | Limpieza del grifo | Eliminar del grifo cualquier adherencia o suciedad |
| 6 | Desinfección del grifo | Flamear el grifo durante 1 min |
| 7 | Purga de agua del grifo | Abrir el grifo y dejar correr agua mínimo 3 min, eliminando impurezas y agua estancada en la tubería |
| 8 | Regulación del flujo | Regular el flujo de agua proveniente del grifo, con el objeto de evitar la salida del neutralizador de cloro del frasco de muestreo |
| 9 | Colecta de la muestra | Destapar el frasco esterilizado y llenarlo con la muestra, sujetando con una mano la tapa con el capuchón protector y, con la otra mano, poner el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco |
| 10 | Tapado del envase | Tapar el frasco, enroscando la tapa con el capuchón de forma inmediata |
| 11 | Registro de datos | Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, lugar, tipo de fuente, punto de muestreo, responsable de muestreo y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas |
| 12 | Transportar la muestra | Transportar el/los frascos(s) manteniendo cadena de frío. La muestra no debe ser congelada |

Fuente: Normativa Boliviana 512

3.3.5 Transporte y conservación de muestra

Entre la toma de muestra y el análisis debe transcurrir el menor tiempo posible (véase tabla). Se transportarán las muestras en cajas adecuadas, para evitar las pérdidas de muestras por transporte. Se debe mantener la cadena de frío, durante el tiempo que dure su transporte al laboratorio.

Tabla 4: Condiciones de transporte y conservación de la muestra

| Tipo de muestreo | Descripción |
|------------------|--|
| Físico-químico | Los métodos de preservación, son relativamente limitados y generalmente tienen por objeto: retardar la hidrólisis de los compuestos y complejos químicos; además de disminuir la volatilidad de los compuestos |

Fuente: Normativa Boliviana 512

La toma de muestra de agua se realizó en recipiente de polietileno de alta densidad, tratados previamente en el laboratorio, con detergente líquido, libre de fosforo y metales pesados, previo la toma de muestras se enjuagó el frasco tres veces con agua del punto de muestreo antes de la toma de la muestra, el volumen colectado fue de 1000 mL para análisis físico-químicos, aplicando el método de muestreo correspondiente según protocolo.

Es importante destacar que los procedimientos específicos pueden variar según las regulaciones y normativas locales, así como según los parámetros que se analizarán en el laboratorio. Siempre es recomendable consultar las directrices y regulaciones locales antes de realizar el muestreo de agua para análisis de laboratorio.

3.4 PARÁMETRO FÍSICO-QUÍMICO

3.4.1 Determinación de PH

El intervalo permitido de pH en las aguas de consumo es de 6,5 – 9,0 unidades de pH según la norma boliviana NB 512.

Objetivo: Determinación de PH en muestras de agua de grifo y vertiente

Método: Potenciómetro

Procedimiento

- Prenda el medidor de pH y permita que se caliente

- Medir la temperatura de la solución amortiguadora de pH 6,86 y ajuste el medidor con el botón de temperatura
- Insertar los electrodos en la solución de pH 6,86 y ajuste el pH a este valor en el medidor con el botón de calibrar
- Elevar y enjuagar el electrodo con agua destilada
- Insertar los electrodos en la solución de pH 4,00 y ajuste el pH a este valor en el medidor con el botón de pendiente (Slope)
- Elevar y enjuagar el electrodo con agua destilada

Determinación: Una vez realizada la calibración del equipo se procede a la medición de la muestra:

- Mida la temperatura de la muestra y ajuste el medidor con el botón de temperatura
- Inserte los electrodos en la muestra lea el pH correspondiente
- Elevar y enjuagar el electrodo con agua destilada
- Almacenar los electrodos en la solución amortiguadora de pH 7 o menor

Materiales equipos y sustancias

- Potenciómetro o pH metro
- Vaso de precipitado
- Agua destilada
- Muestra de agua

3.4.2 Determinación de conductividad Eléctrica.

Método: Conductivídimetro

Objetivo: Determinar la conductividad Eléctrica en una muestra de agua.

Procedimiento

Para verificar el estado general del conductivímetro se deben hacer mediciones de la conductividad de las soluciones estándar 1 y 2 en caso calibrar la lectura del instrumento a queden los valores especificados.

Determinación

Medir la conductividad de la muestra 20 °C +/- 1 °C

Cuando no se sabe la conductividad de la muestra se recomienda calibrar primero con una de las dos soluciones y toma la lectura de la muestra después volver a calibrar con la segunda solución y tomarla nuevamente la lectura de la muestra para calibrar finalmente el equipo se deben elegir la solución con la que se aproxima más a la conductividad de la muestra.

Materiales equipos y sustancias

- Muestra de agua
- Balanza analítica
- Frascos de plástico de boca ancha de 250 mL
- Vaso de precipitado de 100 mL
- Piseta
- Probeta
- Conductivímetro
- Agua destilada

3.4.3 Turvidez

Método: Turbidimetría

Objetivo: Determinar la turbidez e una muestra de agua.

Procedimiento

Verifique dos o tres puntos de la tabla de calibración del turbidímetro para asegurar que las lecturas son confiables haga las correcciones correspondientes.

Determinación

- Conectar y calentar el equipo
- Ajustar acero con el agua des ionizada y verificar el patrón calibrado
- Agitar la muestra

- Variar la muestra de la cubeta del equipo
- Realizar la lectura de la turbidez de la muestra

Materiales equipos y sustancias

- Nefelómetro matraz de aforo de 1000 y 100 ml
- Pipetas volumétricas de 10 mL
- Probeta de 100 mL
- Agua destilada libre de turbidez
- Solución patrón de turbidez de 400 NTU

3.4.4 Dureza total (Ca+ Mg)

Objetivo: Determinar la dureza en una muestra de agua.

Procedimiento

La estandarización del EDTA sal di sódica se hace de la siguiente manera colocar 5 mL de la solución de cloruro de calcio en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, se añade 5 gotas de solución buffer de pH 10 y 3 gotas del indicador de Eriocromo Negro te aparece un color rojo vino, en presencia de iones de calcio y magnesio y se procede a titular con solución EDTA cuya normalidad se desea conocer termina hasta la aparición de un color azul.

Determinación

- Pipetear 25 mL de las muestras de agua
- Agregar 2 mL de hidróxido de amonio pH 10
- Agregar 3 gotas de indicador negro de eriocromo T (NET)
- Desde una bureta titular con EDTA hasta cambio de color de rojo vino a azul
- Registrar los mililitros gastados para su respectivo cálculo

Materiales equipos y sustancias

- Matraces volumétricos de 1000 mL

- Matraces volumétricos de 100 mL
- Soporte con pinzas para bureta
- Bureta de 25 mL
- Matraces Erlenmeyer de 125 mL
- Pipetas de 25 o 20 mL
- Frascos goteros
- Pipetas de 2 mL

3.4.5 Determinación de potasio (K^+) y sodio (Na^+)

Las aguas naturales son una fuente de aporte de sales, especialmente de bicarbonato de sodio, como también sales de calcio y magnesio entre otras.

Los aportes de estos minerales con las aguas varían de acuerdo al origen y composición de las mismas. El sodio aportado por las aguas naturales se encuentra mayoritariamente formando sales con bicarbonato y no con cloruro, también estas aguas aportan otros minerales, de los cuales calcio, magnesio y potasio son los más importantes.

Método: Fotometría de llama

Procedimiento

Verifique dos o tres puntos de la tabla de calibración del turbidímetro para asegurar que las lecturas son confiables haga las correcciones correspondientes.

Técnica

- Preparar una curva de calibración con los siguientes puntos: 0,55 y 1,10 meq/L de Na^+
- Ajustar el 0 de lectura con agua destilada con el comando de Blanco
- Ajustar a 1,10 meq/L de lectura con la solución de 1,10 meq/L de Na^+ con los botones de la sensibilidad (fine and coarse)
- Ya calibrada a 0 y 1,10 de lectura, leer la solución restante
- Graficar la lectura de la absorbancia contra las meq/L de Na^+

Determinación

- Conectar y calentar el equipo
- Ajustar acero con el agua des ionizada y verificar el patrón calibrado
- Agitar la muestra
- Variar la muestra de la cubeta del equipo
- Realizar la lectura de la turbidez de la muestra

Materiales equipos y sustancias

- Fotómetro de llama con regulador apropiado de combustible y aire
- Vasos de precipitado
- Pipetas de 5 mL
- Probeta de 25 mL
- Matraces volumétricos de 100 mL
- Agua desionizada

Reactivos

- Soluciones de Na⁺ de 0,55 y 1,10 meq/L
- Soluciones de k⁺ de 0,64 y 1,28 meq/L

3.4.6 Alcalinidad total

Método: Volumétrico

Objetivo: Determinar de la alcalinidad en una muestra de agua.

Procedimiento

Colocar 25 mL de la solución de Na₂CO₃ , 0,1 N en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, agregar 3 gotas de fenolftaleína, la muestra adquiere un color rosado titular con solución de ácido clorhídrico hasta que desaparezca el color rosado.

Determinación

- Colocar 5 mL de muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 125 mL
- Agregar 3 gotas de indicador de fenolftaleína al cero coma 25 %
- Si aparece un color rosado titular con ácido clorhídrico al 0,01 N hasta viraje a incoloro si no aparece el color rosa reportar carbonatos igual a cero
- Calcular carbonatos CO_3^{2-}
- Agregar 3 gotas de azul de naranja de metilo a 0,25 % al mismo matraz apareciendo un amarillo continuar titulando con ácido clorhídrico 0,1 N hasta la aparición de un anaranjado
- Calcular HCO_3

Materiales equipos y sustancias

- Balanza analítica
- Matraz volumétrico de 100 mL
- Vaso de precipitado
- Bureta de 25 mL
- Pipeta de 5 y 25 mL
- Ácido clorhídrico 0,01 N
- Carbonato de sodio 0,01 N
- Fenolftaleína 0,25 %
- Naranja de metilo 0,25 %

3.4.7 Determinación de Cloruros

Método: Volumétrico

Procedimiento

Colocar 25 mL de la solución de cloruro de sodio al 0,005 N, en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y agregar 3 gotas de cromato de potasio. Si la muestra adquiere un color amarillo, titular con solución de nitrato de plata hasta que aparezca el viraje hasta color rojo ladrillo.

Determinación

- Colocar 25 mL de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 125 mL
- Ajustar el pH entre 7 a 8,3 añadiendo 2 gotas de cromato de potasio al 0,1 N y 2 gotas de fenolftaleína al 25 % tiene que producirse un color rosa
- Se añaden las gotas de ácido sulfhídrico H_2SO_4 0,1 N necesarios hasta que vire a incoloro, después agregar 3 gotas de cromato de potasio al 5 %
- titular con nitrato de plata hasta que vire del color amarillo al rojo ladrillo

Materiales equipos y sustancias

- Matraces
- volumétricos de 1000 mL
- Matraces volumétricos de 100 mL
- Cápsula de porcelana
- Soporte con pinzas para bureta
- Bureta de 25 mL
- Pipeta de 5 mL
- Matraz Erlenmeyer de 125 mL
- Gotero

3.5 RESULTADOS DE LOS PARAMETROS FISICO-QUÍMICOS

3.5.1 pH

Tabla 5: Resultados obtenidos del análisis de pH

| Potencial de hidrógeno (pH) | |
|------------------------------|--|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 1 | 8,23 |
| Punto de muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre 2024 |
| 2 | 7.76 |

Fuente: Elaboración propia

La medición registrada nos indica que el agua al tener un pH de 8,23 del grifo ,7,76 de vertiente está dentro de un rango neutro, según la Norma Boliviana NB 512 se encuentra dentro el rango permisible (6,5 a 9) para el consumo humano.

3.5.2 Conductividad eléctrica

Tabla 6: Análisis obtenido de la conductividad eléctrica

| Conductividad eléctrica(uS/cm) | |
|--------------------------------|--|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 1 | 436 |
| Punto de muestreo | Muestreo agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 504 |

Fuente: Elaboración propia

Se logró determinar una conductividad eléctrica de 436 uS/cm de agua de grifo, 504 uS/cm de agua de vertiente, estos valores se encuentran dentro de lo permisible que indica para el uso doméstico es de 400 a 800 uS/cm.

Según la norma boliviana 512, según la conductividad se puede clasificar esta agua como agua doméstica.

3.5.3 Turbidez

Tabla 7: Resultados obtenidos del análisis de turbidez

| Turbidez (UNT) | |
|-------------------|---|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre 2024 |
| 1 | 1.28 |
| Punto de Muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 3.04 |

Fuente: Elaboración propia

La turbidez registrada y medida de 1,28 UNT para agua de grifo y 3,04 UNT para agua de vertiente se encuentra en el límite permitido de los parámetros según norma NB 512, que es 5 UNT como límite aceptable.

El agua de la localidad presenta un color transparente, tal y como debe ser según la normativa y las características físicas.

3.5.4 Calcio

Calculo 1 agua de grifo

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 25

Mililitros gastados del titulante (mL) = 5

Concentración del titulante (N) = 0,01

Concentración de Ca^{2+} (meq/L) = ?

Concentración de Ca^{2+} (mg Ca/L) = ?

Concentración de Ca^{2+} (mg $CaCO_3$ /L) = ?

Cálculo de la concentración de la solución de Ca.

$$Ca^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{V * N}{V_m} * 1000$$

$$Ca^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{0,01 N * 5 mL}{25 mL} * 1000 = 2 \frac{meq}{L}$$

$$2 \frac{meq}{L} * \frac{1 eq}{1000 meq} * \frac{1 mol}{2 eq} * \frac{40 g Ca}{1 mol} * \frac{1000 mg}{1 g} = 40 \frac{mg}{L} Ca$$

$$40 \frac{mg}{L} Ca * \frac{100 mg CaCO_3}{40 mg Ca} = 100 \frac{mg}{L} CaCO_3$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 25

Mililitros gastados del titulante (mL) = 4,8

Concentración del titulante (N) = 0,01

Concentración de Ca^{2+} (meq/L) = ?

Concentración de Ca^{2+} (mg Ca/L) = ?

Concentración de Ca^{2+} (mg $CaCO_3$ /L) = ?

Cálculo de la concentración de la solución de Ca.

$$Ca^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{V * N}{V_m} * 1000$$

$$Ca^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{0,01 N * 4.8 mL}{25 mL} * 1000 = 1,9 \frac{meq}{L}$$

$$1,9 \frac{meq}{L} * \frac{1 eq}{1000 meq} * \frac{1 mol}{2 eq} * \frac{40 g Ca}{1 mol} * \frac{1000 mg}{1 g} = 38 \frac{mg}{L} Ca$$

$$38 \frac{mg}{L} Ca * \frac{100 mg CaCO_3}{40 mg Ca} = 95 \frac{mg}{L} CaCO_3$$

Tabla 8: Resultados obtenidos en el análisis de calcio

| Ca (mg/L) | |
|-------------------|---|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre 2024 |
| 1 | 100 |
| Punto de Muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 95 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que existe presencia de calcio en el punto de muestreo en un rango de 100 mg/L de calcio en agua de grifo y 95 mg/L de calcio en agua de vertiente. Los datos obtenidos en el análisis de calcio, están por debajo del límite permisible que indica 200 mg/L como valor aceptable según la norma boliviana 512.

3.5.5 Magnesio

Calculo 1 agua de grifo

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 25

Mililitros gastados del titulante (mL) = 9,2

Concentración del titulante (N) = 0,01

Concentración de Mg^{2+} (meq/L) = ?

Concentración de Mg^{2+} (mg Mg/L) = ?

Concentración de Mg^{2+} (mg $CaCO_3$ /L) = ?

$$Dureza\ total = Ca + Mg \rightarrow Mg = DT - Ca$$

Reemplazando:

$$Mg = 9,2 - 5 = 4,2\ mL$$

Cálculo de la concentración de la solución de Mg.

$$Mg^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{V * N}{V_m} * 1000$$

$$Mg^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{0,01 N * 4.2 mL}{25 mL} * 1000 = 1,7 \frac{meq}{L}$$

$$1,7 \frac{meq}{L} * \frac{1 eq}{1000 meq} * \frac{1 mol}{1 eq} * \frac{24,31 g Mg}{1 mol} * \frac{1000 mg}{1 g} = 41,3 \frac{mg}{L} Mg$$

$$41,3 \frac{mg}{L} Mg * \frac{100 mg CaCO_3}{24,31 mg Mg} = 168,9 \frac{mg}{L} CaCO_3$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 25

Mililitros gastados del titulante (mL) = 8,8

Concentración del titulante (N) = 0,01

Concentración de Mg^{2+} (meq/L) = ?

Concentración de Mg^{2+} (mg Mg/L) = ?

Concentración de Mg^{2+} (mg $CaCO_3$ /L) = ?

$$Dureza\ total = Ca + Mg \rightarrow Mg = DT - Ca$$

Reemplazando:

$$Mg = 8,8 - 4,8 = 4 mL$$

Cálculo de la concentración de la solución de Mg.

$$Mg^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{V * N}{V_m} * 1000$$

$$Mg^{+2} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{0,01 N * 4 mL}{25 mL} * 1000 = 1,6 \frac{meq}{L}$$

$$1,6 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ eq}} * \frac{24,31 \text{ g Mg}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 38,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Mg}$$

Tabla 9: Resultados obtenidos del análisis de magnesio

| Mg (mg/L) | |
|-------------------|--|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 1 | 168,9 |
| Punto de Muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 160 |

Fuente: Elaboración propia

Se observa que existe presencia de magnesio en el punto de muestreo en un rango de 168,9 mg/L de agua de grifo y 160 mg/L de agua de vertiente de magnesio. Este dato obtenido en el análisis está por encima del límite máximo aceptable (150 mg/L) que establece la Norma Boliviana 512.

3.5.6 Sodio

Calculo 1 agua de grifo

Datos:

Blanco = 0

Patrón de concentración menor = $0,55 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$ = $0,60 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$

Patrón de concentración mayor = $1,10 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$ = $1,10 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$

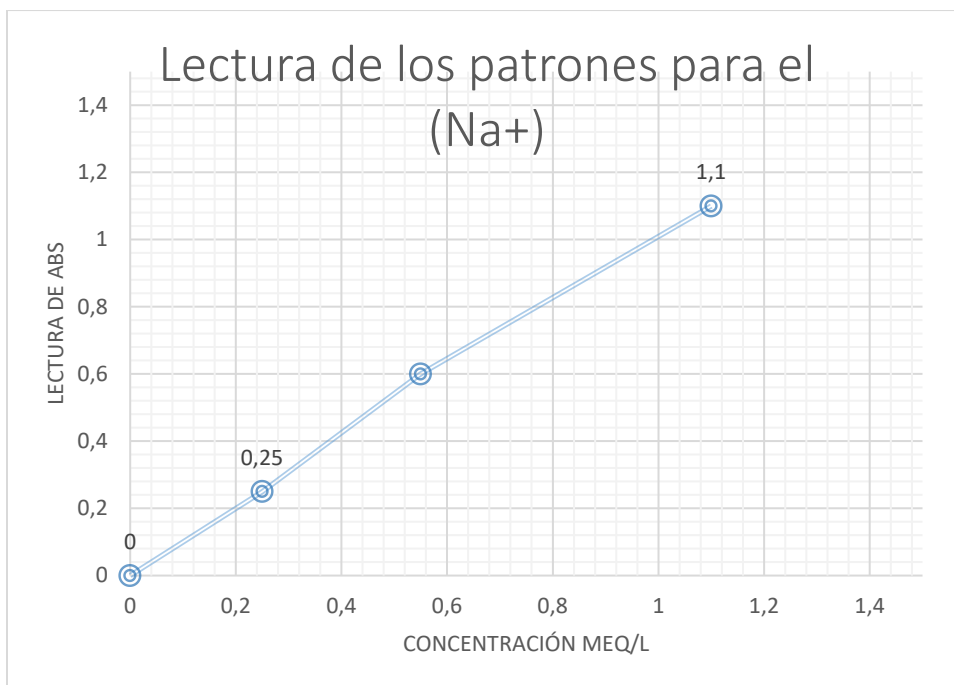
Concentración de diluido = 0,25

Reactivos

Soluciones de Na⁺ de 0,55 y 1,10 meq/L

Cálculo: Con la lectura de los patrones, realizar una gráfica absorbancia Vs concentración.

Figura 3: Lectura de patrón de sodio 1



Fuente: Elaboración propia con el software Excel

$$0,25 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ eq}} * \frac{23 \text{ g Na}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5,75 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Na}$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

Blanco = 0

$$\text{Patrón de concentración menor} = 0,55 \frac{\text{meq}}{\text{L}} = 0,60 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$$

$$\text{Patrón de concentración mayor} = 1,10 \frac{\text{meq}}{\text{L}} = 1,10 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$$

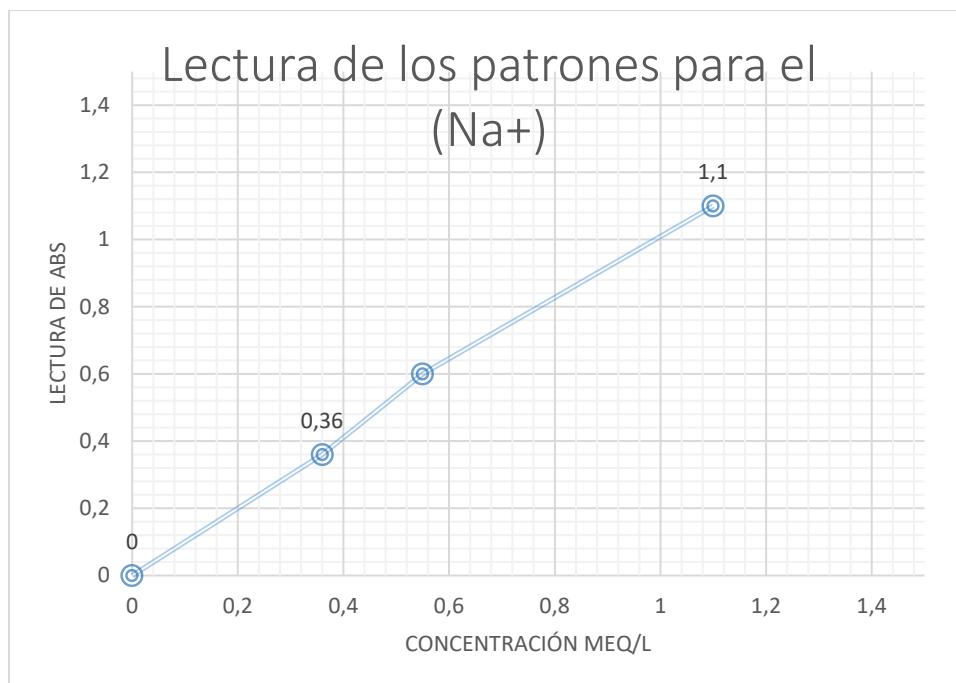
Concentración de diluido = 0,36

Reactivos

Soluciones de Na⁺ de 0,55 y 1,10 meq/L

Cálculo: Con la lectura de los patrones, realizar una gráfica absorbancia Vs concentración.

Figura 4: Lectura del patrón de sodio 2



Fuente: Elaboración propia con el software Excel

$$0,36 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ eq}} * \frac{23 \text{ g Na}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 8,28 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Na}$$

Se observa que existe presencia de sodio en el punto de muestreo en un rango de 5,75 mg/L de Na en agua de grifo y 8,28 mg/L en agua de vertiente, se encuentra dentro de los rangos permitidos por la NB 512.

3.5.7 Potasio

Calculo 1 agua de grifo

Datos:

Blanco = 0

Patrón de concentración menor = $0,64 \frac{meq}{L} = 0,62 \frac{meq}{L}$

Reactivos

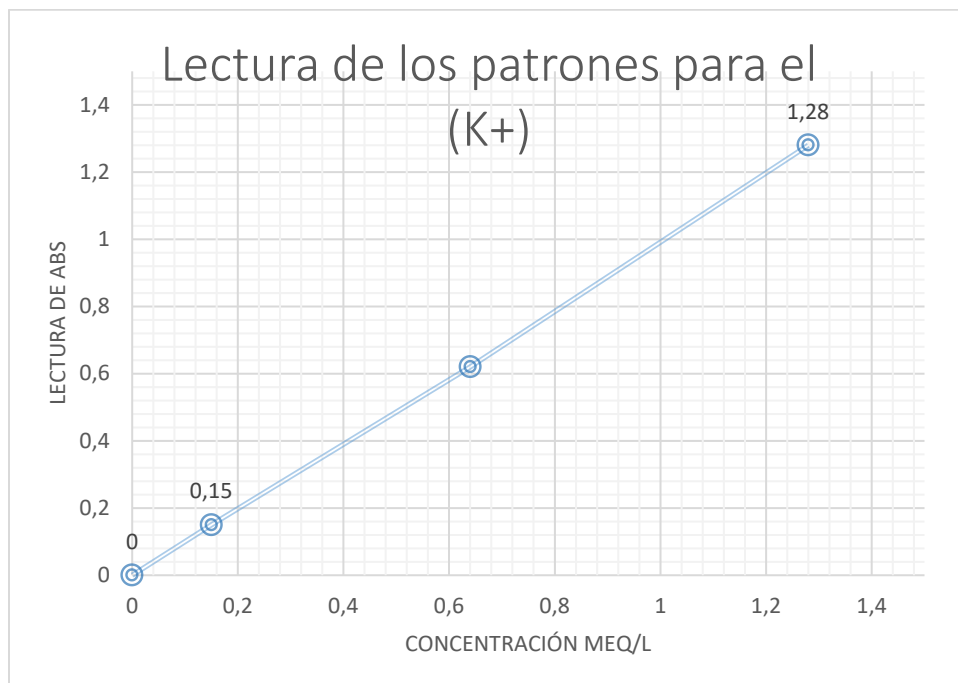
Soluciones de Na⁺ de 0,64 y 1,28 meq/L

Patrón de concentración mayor = $1,28 \frac{meq}{L} = 1,28 \frac{meq}{L}$

Concentración de diluido = 0,15

Cálculo: Con la lectura de los patrones, realizar una gráfica absorbancia Vs concentración.

Figura 5: Lectura de patrón de potasio 1



Fuente: Elaboración propia con el software Excel

$$0,15 \frac{meq}{L} * \frac{1 eq}{1000 meq} * \frac{1 mol}{1 eq} * \frac{39,1g K}{1 mol} * \frac{1000 mg}{1 g} = 5,9 \frac{mg}{L} K$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

Blanco = 0

Patrón de concentración menor = $0,64 \frac{meq}{L} = 0,62 \frac{meq}{L}$

Reactivos

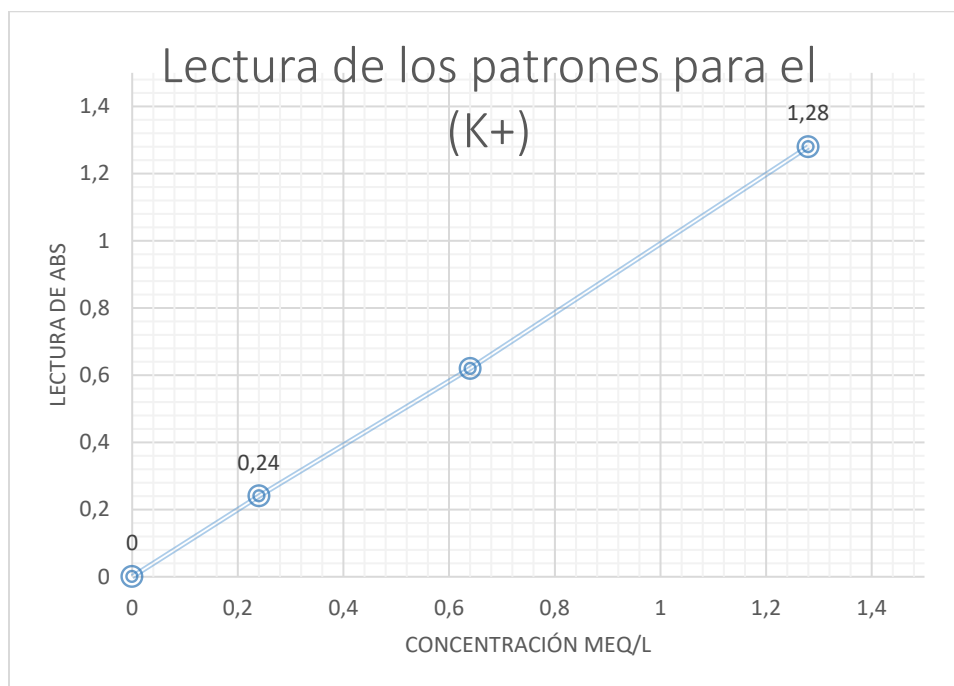
Soluciones de Na⁺ de 0,64 y 1,28 meq/L

Patrón de concentración mayor = $1,28 \frac{meq}{L} = 1,28 \frac{meq}{L}$

Concentración de diluido = 0,15

Cálculo: Con la lectura de los patrones, realizar una gráfica absorbancia Vs concentración.

Figura 6: Lectura de patrón de potasio 2



Fuente: Elaboración propia con el software Excel

$$0,24 \frac{meq}{L} * \frac{1 eq}{1000 meq} * \frac{1 mol}{1 eq} * \frac{39,1g K}{1 mol} * \frac{1000 mg}{1 g} = 9,4 \frac{mg}{L} K$$

Se observa que existe presencia de potasio en el punto de muestreo en un rango de 5,9mg/L de K en el agua de grifo y 9,4 mg/L en agua de vertiente, se encuentra dentro de los rangos permitidos por la NB 512.

3.5.8 Dureza total

Cálculos 1 para agua de grifo

Datos:

$$\text{Ca} = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

$$\text{Mg} = 168,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

$$\text{DT} = \text{Ca} + \text{Mg}$$

Cálculo de dureza total reemplazando datos:

$$\text{DT} = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 + 168,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 = 268,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

$$\text{Ca} = 95 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

$$\text{Mg} = 160 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

$$\text{DT} = \text{Ca} + \text{Mg}$$

Cálculo de dureza total reemplazando datos:

$$\text{DT} = 95 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 + 160 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 = 255 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

Tabla 10: Análisis obtenido de dureza total del agua

| Dureza total ($\frac{mg}{L} CaCO_3$) | |
|---|---|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 1 | 268,9 |
| Punto de Muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 255 |

Fuente: Elaboración propia

Se logró determinar una dureza del agua de grifo $268,9 \frac{mg}{L} CaCO_3$ y del agua de vertiente $255 \frac{mg}{L} CaCO_3$ según la norma boliviana NB-512 nos indica que está en el límite de lo permitido.

3.5.9 Bicarbonatos

Calculo 1 agua de grifo

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 5

Volumen de titulante (mL) = 0,15

Concentración del titulante (N) = 0,01

Concentración de bicarbonatos (mg/L de HCO_3) =?

Cálculo de la concentración de la solución de HCO_3 .

$$HCO_3 \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{(T - 2 * V) * N}{V_m} * 1000$$

$$HCO_3 \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{(1,15 - 2 * 1 \text{ mL})0,01}{5 \text{ mL}} * 1000 = 1,7 \frac{meq}{L}$$

$$1,7 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ eq}} * \frac{61 \text{ g } HCO_3}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 51,85 \frac{\text{mg}}{\text{L}} HCO_3$$

$$51,85 \frac{\text{mg}}{\text{L}} HCO_3 * \frac{100 \text{ mg } CaCO_3}{61 \text{ mg } HCO_3} = 85 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CaCO_3$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 5

Volumen de titulante (mL) = 0,18

Concentración del titulante (N) = 0,01

Concentración de bicarbonatos (mg/L de HCO_3) = ?

Cálculo de la concentración de la solución de HCO_3 .

$$HCO_3 \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) = \frac{(T - 2 * V) * N}{V_m} * 1000$$

$$HCO_3 \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) = \frac{(1,18 - 2 * 1 \text{ mL})0,01}{5 \text{ mL}} * 1000 = 1,64 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$$

$$1,64 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ eq}} * \frac{61 \text{ g } HCO_3}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 50,02 \frac{\text{mg}}{\text{L}} HCO_3$$

$$50,02 \frac{\text{mg}}{\text{L}} HCO_3 * \frac{100 \text{ mg } CaCO_3}{61 \text{ mg } HCO_3} = 82 \frac{\text{mg}}{\text{L}} CaCO_3$$

Tabla 11: Resultados obtenidos del análisis de bicarbonato

| Bicarbonatos (mg/L) | |
|------------------------|--|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Betanzos 26 de junio de 2023 |
| 1 | 85 |
| Punto de muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 82 |

Fuente: Elaboración propia

Se logró determinar 85 mg/L CaCO₃ de HCO₃⁻ de agua de grifo y 83 mg/L CaCO₃ de HCO₃⁻ según la norma boliviana NB 512 nos indica que este registro de alcalinidad no sobrepasa el valor máximo aceptable.

3.5.10 Cloruro

Calculo 1 agua de grifo

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 25

Concentración del titulante (N) = 0,005

Volumen gastado titulante (mL) = 2

Concentración Cl⁻ (meq/L) = ?

Concentración Cl⁻ (mg/L) = ?

Cálculo de la concentración de la solución de HCl.

$$Cl^{-} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{V * N}{V_m} * 1000$$

$$Cl^{-} \left(\frac{meq}{L} \right) = \frac{0,005 N * 2 mL}{25 mL} * 1000 = 0,4 \frac{meq}{L}$$

$$0,4 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ eq}} * \frac{35,5 \text{ g Cl}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 14,2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}$$

Calculo 2 agua de vertiente

Datos:

Volumen de la muestra (mL) = 25

Concentración del titulante (N) = 0,005

Volumen gastado titulante (mL) = 2,4

Concentración Cl^- (meq/L) = ?

Concentración Cl^- (mg/L) = ?

Cálculo de la concentración de la solución de HCl.

$$\text{Cl}^- \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) = \frac{V * N}{V_m} * 1000$$

$$\text{Cl}^- \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) = \frac{0,005 \text{ N} * 2,4 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} * 1000 = 0,5 \frac{\text{meq}}{\text{L}}$$

$$0,5 \frac{\text{meq}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ eq}}{1000 \text{ meq}} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ eq}} * \frac{35,5 \text{ g Cl}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 17,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}$$

Tabla 12: Resultados obtenido del análisis de cloruro


| Cloruros (mg/L) | |
|--------------------|---|
| Punto de Muestreo | Muestreo agua de grifo de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 1 | 14,2 |
| Punto de Muestreo | Muestreo de agua de vertiente a 15 km de la localidad de Mojtulo 11 de septiembre de 2024 |
| 2 | 17,8 |

Fuente: Elaboración propia

Se logró determinar que el contenido de cloruros de la muestra de agua de grifo es de 14,2 mg/L de Cl^- y de agua de vertiente es de 17,8 mg/L de Cl^- y que en comparación con la norma boliviana NB 512 nos indica que está dentro de lo permitido.

3.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 13: Resumen de resultado de análisis físico-químico en laboratorio

| | | | |
|---|--|------------------------|----------------------------|
|  | Certificado del Análisis de Laboratorio | DCA-01 | |
| | | Gestión | 2024 |
| | | Versión | 1 |
| | | Código | F.1 |
| Requisitos físico-organolépticos | | | |
| Parámetro | Unidades | Valor | Norma de referencia |
| Sabor y olor | Ninguno | - | Acceptables |
| Turbiedad | UNT | Mg: 1,28 Mv: 3,04 | NB 512 |
| Requisitos físico-químicos | | | |
| Parámetro | Unidades | Valor | Norma de referencia |
| Ph | - | Mg: 8,23 Mv: 7,76 | NB 512 |
| Conductividad Eléctrica | $\mu\text{S/cm}$ | Mg: 436 Mv: 504 | NB 512 |
| Calcio | $\text{mg-CaCO}_3/\text{L}$ | Mg: 100 Mv: 95 | NB 512 |
| Magnesio Mg | $\text{mg.CaCO}_3/\text{L}$ | Mg: 168,9 Mv: 180,2 | NB 512 |
| Sodio | mg Na/L | Mg: 5,75 Mv: 8,28 | NB 512 |
| Potasio | mg k/L | Mg: 5,9 Mv: 9,4 | NB 512 |

| | | | |
|-------------------|--------------------------|----------------------|--------|
| Dureza total | mg- CaCO ₃ /L | Mg: 268,9 Mv: 255 | NB 512 |
| Carbonatos | mg- CaCO ₃ /L | 0,0 | NB 512 |
| Bicarbonatos | mg- CaCO ₃ /L | Mg: 85 Mv: 83 | NB 512 |
| Alcalinidad Total | mg- CaCO ₃ /L | Mg: 85 Mv:83 | NB 512 |
| Cloruros | mg-Cl/L | Mg:14,2 Mv:17,8 | NB 512 |

Fuente: Elaboración propia

Se ha realizado la clasificación del agua de vertiente y de grifo de la localidad de mojtulo según la Ley 1333 y la NB 512, donde los resultados indican que es de clase C en parámetros físico-químicos, que demuestran que es agua de uso general, que para ser habilitada para consumo humano requiere de un tratamiento físico-químico completo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- A través del análisis de los parámetros físicos y químicos del agua en laboratorio, se obtiene una comprensión completa de la composición del agua, su potencial impacto en la salud humana, así también proporciona información valiosa para determinar si el agua cumple con los estándares de calidad requeridos.
- La identificación del punto de toma de muestra del agua para análisis de laboratorio es un paso fundamental en la determinación de la calidad del agua. Este proceso garantiza que la muestra sea representativa del grifo y de vertiente en cuestión, lo que a su vez asegura la precisión de los resultados de laboratorio.
- La Norma Boliviana 512, es fundamental para asegurar la salud y el bienestar de la población, porque garantiza que el agua destinada al consumo cumpla con los estándares de calidad establecidos, lo que reduce significativamente el riesgo de enfermedades relacionadas con el agua y promueve una mejor calidad de vida.

RECOMENDACIONES

- Con el propósito de reducir la contaminación existente en el agua de consumo humano se recomienda, invertir en la actualización y mejora de la infraestructura de tratamiento y distribución de agua, mediante la implementación de sistemas de filtración y desinfección más avanzados para garantizar la eliminación efectiva de contaminantes microbiológicos.
- Explorar la posibilidad de diversificar las fuentes de agua para reducir la presión sobre una única fuente. Esto puede incluir la identificación de fuentes de agua alternativas y la implementación de sistemas de tratamiento adecuados, ya que actualmente la distribución de agua no abastece constantemente a toda la localidad.
- Es importante informar a la localidad de Mojtulo sobre la importancia de conservar y proteger la calidad del agua.

BIBLIOGRAFIA

- Bazán. J.C. (2023). Guia de Laboratorio de Química Analítica Aplicada (Vol.4). En I. J. Bazán, *Guia de Laboratorio de Química Analítica Aplicada (Vol.4)*.
- Bueno. (2011). Determinación de los Parámetros Fisico-Químicos de Calidad de las Aguas. En Bueno, *Determinación de los Parámetros Fisico-Químicos de Calidad de las Aguas*. Madrid, España.: Universidad Carlos III.
- El proceso de purificación del agua, s. (2012). El proceso de purificación del agua, s.f. En s. El proceso de purificación del agua, *El proceso de purificación del agua, s.f.*
- Elisabeth Z. Andersen, B. H. (2019). Bicarbonato en Agua Potable: Una Revisión. *Investigación del agua*, 161, 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.052>
- Elisabeth Z. Andersen, B. H. (2019). Carbonatos en agua potable: una revisión. *Investigación del agua*, 159, 254-269. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.070>
- El-Salam, M. H. (2018). Potasio en el agua potable: una revisión de su importancia y riesgo para la salud. *Potasio en el agua potable: una revisión de su importancia y riesgo para la salud*, 15(7), 1276.
- OMS. (2006). *Agua para consumo humano*. Agua para consumo humano: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OMS. (2008). *Guías para la calidad del agua para consumo humano de la organización mundial de la salud*. Primer Apéndice 3ra edición.
- OMS, O. M. (2017). *Directrices para la calidad del agua potable: Cuarto*. Directrices para la calidad del agua potable: Cuarto.
- Programa 21 Naciones Unidas, 1. (2002). *Guías para la calidad del agua potable OMS*. Washington, DC: Edición original

- Santos, D. d. (1989). APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y. En D. d. Santos, *APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y.*
- Sarah A. Perryman, H. M. (2017). Alcalinidad: una revisión. *Water Research, 116*, 60-74.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.054>
- Sodio en el agua potable y su impacto en la salud pública, Y. Z. (2017). Sodio en el agua potable y su impacto en la salud pública: una revisión. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública, 14(7)*, 7.
- Tratamiento Y Purificación de Agua. (2018). Tratamiento Y Purificación de Agua. En T. Y. Agua., *Tratamiento Y Purificación de Agua.*
- USGS, W. P.-U. (febrero de 2021). *Water Properties and Measurements-U.S. Geological Survey USGS*. ste recurso del USGS proporciona información detallada sobre las propiedades físicas del agua y sus estados, incluyendo sólido, líquido y gaseoso.:
<https://water.usgs.gov/edu/waterproperties.html>

ANEXOS

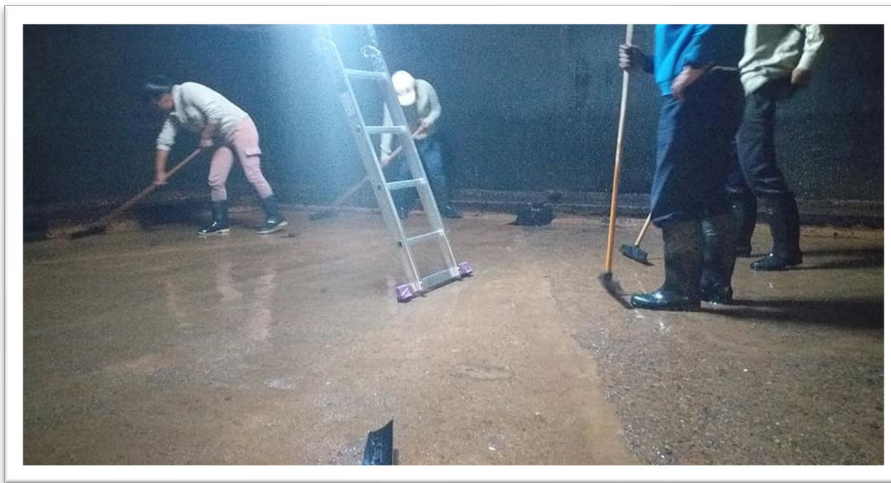
ANEXOS

Titulación realizada para calcio, dureza total, bicarbonatos y cloruro



Fuente: Elaboración propia, Lab-BS01

Limpieza sedimentos de los tanques de captación de agua de mojitulo



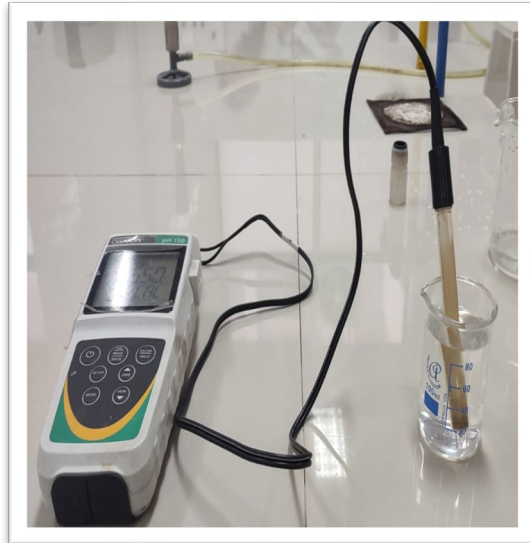
Fuente: elaboración propia

Turbidímetro



Fuente: Elaboración propia Lab. BSO1

Conductivímetro



Fuente: Elaboración propia Lab. BSO1

Espectrofotómetro UV



Fuente: Elaboración propia Lab. BSO1

Toma de muestra del agua de grifo



Fuente: Elaboración propia