

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO,
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AGUA DE LA LOCALIDAD DE
SOQUE – ÁMBAR”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

ALEXANDRA MILAGROS ROMERO ZAMUDIO

HUACHO – PERÚ

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO,
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE AGUA DE LA LOCALIDAD DE
SOQUE – ÁMBAR”**

Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador

Ing. Cayo Eduardo Guerra Lazo

Presidente

Ing. Víctor Raúl Coca Ramírez

Secretario

Ing. Jesús Gustavo Barreto Meza

Vocal

Dr. José Vicente Nunja García

Asesor

HUACHO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

A Dios por guiar mis pasos y bendecirme día a día. A mis padres Antonio y Karina, ejemplo de rectitud, honestidad y trabajo, por dar lo mejor de sí para poder ayudarme a ser lo que soy, gracias por orientarme, tener paciencia y brindarme palabras sabias en los momentos exactos de mi vida.

A Alexander por estar conmigo en cada desvelo, con su apoyo y fortaleza, a pesar de que no fue sencillo culminar este proyecto con éxito, sin embargo siempre estuviste motivándome y diciéndome que lo lograría, ayudándome hasta donde te era posible, incluso más que eso, con amor.

Alexandra Milagros Romero Zamudio

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Centro de Salud Huaura, quienes brindaron todas las facilidades para el desarrollo de esta investigación, del cual, estaré eternamente agradecida con la Dra. Mónica Aguirre, Médico jefe de la Microred Huaura.

De manera especial resaltar el apoyo del Téc. Feliciano Cavero, personal de Salud Ambiental, por su tiempo y dedicación, por darme la oportunidad, confiar en mí y compartir conmigo muchos de sus conocimientos.

Alexandra Milagros Romero Zamudio

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Descripción de la realidad problemática.	11
1.2. Formulación del problema	11
1.2.1. Problema General	11
1.2.2. Problemas Específicos	12
1.3. Objetivos de la investigación	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. Justificación de la Investigación	12
1.5. Delimitación del estudio	13
1.5.1. Delimitación espacial	13
1.5.2. Delimitación temporal	14
1.6. Viabilidad del estudio	14
1.6.1. Viabilidad Técnica	14
1.6.2. Viabilidad Económica	14
1.6.3. Viabilidad Social	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes de la Investigación	15

2.1.1. Antecedentes Internacionales	15
2.1.2. Antecedentes Nacionales	16
2.2. Bases Teóricas	18
2.2.1. El agua	18
2.2.2. El ciclo hidrológico	18
2.2.3. Arsénico en el Agua	18
2.2.4. El arsénico según la OMS	19
2.2.5. Estándar de Calidad Ambiental para Agua	19
2.2.6. Tratamientos para la remoción de arsénico	19
2.3. Definiciones conceptuales	21
2.4. Formulación de la Hipótesis	21
2.4.1. Hipótesis General	21
2.4.2. Hipótesis Específicas	22
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	23
3.1. Diseño Metodológico	23
3.1.1. Tipo de Investigación	23
3.1.2. Nivel de Investigación	23
3.1.3. Diseño	23
3.1.4. Enfoque	23
3.2. Población y Muestra	23
3.2.1. Población	23
3.2.2. Muestra	23
Fuente: Autoría propia.	24
3.3. Operacionalización de Variables e Indicadores	25
Fuente: Autoría propia.	25

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.4.1. Técnicas a emplear	25
3.4.2. Descripción de los instrumentos	26
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información	27
3.5.1. Del análisis de laboratorio	27
3.5.2. De la recopilación de información	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	28
4.1. De la información recopilada	28
4.1.1. Análisis y comparación de los resultados con respecto a los ECA para Agua.	28
4.2. Propuesta de tecnologías para la remoción de arsénico	30
4.2.1. Metodologías de remoción de arsénico dependiendo del tipo de proceso	31
4.2.2. Ventajas y desventajas de las metodologías para remover arsénico	38
4.2.3. Consideraciones para determinar propuestas metodológicas viables de acuerdo a la zona en estudio	39
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	44
5.1. Discusión	44
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6.1. Conclusiones	47
6.2. Recomendaciones	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
6.1. Fuentes bibliográficas	49
6.2. Fuentes Hemerográficas	50
6.3. Fuentes Documentales	52
6.4. Fuentes Electrónicas	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de Muestreo establecidos por el Hospital Regional Huacho	24
Tabla 2. Características del Punto de Muestreo C1 (Captación de Agua).....	24
Tabla 3. Operacionalización de Variables	25
Tabla 4. Resultados de análisis de parámetros inorgánicos recopilados desde el 2013 hasta el 2017 de la localidad de Soque	28
Tabla 5. Promedio de las concentraciones de arsénico correspondiente a los periodos del 2013 al 2017 de la localidad de Soque en comparación con el Estándar de Calidad Ambiental para Agua.....	29
Tabla 6. Diferencia de las concentraciones de Arsénico correspondiente a los periodos del 2013 al 2017 de la localidad de Soque en relación al Estándar de Calidad Ambiental para Agua.....	29
Tabla 7. Valores de referencia ^a establecidos teniendo en cuenta la eficacia del arsénico, según la OMS.....	30
Tabla 8. Ventajas y desventajas de las metodologías para remover arsénico según el tipo de proceso	38
Tabla 9. Evaluación de los criterios de las metodologías para considerarse como propuesta.	40
Tabla 10. Medición de la evaluación de los criterios de las metodologías para considerarse como propuesta	41
Tabla 11. Resumen de la evaluación de las metodologías de acuerdo a los criterios establecidos para considerarse como propuesta.....	42
Tabla 12. Resultados de la evaluación de los criterios de las metodologías para considerarse como propuesta	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. GPS GARMIN MONTANA 680.	55
Figura 2. Ruta desde la ciudad de Huaura hasta el C.P. Soque.	55
Figura 3. Recorrido desde el Centro Poblado Soque hasta el Punto C1 (Captación de agua).	56
Figura 4. Primera vista de la localidad Soque.....	56
Figura 5. Segunda vista de la localidad de Soque.....	57
Figura 6. Vista frontal del punto C1 (Captación de agua).	57
Figura 7. Vista superior del punto C1 (Captación de agua).....	58

“Propuesta de Tratamientos de Remoción de Arsénico, para mejorar la Calidad de Agua de la Localidad de Soque – Ámbar”

“Proposal for Arsenic Removal Treatments to Improve the Water Quality of the Town of Soque – Ámbar”

Alexandra Milagros Romero Zamudio¹, José Vicente Nunja García²

RESUMEN

Objetivo: Analizar la calidad de agua de la localidad de Soque y establecer la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico para mejorar la calidad del mismo. **Metodología:** Los resultados de las concentraciones de arsénico desde el 2013 hasta 2017 de Soque se analizaron en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para agua y las concentraciones de referencia de la OMS; a su vez se recopilamos 5 metodologías de remoción de arsénico, de las cuales para la determinación de la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico se establecieron 7 criterios que, de acuerdo a la realidad de la zona se fijó una estimación de los indicadores que deberían cumplir estos de acuerdo al nivel de relevancia para ser considerados. **Resultados:** El valor mínimo de arsénico encontrado en las muestras de agua es de 0.012 mg/L y el máximo es de 0.0350 mg/L, la concentración promedio es 0.0184 mg As/L. De las muestras analizadas para el año 2013 excede en un 0.0052 mg As/L, 0.002 mg As/L para el año 2014, 0.0048 mg As/L para el año 2015, 0.005 mg/L para el año 2016 y 0.0025 mg As/L para el año 2017, en comparación con el ECA y las concentraciones de referencia de la OMS. En la evaluación de las metodologías la precipitación química, coagulación y filtración cumple con 6 criterios, la reducción química cumple con 4 criterios; la adsorción, intercambio iónico y los procesos de membrana cumplen con 2 criterios respectivamente. **Conclusión:** Las muestras de agua analizadas desde el 2013 al 2017, exceden el valor de 0.01 mg As/L establecido en el ECA agua y por la OMS. Se determinó como propuesta de tratamiento de remoción de arsénico a la precipitación química, coagulación y filtración ya que se adecua a las necesidades del lugar.

Palabras clave: Arsénico, calidad de agua, remoción de arsénico.

1. Tesista. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Lima, Perú.
2. Asesor. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Lima, Perú.

ABSTRACT

Objective: Analyze the quality of water in the town of Soque and establish the proposed arsenic removal treatments to improve its quality. **Methodology:** The results of the arsenic concentrations from 2013 to 2017 from Soque were analyzed in comparison with the Environmental Quality Standards (EQS) and the reference concentrations of the WHO; In turn, 5 arsenic removal methodologies were compiled, of which 7 criteria were established to determine the proposed arsenic removal treatments, which, according to the reality of the area, an estimate of the indicators that should fulfill these according to the level of relevance to be considered. **Results:** The minimum arsenic value found in the water samples is 0.012 mg As/ L and the maximum is 0.0350 mg As/ L, the average concentration is 0.0184 mg As/L. Of the samples analyzed for the year 2013 it exceeds by 0.0052 mg As/L, 0.002 mg As/L for 2014, 0.0048 mg As/L for 2015, 0.005 mg As/L for 2016 and 0.0025 mg As/L for 2017, compared to EQS and WHO reference concentrations. In the evaluation of the methodologies, chemical precipitation, coagulation and filtration meet 6 criteria, chemical reduction meets 4 criteria; adsorption, ion exchange and membrane processes meet 2 criteria respectively. **Conclusion:** The water samples analyzed from 2013 to 2017, exceed the value of 0.01 mg As / L established in the EQS and by the WHO. Chemical precipitation, coagulation and filtration was determined as a proposal for arsenic removal treatment since it is adapted to the needs of the place.

Keywords: arsenic, water quality, removal treatments.

INTRODUCCIÓN

En el Perú se encuentran extensas áreas rurales donde existe una amplia brecha, en la cual la pobreza extrema rural supera en 14 veces a la pobreza extrema urbana (de acuerdo a un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática), estos pobladores carecen de agua apta para el consumo humano y utilizan este recurso de manera descontrolada. El arsénico en el agua es tóxico y tiende a acumularse, lo que trae consecuencias graves para la salud de las personas y específicamente se torna severo en las zonas rurales, ya que el suministro de agua es proporcionado por fuentes cuyos análisis están más allá de la capacidad de las autoridades competentes (Jorge C. et al. 2003).

Esta investigación muestra un análisis de las variaciones de los niveles de arsénico en las muestras de agua correspondiente a los periodos desde el 2013 hasta el 2017 de la localidad de Soque perteneciente al distrito de Ámbar (Huaura, Lima, Perú); los cuales fueron comparados con los límites establecidos por el ECA para agua y los niveles de referencia brindados por la OMS. Estos datos sirvieron como punto de partida para la elaboración y determinación de la propuesta de remoción de arsénico en el agua.

Mediante la recopilación de diversos tipos de tratamientos de remoción de arsénico, se determinaron sus principales características en cuanto al proceso de remoción y eficiencia del mismo, ventajas y desventajas; para así a través de una serie de criterios que se establecieron de acuerdo a la realidad y necesidades de la zona, poder obtener como resultado los tratamientos de remoción de arsénico a ser considerados como propuesta para hacer mejoras en el estado de la calidad de agua consumido por la población de la localidad de Soque.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

La exposición a concentraciones de arsénico aún en niveles bajos y en diferentes periodos de tiempo en el agua, están relacionadas a la aparición de diversos problemas a la salud ya sea un aumento en el riesgo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias (OMS, 2006).

En los últimos 15 años se ha visto un incremento demográfico clave; a raíz de ello, cada vez más aumenta la demanda del servicio del agua por parte de la población. Las barreras físicas y económicas dificultan el acceso al agua segura de la población, estos factores no han sido eliminados ni minimizados eficientemente para una mejor gestión de los recursos hídricos. Teniendo en cuenta los factores anteriores, es necesario mejorar en la gestión del servicio de agua desde su captación hasta su distribución a la población; soluciones alternativas para la eliminación de metales pesados en el agua, con una adecuada asistencia técnica para la selección de los mismos; campañas de sensibilización y concientización dirigida a la población en relación a la presencia de metales pesados en el agua y sus efectos nocivos en la salud mediante información oportuna y veraz (ETRAS, 2016).

La presente investigación busca identificar las variaciones del nivel de arsénico en diferentes periodos de tiempo de la localidad de Soque, específicamente en la fuente de abastecimiento del sistema de agua (también conocido como “captación”) teniendo en cuenta los valores dados por el ECA para agua y la OMS; corroborando las concentraciones de los diversos parámetros mediante un nuevo análisis de laboratorio, para verificar el aumento o disminución de sus concentraciones, lo cual permitirá brindar una idea del grado de afectación a la población en diferentes periodos; estos análisis servirán para proponer diversos tipos de tratamientos que podrían ser aplicados de acuerdo a la realidad de la zona.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida los tratamientos de remoción de arsénico se relacionan con la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar?

1.2.2. Problemas Específicos

- Problema Específico 1:

¿En qué medida la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico se relaciona con el análisis de la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar?

- Problema Específico 2:

¿En qué medida la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico mejorará la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Proponer tratamientos de remoción de arsénico para mejorar la calidad de agua de la localidad de Soque - Ámbar.

1.3.2. Objetivos específicos

- Objetivo Específico 1:

Realizar el análisis de la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar.

- Objetivo Específico 2:

Establecer una propuesta de tratamientos de remoción de arsénico para mejorar de la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar.

1.4. Justificación de la Investigación

El riesgo prolongado de las personas al consumir agua con presencia de ciertos contaminantes químicos (uno de ellos, el arsénico), se ha demostrado que generan impactos negativos en la salud (OMS, 2006).

El Perú cuenta con gran cantidad de pasivos ambientales mineros determinados por el MEF (Ministerio de Energía y Minas), intensas actividades mineras informales e ilegales y actividades económicas de producción que constituyen diversas fuentes de contaminación, así como la presencia de elementos químicos en su estado natural, que en muchas ocasiones al estar expuestos a los peligros y riesgos de estas toxinas, que a su vez han dado lugar a conflictos socio ambientales en varias ocasiones, generalmente debido a que no se cuenta con información veraz y oportuna, ya sea concerniente a riesgos ambientales o el desconocimiento de los impactos negativos que ocasiona la exposición a

metales pesados a largo plazo mediante el consumo de agua y su efecto en la salud de la población (ETRAS, 2016).

Asimismo, teniendo en cuenta que los entes responsables de garantizar el servicio nacional de agua de consumo humano urbano y rural no cuentan con las facilidades que permitan asegurar permanentemente la disponibilidad del agua, sin la presencia de metales pesados. Debido a que muchas de las instituciones del estado no disponen de materiales y equipos, disponibilidad de presupuestos económicos, planes y programas de trabajo que permitan asegurar la calidad del agua; entre estas instituciones tenemos: el ANA (ente rector técnico normativo de la gestión de los recursos hídricos), la SUNASS (ente rector que busca garantizar la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado, rural y urbano), y MINSA-DIGESA (ente rector responsable de la vigilancia de diversos factores de riesgos en materia de salud ambiental, que incluyen la vigilancia sanitaria de la calidad de agua y la vigilancia epidemiológica) y el CENSOPAS (responsable de las investigaciones en salud y agua) (ETRAS, 2016).

Los resultados de la investigación en la localidad de Soque, servirán para tener una base de datos clave con respecto a las variaciones en las concentraciones de arsénico en el agua de la zona, asimismo, el proyecto de investigación contará con una serie de propuestas de diversos tipos de tratamientos de remoción de arsénico teniendo en cuenta sus ventajas y/o desventajas; toda esta información podría ser posteriormente utilizada por las autoridades del lugar para realizar las gestiones necesarias para mejorar la calidad del agua consumida por la población.

Este proyecto de investigación se justifica en el interés y la importancia de realizar un análisis al estado en el que se encuentra la calidad de agua de una zona rural en un periodo determinado de tiempo; ya que la población de dicha zona, por su ubicación, no cuenta con algunos de los servicios básicos tal como lo es el agua potable, alcantarillado, disposición final de residuos sólidos y otros. Así mismo, comparar los valores obtenidos de las muestras de agua con la información recopilada en cuanto las concentraciones de arsénico determinadas en la fuente de abastecimiento.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1. Delimitación espacial

El área en estudio fue la localidad de Soque, provincia de Huaura, de la región Lima Provincias; ubicado en las coordenadas -77.226713 Longitud y -10.853248 Latitud y

a una altitud de 3200 m.s.n.m., teniendo como referencia para su distancia lo siguiente: se encuentra a 77 km aprox. del distrito de Huaura (alrededor de 2 o 3 horas de viaje); el acceso a dicha zona es compleja ya que gran parte de la ruta no se encuentra asfaltada y para poder llegar se tiene que viajar obligatoriamente en movilidad particular.

1.5.2. Delimitación temporal

El estudio se llevó a cabo desde agosto de 2017 hasta agosto del 2018.

1.6. Viabilidad del estudio

1.6.1. Viabilidad Técnica

Para la ejecución de la toma de muestra de agua se contó con los equipos y materiales necesarios; NSF INASSA S.A.C (acreditado por INACAL) se encargó de los análisis en laboratorio.

El personal técnico del Hospital Regional Huacho y el Centro de Salud Huaura brindó apoyo en cuanto a la realización del trabajo en campo (durante la ejecución de la toma de muestra de agua) y facilitó la información relacionada al tema en estudio.

1.6.2. Viabilidad Económica

Los costos en cuanto al análisis en laboratorio fueron financiados por el Hospital Regional Huacho y SBS como parte del programa - PVICA (Programa de Vigilancia de Calidad de Agua) - del MINSA.

1.6.3. Viabilidad Social

La ejecución del proyecto en estudio no generó inconvenientes a la comunidad de Soque, su calidad de vida o a su ambiente en general; lo que busca en sí el poder realizar esta investigación, es proponer mejoras en beneficio de la salud de la población.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Existen diferentes tipos de tecnologías para remover arsénico, entre las más utilizadas se encuentran: Ablandamiento con cal, Adsorción, Coagulación, Filtración, Intercambio Iónico, Oxidación y Ósmosis inversa (Amy et al., 1999).

Flores, Armienta, Micete y Valladares (2009) en su estudio demostraron que para disminuir los niveles de arsénico, la roca Caliza Soyatal (localizada en México) al entrar en contacto con el agua contaminada, sus propiedades fisicoquímicas facilitaron la adsorción de manera considerable del mismo. Aunque la roca Soyatal contiene arsénico, los ensayos de desorción efectuados mostraron niveles bajos de este fenómeno. Durante los ensayos se tomaron en cuenta variables como: cantidad de roca, el tamaño de partícula, tiempo de contacto y volumen de la muestra; para mejorar la eficiencia de remoción de arsénico en el agua. La investigación fue útil para implementar tratamientos caseros para el agua consumida por la población.

Ferrari y Graieb (2010) en su investigación mostraron como objetivo seleccionar tecnologías para remover arsénico en el agua teniendo en cuenta bajos costos, en función de su aplicabilidad para el abastecimiento de poblaciones rurales. Analizaron diversas tecnologías disponibles, se les agrupó de acuerdo al proceso unitario dominante y se clasificaron teniendo en cuenta los parámetros de “costo” y “densidad de población”, dado en forma estimativa la accesibilidad social y de la tecnología, los costos de instalación, operación y mantenimiento, y la complejidad de la operación. Los resultados mostraron que para poblaciones de hasta 20 habitantes, las tecnologías más apropiadas son los procesos simples de adsorción o aquellas combinadas con procesos de sedimentación. Para poblaciones de hasta 100 habitantes, las tecnologías más favorables que se identificaron fueron la decantación utilizando óxido férrico y la adsorción utilizando alúmina activada.

Avilés, Garrido, Nájera y De la Paz (2011) mediante el uso de clavos, fibra y hierro comercial de uso doméstico sobre un filtro de arena sílica y lecho de grava, evaluó la eficiencia de remoción de arsénico. Los compuestos de hierro formados (óxidos) y depositados sobre la arena sirven como adsorbentes, debido a su gran superficie específica, puede eliminar el arsénico como una sustancia inorgánica. A través de pruebas continuas

de agua con concentraciones de 0.11 mg/l de arsénico se evaluó la adsorción de cada material, se encontró que la mayor eficiencia de remoción de arsénico es del 95.45%, usando fibra comercial oxidada con HCl durante 624 horas, la concentración final fue menor al valor de 0.025 mg As/l. Este método de remoción de arsénico representa una alternativa amigable, debido a su fácil uso, manejo operativo y económico para las poblaciones de bajos recursos.

Cordero (2011) en su estudio muestra la síntesis de nanopartículas de óxido de hierro y su caracterización, sintetizadas por el método de AACVD, se analiza su morfología, elementos presentes (MEB, TEM), sus fases presentes (DRX), se determina por BET el área superficial, se evalúan sus propiedades magnéticas, y además se hace un diseño experimental de contacto con arsénico tri y pentavalente para observar la variación de remoción del arsénico por parte de las nanopartículas en agua tridestilada. Los análisis de arsénico se determinaron por Absorción atómica, obteniendo resultados óptimos (100% de remoción) y promisorios para la aplicación de las nanopartículas a nivel industrial.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Puente (2002) en su estudio propuso la realización de un proceso de precipitación química y luego a través de resinas de intercambio iónico lograr un proceso de adsorción, que va a permitir la obtención de efluentes que no contengan metales, también identificaron los principales factores que intervienen en los procesos ejecutados y sus ventajas, la investigación se realizó a nivel de laboratorio.

Trelles (2013) en su investigación analizó la posibilidad de utilizar especies vegetales para la remoción de arsénico en estado acuoso, identificando los principales parámetros que intervienen en su capacidad de biosorción. Las especies vegetales que se utilizaron para los análisis son las siguientes: *Linum usitatissimum*, *Hordeum sativum*, *Morinda citrifolia*, *Phaseolus vulgaris*, *Oriza sativa*, *Theobroma cacao*, *Triticum vulgaris*, *Zea mays*. Se determinaron valores de masa y concentración (para las 8 especies consideradas en la investigación) de los cuales se identificó su máxima remoción para cada uno, mediante cálculos de modelos cinéticos de sorción se describió su comportamiento, y por medio de biosorción simple de solutos, pudiendo determinar así, las constantes. Los ensayos en laboratorio se llevaron a cabo mediante pruebas de las concentraciones de arsénico en sistemas en lote (sistemas batch) entre 25 y 1,000 µg/l. Estos valores fueron seleccionados teniendo como base las concentraciones de arsénico reportadas en algunas

zonas del Perú y otros lugares que han sido identificados como un problema de contaminación, dada la situación en el país con las limitaciones técnicas y económicas, la utilización de sistemas convencionales de tratamiento de agua potable no es posible.

A pesar de que las concentraciones determinadas en la investigación no cumplen con las normas vigentes para el agua potable, los resultados demostraron que las especies vegetales pueden remover arsénico con niveles menos a 1 mg/L. La capacidad de remoción se puede potenciar mediante modificaciones físicas, químicas y genéticas.

Álvarez y Veli (2014) en su investigación buscaron remover arsénico procedente del manantial de Quero (Jauja) utilizando arcilla natural a través de un método de adsorción controlando parámetros de tiempo de contacto y pH. Realizó una caracterización físico y químico de la calidad de agua del manantial, a su vez de la arcilla natural, así como los mecanismos de adsorción a ser aplicados. Se alcanzó una remoción de arsénico del 97,5% en el agua y su concentración final fue de 0.00131 mg As/L, el cual cumple con la norma ambiental establecido por DIGESA, esto demuestra que el uso de arcilla es una alternativa viable para el agua con arsénico.

Afán y Flores (2018) en el distrito de Hualgayoc – Cajamarca tomaron 15 muestras para análisis de agua a fin de determinar los niveles de concentración de arsénico. Los resultados indicaron que la concentración promedio de Arsénico en el agua potable es de 0.0060 mg/L con cifras extremas: mínima de 0.0000 mg/L y máxima de 0.0213 mg/L, encontrándose que el 27% supera los LMP dados por la DIGESA, y la concentración promedio de Plomo es de 0.0564 mg/L. con cifras extremas: mínima de 0.0105 mg/L y máxima de 0.1587 mg/L, encontrándose que el 100% superan las concentraciones del LMP dados por la DIGESA. Estos resultados evidenciaron un grave problema de salud para la población del distrito de Hualgayoc.

Yrigoin (2019) realizó una investigación en pequeña escala (laboratorio), analizando el agua de pozo del Centro Poblado Cruz del Médano (Lambayeque); usando un método de adsorción, para la captación de Arsénico con pectina de cáscara de naranja, con ayuda de la prueba de jarras y procedimientos de decantación, pudo determinar una alta concentración de arsénico. Los ensayos se encontró como concentración inicial de 0,05mg As/L en el agua (valor que supera los 0.01 mg As/l), luego se añadió diferentes dosis de pectina de cáscara de naranja en una muestra a distintos valores de pH. Resaltando la dosis de 4gr empleada en la muestra de agua de pH 5, que disminuyó la concentración de Arsénico a niveles no detectables.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. El agua

El agua es el componente más esencial del ser humano y del ambiente en el que habitamos, influye mucho en los procesos que ocurren en el medio que nos rodea. Su intervención no solo se debe a sus características químicas y físicas, sino también tienen que ver los elementos orgánicos e inorgánicos que se localizan en el medio natural (Barrenechea, 2004).

La perspectiva de la salud humana menciona que el agua contribuye en la eliminación de sustancias producidas por el organismo humano a través de los procesos bioquímicos del aparato excretor, que producen el sudor y la orina. No obstante, por las mismas características, es capaz de trasladar toxinas en todo el organismo de manera reversible o irreversible, afectando así a diferentes órganos.

2.2.2. El ciclo hidrológico

Gran porcentaje del agua subterránea que existe en el planeta proviene del ciclo hidrológico, este es un sistema por el cual desde el océano, el agua circula a la atmósfera y luego hacia los continentes, asimismo retorna de manera subterránea o superficial. Los principales factores que intervienen en este ciclo son: la temperatura del aire, intensidad de los vientos, factores climáticos, la humedad relativa, el tipo y densidad de la cobertura vegetal y la insolación (PPR, 2012).

El agua salada representa el 97,5 % y el agua dulce solo es 2,5%, del total de agua contenida en el planeta. Del porcentaje de agua dulce, el hielo y la nieve conforma el 68,7%, el 29,9% es de aguas subterráneas, y sólo el 0,26% del agua dulce se encuentra en lagos, ríos y arroyos (Shiklomanov, 1999). Por lo tanto, es necesario gestionar los recursos hídricos, considerando que recursos subterráneos son cruciales en la gestión global de un país (PPR, 2012).

2.2.3. Arsénico en el Agua

La toxicidad del arsénico en el cuerpo humano está relacionada principalmente a la exposición del mismo en su forma inorgánica. El arsénico

inorgánico en el agua, el suelo y/o los alimentos, se presenta comúnmente como arsénico pentavalente y el segundo es arsénico trivalente (Tchounwou et al., 1999).

2.2.4. El arsénico según la OMS

El arsénico en el agua se presenta más como arsénico pentavalente, pero en condiciones anaeróbicas cabe la posibilidad de que se presente como arsénico trivalente. Usualmente, en fuentes naturales se encuentra en concentraciones inferiores a 1-2 g/l. A pesar de que, en aguas subterráneas, las concentraciones pueden ser muy altas debido a los derivados de rocas volcánicas (OMS, 2011).

Las vías de exposición más significativas son a través de los alimentos y el agua. Cuando la alimentación está basada en sopas o platos similares, que tienen alto aporte de agua, la ingesta de arsénico será mayor (OMS, 2011).

2.2.5. Estándar de Calidad Ambiental para Agua

Se debe considerar la siguiente categoría de Estándar de Calidad Ambiental para Agua de acuerdo a la presente investigación:

Categoría 1: Poblacional y recreacional (MINAM, 2017)

Subcategoría A: Son aquellas aguas que previo tratamiento, pueden ser destinadas para el consumo humano.

Identificada la categoría y la subcategoría del anexo del D.S. N°004-2017-MINAM, se observa que el valor de concentración aceptable es 0.010 mg/L para el Arsénico (As).

2.2.6. Tratamientos para la remoción de arsénico

Como tratamientos para remover arsénico en el agua encontramos los siguientes (D' Ambrosio, 2005):

2.2.6.1. Oxidación

Proceso en el cual un metal o no metal cede electrones y esto ocasiona que aumente su estado de oxidación. El método más eficiente para remover arsénico, es el compuesto como arseniato y no arsenito, debido a que normalmente el arsenito al tener pH 9.2, no presenta ninguna carga.

2.2.6.2. Precipitación / filtración

Este método incluye tecnologías de coagulación, filtración rápida, ablandamiento con cal.

2.2.6.3. Coagulación / precipitación

La desestabilización de partículas coloidales puede formar "flocs" que, en una fase posterior del tratamiento son capaces de ser retenidos. El proceso de coagulación transforma el elemento químico en un sólido que facilita su remoción a través de procesos como filtración o sedimentación.

2.2.6.4. Filtración

Al atravesar un medio (el medio puede contener: arena, carbón activado u otros), las partículas sólidas se separan y este las retiene.

2.2.6.5. Adsorción

La superficie de diversos tipos de absorbentes pueden absorber el arsénico, uno de ellos puede ser la alúmina activada. Por lo general, se regeneran con NaOH, enjuagado y después puede neutralizarse de manera típica con ácido sulfúrico.

2.2.6.6. Intercambio iónico

Proceso fisicoquímico de intercambio iónico reversible, entre la fase líquida y la fase sólida, en el que no hay ningún cambio permanente en la estructura del sólido. La solución pasa a través del lecho hasta que se satura e inicia la fuga de contaminantes. Luego la resina (en fase sólida) se reactiva con una solución de regenerante, que lleva contaminantes retenidos y se trata como un efluente líquido para disposición.

2.2.6.7. Membranas

Estos métodos de separación permiten que el agua pase y separe ciertos solutos a través de membranas semipermeables. De acuerdo al tamaño de los elementos a separar, encontramos: microfiltración, nanofiltración, ósmosis inversa y ultrafiltración.

2.3. Definiciones conceptuales

- Adsorbato: Capa que se forma por las moléculas que son adsorbidas por un elemento en su superficie.
- Adsorbente: Sólido que puede retener sobre su superficie un compuesto presente en flujos gaseosos o líquidos.
- Adsorción: Fenómeno en donde un líquido o sólido capta y detiene en su superficie líquidos, gases, cuerpos disueltos o vapores.
- Agua potable: Se nombra así al agua que puede ser consumida sin restricciones para preparar alimentos o para beber.
- Arseniato: Forma abreviada del arsénico inorgánico, se conoce también como arsénico trivalente.
- Arsenito: Forma abreviada del arsénico inorgánico, se conoce también como arsénico pentavalente.
- Fisisorción: Conocido también como adsorción física, es la forma más simple de adsorción, y es debida a débiles fuerzas atractivas, generalmente fuerzas de Van der Waals.
- Lixiviados: Es el efluente que resulta de un proceso de percolación a través de un sólido, comúnmente acarrea muchos de los compuestos presentes en el sólido que traspasa.
- Pasivos ambientales: Son aquellos residuos producidos por actividades mineras que están inactivas o son abandonadas e integran un riesgo constante para el ambiente y el ser humano.
- Protonación: Es la adición de un protón (H^+) a un átomo, molécula, o ion. La protonación es posiblemente la reacción química más fundamental y es un paso en muchos procesos catalíticos y estequiométricos.
- Resinas: Es una sustancia orgánica que se obtiene mediante reacciones de polimerización el cual se solidifica al entrar en contacto con el aire.

2.4. Formulación de la Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Los tratamientos de remoción de arsénico se relacionan directamente con la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- Hipótesis Específica 1:

Las propuestas de tratamientos de remoción de arsénico se relacionan directamente con el análisis de la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar.

- Hipótesis Específica 2:

La propuesta de tratamientos de remoción de arsénico mejorará la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo básica, porque busca obtener y recopilar datos que puedan construir una base de conocimientos que puedan ser útiles y/o aplicados a futuro.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel es de tipo exploratorio y a su descriptivo porque busca conocer el terreno de investigación, entrar en contacto con la realidad a investigarse y con las personas relacionadas al lugar.

3.1.3. Diseño

El diseño es no experimental, de corte longitudinal ya que se centra en una misma población y analizará la relación de los valores de arsénico para un promedio de 5 años.

3.1.4. Enfoque

Tiene un enfoque cuantitativo porque ya que a partir de los datos obtenidos de laboratorio y la recolección de datos correspondiente a años anteriores se buscará analizar la variación de los niveles de arsénico para poder proponer diferentes tipos de tratamientos a modo de que sirva como referencia para una solución de la problemática planteada.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La investigación se desarrollará en Soque, conformada por un aproximado de 100 habitantes.

3.2.2. Muestra

Las muestras consideradas desde el año 2013 al 2016 fueron recopiladas de la base de datos del Hospital Regional Huacho y SBS. Para la obtención de la muestra del año 2017, conjuntamente con el personal de salud ambiental del Hospital Regional Huacho y del Centro de Salud Huaura se programó realizar la inspección sanitaria al sistema de agua, para realizar el muestreo y análisis de sus parámetros inorgánicos. En la cual se determinaron 3 puntos de muestreo:

Tabla 1.

Puntos de Muestreo establecidos por el Hospital Regional Huacho

Muestra	Puntos de muestreo
C1	Captación de agua
C2	Reservorio
C3	Red de distribución

Fuente: Autoría propia.

De los cuales para fines prácticos de la investigación sólo se considerará los valores presentes en la muestra C1 (Captación de agua) correspondiente al parámetro de Arsénico (mg/L), ya que, lo que nos interesa conocer son las concentraciones desde la fuente de origen del agua; cabe mencionar que este no recibe ningún tipo de tratamiento en el sistema de agua antes de ser consumido por la población.

En relación a la muestra “C1”, el resultado que se obtenga de los análisis será comparado con los límites recomendados por la OMS y el decreto que aprueba el ECA para Agua. Dicha muestra es comparada con el ECA para agua debido a que se encuentra en su estado natural y componente básico del ecosistema.

Para la muestra se tomó en cuenta la evaluación sanitaria del sistema de agua en la cual se evidenció que no realiza ningún tipo de tratamiento al agua que es distribuida a la población para su consumo. El punto de captación del sistema de agua tiene las siguientes características:

Tabla 2.

Características del Punto de Muestreo C1 (Captación de Agua)

Muestra	Punto de muestreo	Características
C1	Captación	Coordenadas (UTM) Este: 257040.00 m E Norte: 8799322.00 m S Distancia: 1.29 km desde la localidad de Soque.

Fuente: Autoría propia.

3.3. Operacionalización de Variables e Indicadores

Variable dependiente (V1)

Propuesta de Tratamientos de Remoción de Arsénico.

Variable Independiente (V2)

Calidad de agua

Tabla 3.

Operacionalización de Variables

Variables	Dimensión conceptual	Dimensión operacional	Indicadores	Instrumento
Variable Independiente: Calidad de agua	Grupo de características y especificaciones de parámetros, sustancias inorgánicas y orgánicas que se encuentran en el agua (Campos I., 2000)	Conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos que describen las características del agua, a fin de poder contrastar y determinar la calidad de diferentes tipos de agua (Campos I., 2000).	Niveles de Arsénico (mg/L)	EPA Method 2007. Revised 4.4, May 1994.
Variable Dependiente: Propuesta de Tratamientos de Remoción de Arsénico	El tratamiento de agua está dirigido a realizar la remoción de diversos factores y se logra por medio de una mezcla apropiada de procesos de filtración, coagulación y floculación, desinfección entre otros. Cuando se quiere realizar la remoción de sustancias químicas como el arsénico se necesita apelar a métodos más complicados (Castro y Wong, 1999)	Conjunto de propuestas de tratamientos físicos, químicos y biológicos que tienen a fin de realizar la remoción de arsénico que excede en el agua.	Tecnologías de remoción de arsénico	Ventajas Desventajas

Fuente: Autoría propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas a emplear

3.4.1.1. *Para el trabajo de campo*

Respecto al trabajo de campo, se realizó bajo los lineamientos del Protocolo de Procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano (DIGESA, 2015), debido a que la muestra corresponde a la captación (fuente) de un sistema de agua. Para ello se utilizará una cadena de custodia y un formato de registro de datos o de campo, en donde se anotará información tal como la ubicación, hora y fecha del lugar y momento en el que se realiza dicha actividad.

3.4.1.2. Para el análisis en laboratorio.

El laboratorio acreditado utilizó el “EPA Method 200.7 Revised 4.4, May 1994”, el cual consiste en la determinación de elementos químicos (metales) presentes en el agua; para poder identificar el nivel de arsénico en la muestra (mg/L).

3.4.1.3. Materiales

Entre ellos tenemos: Formato de campo, cadena de custodia, tableros, etiquetas para datos de los frascos, papel toalla/secante (tissue), plumones indelebles y lapiceros, envases de polietileno de boca ancha de primer uso de 1l, guantes desechables, preservantes para las muestras, goteros, agua desionizada, bolsas ziploc, cooler y balde, refrigerantes.

3.4.1.4. Equipos

Cámara fotográfica y Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

3.4.2. Descripción de los instrumentos

3.4.2.1. Formato de campo

Son formatos en los cuales se recolectarán los datos correspondientes a los resultados de parámetros en campo (in situ); de igual manera se considerarán los datos obtenidos con el GPS, fecha y hora del muestreo.

3.4.2.2. Cadenas de Custodia

Son formatos en los cuales se brinda información correspondiente a las muestras a ser analizadas en laboratorio, referente a la ubicación, los análisis solicitados, tipo de frascos, tipo de preservantes, las condiciones en las que se tomó la muestra y otros; de tal forma que asegure que la toma de muestra se realizó sin ningún inconveniente.

3.4.2.3. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Equipo que permite a través de 24 satélites conocer la posición en la superficie terrestre de un cuerpo, con mucha exactitud.

3.5. Técnicas para el procesamiento de la información

3.5.1. Del análisis de laboratorio

El laboratorio acreditado NSF INASSA S.A.C. realizó la determinación de metales en el agua por espectrometría de emisión plasma-atómica acoplada inductivamente, el cual sirvió como herramienta estandarizada para asegurar la representatividad e invariabilidad de la muestra para la obtención del valor del arsénico presente en el agua (mg/L).

Una vez obtenido el resultado de laboratorio se comparó con resultados obtenidos años anteriores, a su vez estos se compararon con los ECA para Agua y valores de la OMS, todos los datos se consolidaron en tablas en Microsoft Excel para formar una base de datos.

3.5.2. De la recopilación de información

a) Para la calidad de agua

Se recopiló la información referente a los diversos resultados anteriores de calidad de agua con la que cuenta la base de datos del Hospital Regional Huacho y SBS, la cual sirve para comparar los resultados del análisis ejecutado y verificar la variación del nivel de arsénico de la muestra en cuestión, en el tiempo.

b) Para los Tratamientos de remoción de arsénico

Para la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico, se revisarán diversas fuentes bibliográficas, como por ejemplo: libros, revistas y artículos nacionales e internacionales de tal manera que se pueda ordenar y consolidar la información e identificar sus principales ventajas y desventajas, asimismo las propuestas a ser consideradas deberán cumplir con ciertas consideraciones de acuerdo a ciertos criterios adecuados a la realidad de la zona.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Se muestran los resultados alcanzados en la recolección de información, el trabajo de campo y las propuestas de remoción de Arsénico a ser planteadas.

4.1. De la información recopilada

Tabla 4.

Resultados de análisis de parámetros inorgánicos recopilados desde el 2013 hasta el 2017 de la localidad de Soque

Parámetro inorgánico	Periodos de análisis					Normatividad
	2013	2014	2015	2016	2017	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) – Categoría A1
	C1 = Captación de Agua					
Arsénico Total (mg As/L)	0.0152	0.012	0.0148	0.0150	0.0350	0.01

Fuente: Autoría propia.

La tabla 4 muestra los diferentes periodos en los que se realizaron los análisis para determinar el nivel de arsénico en el agua; de los cuáles se observa que las concentraciones sobrepasan los límites dispuestos por el ECA. Para el año 2013 el valor del Arsénico fue de 0.0152 mg/L, para el 2014 tuvo una concentración de 0.012 mg/L de arsénico, para el año 2015 una concentración de 0.0148 mg/L, para el año 2016 se obtuvo 0.0150 mg/L y para el año 2017 una concentración de 0.0350 mg/L.

4.1.1. Análisis y comparación de los resultados con respecto a los ECA para Agua.

El ECA establece la concentración de Arsénico en 0.01 mg/L, al compararlo con los resultados de las muestras que se realizaron y recopilaron desde el año 2013 al 2017 en la localidad de Soque, se observa lo siguiente:

Tabla 5.

Promedio de las concentraciones de arsénico correspondiente a los periodos del 2013 al 2017 de la localidad de Soque en comparación con el Estándar de Calidad Ambiental para Agua

Periodos de análisis	Concentración de Arsénico (mg/L)	X (mg As/L)	ECA para Agua (D.S. N°004-2017-MINAM) – Categoría A1 para Arsénico (As)	Y (mg As/L)
2013	0.0152			
2014	0.012			
2015	0.0148	0.0184	0.01 mg/L	-0.0084
2016	0.0150			
2017	0.0350			

Fuente: Autoría propia.

Nota:

X: Es el promedio entre las concentraciones de Arsénico desde el 2013 al 2017 (en mg/L).

Y: Es la diferencia entre **X** y el ECA para Agua (en mg/L).

En la tabla 5 se determinó el promedio de las concentraciones de arsénico teniendo en cuenta los valores obtenidos desde el año 2013 al 2017, el valor promedio corresponde a 0.0184 mg/L, el cual representa un incremento de 0.0084 mg/L con respecto al ECA.

Tabla 6.

Diferencia de las concentraciones de Arsénico correspondiente a los periodos del 2013 al 2017 de la localidad de Soque en relación al Estándar de Calidad Ambiental para Agua

Periodos de análisis	Concentración de Arsénico (mg/L)	ECA para Agua (D.S. N°004-2017-MINAM) – Categoría A1 para Arsénico (As)	Δ (mg As/L)
2013	0.0152		-0.0052
2014	0.012		-0.002
2015	0.0148	0.01 mg/L	-0.0048
2016	0.0150		-0.005
2017	0.0350		-0.025

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 6, los resultados consolidados de las concentraciones de arsénico en el punto de captación de Agua del análisis correspondiente a los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017; muestran un excedente constante con respecto a los valores del ECA para Agua.

Para el año 2013, el nivel de arsénico obtenido fue de 0.0152 mg As/L, generando una diferencia con respecto al ECA de -0.0052 mg As/L.

Para el periodo del año 2014 el nivel de arsénico obtenido fue de 0.012 mg As/L, que varía del ECA en -0.002 mg As/L.

La concentración del año 2015 fue de 0.0148 mg As/L, generando una variación de -0.0048 mg As/L respecto al ECA.

Para el año 2016 se obtuvo 0.0150 mg As/L, variando en -0.005 mg As/L con respecto al ECA.

Finalmente, para el periodo del año 2017, los resultados de arsénico fueron de -0.0350 mg As/L, el cual muestra un incremento de 0.025 mg As/L respecto al ECA.

4.2. Propuesta de tecnologías para la remoción de arsénico

Principales consideraciones:

- ¿Cómo actúan en el proceso de remoción?
- Posibles reacciones químicas.
- Porcentaje (%) y eficiencia para remover arsénico otros estudios aplicados.
- Factores que influyen en los diferentes procesos de remoción.

Con los años se han aplicado diversas tecnologías para remover arsénico en el agua por medio de procesos físicos, químicos y biológicos teniendo como base tecnologías para remover metales en general. En el Anexo 5 de la Guía de la OMS (2011), se encuentran algunos métodos de tratamientos recomendados debido a su gran eficacia, como son:

Alúmina activada, coagulación, intercambio iónico, procesos de membranas, el ablandamiento por precipitación. De los cuales se tiene como referencia la siguiente información respecto a la eficiencia de los tratamientos mencionados basado en investigaciones previas:

Tabla 7.

Valores de referencia^a establecidos teniendo en cuenta la eficacia del arsénico, según la OMS

	Coagulación	Intercambio iónico	Ablandamiento por precipitación	Alúmina activada	Membranas
Arsénico ^b	++	+++	++	+++	+++ ^c

Adaptado de la OMS, 2011.

Nota:

a + Remoción limitada

- ++ Aproximadamente 50% o más de remoción
- +++ Aproximadamente 80% o más de remoción
- b Los medios que utilizan óxido e hidróxido de hierro son muy eficaces para las formas de arsénico (arsenito y arseniato).
- c La ósmosis inversa es más eficaz para remover arseniato que arsenito. Sin embargo, el arsenito se oxida con facilidad a arseniato a través de desinfectantes (por ejemplo: el cloro).

4.2.1. Metodologías de remoción de arsénico dependiendo del tipo de proceso

4.2.1.1. Por medio de precipitación química, coagulación y filtración

Mediante un reactivo adecuado, la precipitación química de un metal en solución se define por factores como (Puente, 2002):

La **cinética del proceso**, dónde interviene la dosificación del reactivo que va a precipitar y la agitación del sistema como condiciones del proceso, para alcanzar reacciones uniformes en toda la masa; estos también dependen de la concentración y temperatura como variables.

La **composición del efluente**, interviene debido a que los metales requieren de diferentes concentraciones de reactivos de precipitación, según sus productos de solubilidad, lo que ocasiona que no se precipiten de una manera uniforme.

El **flujo de efluente a tratar**, información que es necesaria para el diseño del equipo, la otra variable a tener en cuenta es el tiempo de residencia.

Puente (2002) considera que la precipitación química es eficiente hasta que las concentraciones excedentes logren ciertos valores; para obtener estos valores se deberían de aplicar otro ciclo de precipitación, esto generaría un aumento en el tiempo de procesamiento y los costos en la ejecución de procesos.

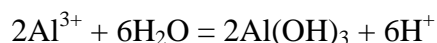
El aluminio y hierro hidrolizado para la co-precipitación, son los reactivos más comunes para este proceso. A continuación se detallan las posibles ecuaciones (Trelles, 2013):

Para el aluminio:

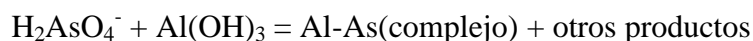
Disolución de aluminio:



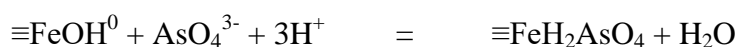
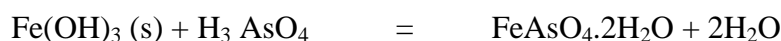
Precipitación de aluminio (ácido):



Coagulación - precipitación:



Para el “Fe” :



- Donde [$\equiv\text{FeOH}^0$] simboliza los sitios de la superficie del óxido.

El rendimiento de aluminio (Al) es ligeramente inferior al del hierro (Fe). A un pH de 7 o menor, los dos coagulantes tienen la misma eficacia de remoción, pero el hierro es más eficaz a un pH inferior a 7. Se determinó que dosis superiores a 20 mg/l de cloruro férrico (FeCl_3) ó 40 mg/l de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) pueden remover más del 90% de As^{+5} . Se puede decir que, la efectividad de remoción de arseniato es baja, utilizando menos dosis de coagulantes (Cordero, 2011).

El precipitado que se forma después de la coagulación u oxidación en el agua puede removerse por sedimentación y luego someterse a una rápida filtración con arena, filtración directa o microfiltración (Trelles, 2013).

En la eficiencia de este método influyen factores como: estado de oxidación, la facilidad de hidrolizar iones metálicos, grado de agitación, el pH, las características de sedimentación, la presencia de otros complejos formadores de iones, filtrado del precipitado y el tiempo de permanencia (Trelles, 2013).

Los hidróxidos que utilizan cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ o “Cal apagada”) o hidróxido de sodio (NaOH) son utilizados ampliamente en la precipitación química de metales pesados y el exceso de este también puede ser usado como adsorbente para eliminar iones metálicos. La cal es preferido debido a su bajo costo, su pH es fácil de controlar en los rangos de 8.0 – 10.0 (Kanamadi et al., 2006).

Este método tiene una alta eficiencia para remover concentraciones a partir de 50 ppm de arsénico; asimismo se requiere de un tratamiento secundario como la filtración para reducir a 1 ppm. A un pH superior o igual de 10.5 como pH óptimo, se obtiene una remoción de As^{+5} mayor al 90%. Cabe mencionar que en este sistema se producen grandes cantidades de lodo (Cordero, 2011).

4.2.1.2. Por adsorción

La adsorción implica el uso de medios adsorbentes granulares para remover el arsénico, independientemente del pH y la regeneración del medio. Se conoce al carbón activado (recubierto con óxido de hierro) y otros derivados como los adsorbentes granulares más eficientes. Este método tiene la capacidad de remover arsénico del agua y obtener valores inferiores a los estándares nacionales e internacionales (Trelles, 2013).

Litter, Sancha, y Ingallinella (2010) mencionan que se ha incrementado la variedad de adsorbentes nuevos, entre ellos están incluidos: alúmina activada, nanotubos de carbono, materiales nanoestructurados, residuos agrícolas naturales y modificados, arcillas y surfactante catiónico.

Generalmente, el medio utilizado en el proceso de adsorción está compuesto por óxido/hidróxido metálico en forma granular (como el óxido de hierro " Fe_2O_3 ") que tiene una porosidad particularmente alta, lo que facilita la adsorción de agua en los poros. En otras palabras, se llevan a cabo dos procesos físicos en simultáneo, tales como la adsorción y filtración. Este método necesita poca atención y los residuos en efluentes son nulos, siendo una opción a usarse en rellenos sanitarios. (Cordero, 2011).

Teniendo valores de pH bajos (entre 5 y 7), favorecen el medio en el cual trabajan los adsorbentes; mientras que a pH superiores a 9, ninguno de los medios funciona. La forma iónica de sílice, fosfato y sulfito compite con el arsénico por los sitios y reduce el punto de adsorción del medio. La combinación del efecto de interferencia de estos iones y el valor del pH puede reducir la capacidad del medio de adsorción en un 90% (Cordero, 2011).

Factores que influyen en la adsorción: Dependen de todos los factores que intervienen en las interacciones de la capacidad de adsorción, los cuales están relacionados con las propiedades del adsorbente y la solución. Entre los principales factores se tienen (Litter, Sancha, y Ingallinella, 2010):

Características fisicoquímicas del adsorbente. Como características fisicoquímicas se tienen el diámetro promedio, el área específica y el volumen de los poros (Litter, Sancha, y Ingallinella, 2010).

pH de la solución: Es el factor más esencial para la adsorción de iones en solución acuosa sobre el sólido poroso. El pH tiene bastante influencia en el equilibrio del proceso,

porque la carga que forma el adsorbato en la superficie del adsorbente y las especies de iones son función del pH (Litter, Sancha, y Ingallinella, 2010).

Temperatura: La interacción entre el soluto en la superficie y el sitio activo depende de la temperatura. Dependiendo del soluto y el tipo de adsorbente, la temperatura puede ser desfavorable, favorable o no afectar el proceso de equilibrio (Litter, Sancha, y Ingallinella, 2010).

Tiempo de contacto: La adsorción de metales generalmente se completa en un breve periodo de tiempo y alcanza en unas pocas horas su equilibrio (Mar et al., 2013).

Presencia de otros metales en la solución: La presencia de otros metales en la disolución afectan la capacidad de retención de los adsorbentes.

Adsorción de arsénico en arcillas: Es descrita mediante un proceso de fisisorción, a su vez este proceso de fisisorción se ve explicado por fuerzas electrostáticas y repulsivas entre el adsorbente y adsorbato. El efecto del pH en el proceso, generalmente se explica en términos de ionización de ambos, el adsorbato (As) y el adsorbente (arcilla). La ionización de la superficie (protonación y desprotonación) dependen del pH de la solución en contacto con el sólido. Por lo general, bajo condiciones ácidas, mejora la protonación de la superficie de la arcilla ($S-OH + H^+ \leftrightarrow S-OH^{2+}$), mientras que una solución alcalina promoverá la desprotonación ($S-OH \leftrightarrow S-O^- + H^+$). Cuando la carga en la superficie del mineral es positiva, es beneficioso para la adsorción de arseniato (Mamindy-Pajany, Hurel, Marmier y Romeo, 2008).

Alvarez y Veli (2014) en su investigación determinaron que a un pH de 5,5 y un tiempo de contacto de 12 horas, se consiguió un 97.5% de eficiencia en la remoción de arsénico en el agua de manantial, utilizando arcilla natural. Como punto a considerar, dentro del proceso de adsorción se da la formación de sedimentos, lo cual es de importancia para realizar estudios de diversos tratamientos para la disposición final de estos lodos.

Alúmina activada: Tiene una alta selectividad para remover arseniato y es eficaz para tratar agua con alto grado de sólidos disueltos totales. Este método tiene una gran tasa de remoción de arsénico a pH 8.2. Además de otros iones competidores, este también adsorbe preferentemente $H_2AsO_4^- (As^{+5})$ en lugar de $H_3AsO_3 (As^{+3})$ (Cordero, 2011).

En este sistema intervienen los siguientes factores: pH, iones (cloruros, sulfatos, hierro, fluoruros, sílice, etc.) que compiten en afinidad al medio, algunos aniones se

comportan como inhibidores estando a altas concentraciones, degradación de la capacidad del medio luego de las regeneraciones, tiempo de contacto de lecho, estado de oxidación del arsénico, ensuciamiento del medio (Benitez et al., 2012).

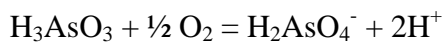
El uso de alúmina activada muestra como ventaja el estar disponible comercialmente y ser un procedimiento relativamente bien conocido, aunque muestra como principales problemas: mano de obra especializada en pequeñas instalaciones de agua, requiere de reajustes de pH constantes ya sea en el agua tratada o el agua cruda, producción de lejías muy contaminantes debido a la regeneración de la alúmina agotada con NaOH (Benitez et al., 2012).

4.2.1.3. Por reducción química (oxidación - reducción):

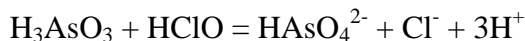
Trelles (2013) menciona que el proceso de oxidación es necesario como pre-tratamiento para transformar el arsénico trivalente en arsénico pentavalente. El arsénico trivalente puede ser oxidado con sustancias como: cloro, hipoclorito, oxígeno, ozono, permanganato, peróxido de hidrógeno y otros.

Las reacciones químicas (de oxidación) podrían darse de la siguiente manera:

Para el Oxígeno (O₂):



Para el Hipoclorito (HClO):



Para el Permanganato de Potasio (KMnO₄):



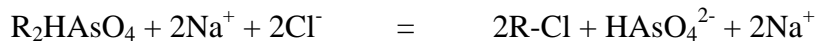
4.2.1.4. Por intercambio iónico:

Generalmente se usa para la remoción de cationes o aniones no deseados en el agua. Respecto a los cationes, normalmente se intercambian por moléculas de Hidrógeno o de Sodio. Son principalmente polímeros sintetizados que comprenden grupos de iones activos (como el SO₃H), que pueden usarse selectivamente para ciertos iones metálicos, también se pueden utilizar otros materiales naturales como la zeolita, como vía de intercambio iónico. Conforme se reduce la capacidad de la resina, es necesario regenerarla. Las ecuaciones de regeneración con sal común (agente regenerante) para el intercambio iónico de arsénico, son (Trelles, 2013):

Intercambio de arsénico:



Regeneración



Donde R simboliza la resina de intercambio iónico.

El alto costo y el requerimiento de un sistema de tratamiento previo adecuado son condiciones que dificultan el uso de este método para tratar efluentes con presencia de arsénico. El intercambio iónico cuando cuenta con una gran cantidad de iones competidores monovalentes y divalentes (ej. Na y Ca), es realmente ineficaz (Trelles, 2013).

Este método puede remover eficazmente el arsénico con un pH en el rango de 8 - 9. Los elementos tales como el fluoruro, el nitrato y los sólidos disueltos totales influyen en la duración del proceso al disputarse con el arsénico. Los factores que influyen en este proceso son los iones competitivos, el pH, el tipo y disposición de la resina, la nivel de arsénico en el agua, la alcalinidad, el agente de regenerante usado, los parámetros operativos y efectos secundarios de la calidad de agua (Cordero, 2011).

4.2.1.5. Por procesos de membranas

Calderón et al. (2012) indica que las membranas son barreras semipermeables, a través de la cual el agua pasa relativamente rápido, mientras que otras sustancias no pueden traspasarla o lo hacen a una velocidad menor. Son capaces de remover todo tipo de sólidos presentes y/o elementos químicos en el agua, mediante procesos de adsorción, electrodiálisis, filtración, ósmosis inversa y repulsión eléctrica (Trelles, 2013).

La Microfiltración y la Ultrafiltración son procesos que operan a bajas presiones tales como ~0.5 a 5 bar; en este tipo de procesos, los poros de estas membranas se encuentran abiertos de manera relativa, por lo que el proceso que realizan estas membranas es un tamizaje (Calderón et al., 2012). El tamaño de los poros en las membranas de “Nanofiltración” y “Ósmosis inversa” complican el desempeño de las partículas mayores a 5 μm de diámetro; lo ideal serían valores inferiores a 0.1 μm .

Sobre la membrana (superficie) se pueden formar depósitos orgánicos o minerales que pueden cubrir de manera irreversible los poros de la misma, esto debe impedirse

mediante la aplicación de un tratamiento previo que realice la remoción de partículas en suspensión.

Remoción de arsénico mediante coagulación – microfiltración (Calderón et al., 2012):

Remover arsénico por medio del tamizaje es casi inútil, y se debe a que el tamaño de los poros de las membranas de microfiltración es de 0,05 a 5 μm . En algunos ensayos de laboratorio con membranas comerciales de 0,4 μm se obtuvo un 40% de remoción de arseniato. No obstante, esta eficiencia de remoción no es suficiente sobre todo cuando se trata de concentraciones superiores a 50 $\mu\text{g} / \text{l}$ de arsénico.

Para que la microfiltración sea viable en el proceso para remover arsénico, se debe combinar con la coagulación. De tal manera que las partículas que se formen, alcancen un tamaño con el cual ya no puedan traspasar la membrana de microfiltración.

Nanofiltración:

Cordero (2011) explica que la Nanofiltración puede remover el arsenito y el arseniato presentes en el agua. Con esta técnica, se puede remover en aguas subterráneas hasta el 90% del arsénico disuelto. Dado que la remoción de partículas sólidas o coloidales del agua requiere de un extensivo tratamiento previo, este método no es adecuado para tratar aguas superficiales; el proceso de remoción va a depender del estado de oxidación del arsénico, las propiedades específicas de la membrana y los parámetros de operación.

Las membranas de Nanofiltración tienen un principio de separación doble en el cual trabajan a presiones intermedias (5 - 40 bar), en el que la superficie de la membrana está cargada negativamente a un pH neutro del agua (Calderón et al., 2012).

Remoción de arsénico mediante la nanofiltración (Calderón et al., 2012):

Para remover arsénico a través de membranas de nanofiltración, los parámetros de operación, el estado de oxidación del arsénico y las propiedades de los poros (membranas) son factores que influyen en el proceso. En una prueba piloto con agua de lago y con concentraciones de arsénico, se obtuvo una eficiencia de remoción de Arsenito del 12%; en comparación con las eficiencias mayores o iguales al 85% de remoción obtenida para el Arseniato. Por consiguiente, se puede decir que la nanofiltración removerá de manera eficaz el arsénico en su forma pentavalente y con pH alcalino.

Ósmosis inversa:

La Ósmosis Inversa puede rechazar contaminantes o partículas con un diámetro mínimo de 0,0001 μm , mientras que la nanofiltración puede rechazar contaminantes con un diámetro mínimo de 0,001 μm . La permeabilidad de las membranas de ósmosis inversa de alta presión es mucho menor que las membranas de nanofiltración. Para permitir que la ósmosis inversa resista altas presiones, se utilizan materiales más gruesos para remover los sólidos disueltos o las sales en el permeado (Roncancio, 2015). Tiene una eficiencia del 95% para remover arsénico disuelto, el rendimiento de este proceso se ve afectado por los siguientes factores: presencia de hierro, manganeso, turbidez y sílice (Cordero, 2011).

4.2.2. Ventajas y desventajas de las metodologías para remover arsénico

De acuerdo a las metodologías de remoción de arsénico anteriormente descritas y habiendo identificado sus principales características, podemos decir lo siguiente:

Tabla 8.

Ventajas y desventajas de las metodologías para remover arsénico según el tipo de proceso

Metodologías	Ventajas	Desventajas
Precipitación, coagulación y filtración	Con Aluminio (Al) Coagulante económico y disponible. Costo de capital y operación bajo. Operación simple. Efectivo en un rango amplio de pH. Aproximadamente 50% o más de efectividad en la remoción.	Eficiencia de remoción depende del pH. Producción de lodos tóxicos.
	Con Hierro (Fe) Coagulante económico y disponible. Más eficiente que el aluminio. Aproximadamente 50% o más de efectividad en la remoción. Agente químico fácilmente disponible.	Sedimentación y filtración necesaria. Método costoso y complicado. Requiere de un tratamiento secundario.
	Con Cal Efectividad de remoción en rangos elevados de pH. Aproximadamente 50% o más de efectividad en la remoción. Relativamente económico.	Producción considerable de lodos. Necesidad de disponer los efluentes sanitariamente.
Adsorción	Compuestos de Hierro Altas eficiencias de remoción. Puede remover otros contaminantes.	Genera residuos sólidos tóxicos. Requiere valores bajos de pH. Costos altos.
	Arcilla Agente disponible. Bajo costo. Fácil operación.	Producción de lodos. Depende considerablemente de los niveles de pH.

Metodologías	Ventajas	Desventajas
Alúmina activada	Comercialmente disponible. El adsorbente puede ser regenerado in situ para extender su vida útil. Aproximadamente 80% o más de efectividad en la remoción.	Necesita reemplazarse después de cuatro o cinco regeneraciones. Requiere de oxidación previa. Necesidad de ajustar el pH. Efluentes altamente tóxicos, necesariamente deben disponerse sanitariamente. Problemas en el manejo de químicos.
Reducción química (oxidación – reducción)	Proceso relativamente simple y rápido. Oxida otros contaminantes y mata microorganismos. Genera un mínimo de sólidos residuales. La remoción de arsénico es parcial. No depende del nivel de pH.	Requiere gran cantidad de insumos químicos. Corrosión en el sistema. Pérdida de poder oxidante con el tiempo. Los productos secundarios pueden interferir con la operación.
Intercambio iónico	El adsorbente puede ser regenerado in situ para extender su vida útil. Comercialmente disponible. Resinas específicas para cada ion. Aproximadamente 80% o más de efectividad en la remoción. Eficiencias altas de remoción. Independiente del pH.	La regeneración de resinas crea problemas de disposición de lodos. Requiere oxidación previa. Los sulfatos, nitratos y sólidos disueltos reducen la eficiencia de remoción. Altos costos de operación y mantenimiento.
Procesos de membrana	No producen residuos sólidos tóxicos. Aproximadamente 80% o más de efectividad en la remoción.	Altos costos de inversión y operación. Bajas tasas de recuperación de agua.

Adaptado de Alvarado et al., 2010.

4.2.3. Consideraciones para determinar propuestas metodológicas viables de acuerdo a la zona en estudio

La localidad de Soque cuenta con la categoría de zona rural, ya que el distrito de Ámbar como tal, dentro de los niveles de pobreza es considerado como Primer Quintil o Quintil 1, que quiere decir “más pobre o pobre extremo”; al ser una zona altoandina de la provincia de Huaura, cuenta con gran parte de su sistema vial no asfaltado o muy deteriorado (Municipalidad Provincial de Huaura, 2009), lo cual dificulta el acceso a dicho lugar.

Respecto a los servicios básicos, cuentan con electricidad las 24 horas, no registran servicios de telefonía y tampoco de internet, pero si cuentan con señal de radio y televisión; en cuanto al servicio de agua, cuentan con redes de agua, pero no cuentan con servicio de alcantarillado y tampoco de limpieza pública (Red de Salud Huaura Oyón,

2018). La población de la localidad de Soque se dedica en su totalidad a la agricultura y ganadería.

En relación a la gestión del agua en la zona, la autoridad encargada de la administración del servicio es una directiva comunal a cargo de los pobladores de la zona, brindan un servicio de 24 horas los 7 días de la semana a un aproximado de 60 viviendas (Red de Salud Huaura – Oyón, 2018). Cabe mencionar que cuenta con un sistema de agua que funciona por gravedad sin tratamiento, el cual está conformado por la captación, el reservorio y redes de distribución.

La presente investigación busca identificar tecnologías que puedan aplicarse teniendo en cuenta la realidad y el entorno de la zona de estudio, para ello se identificaron criterios específicos que necesitarían cumplir dichas metodologías para ser consideradas como propuesta de tratamiento para remover arsénico, las cuales serían las siguientes:

1. Costo de inversión
2. Costos de operación y mantenimiento
3. Mano de obra calificada para realizar la operación y mantenimiento
4. Agentes químicos y/o materiales accesibles
5. Complejidad del proceso
6. Eficiencia del proceso de remoción
7. Producción de residuos tóxicos y/o lodos

De los criterios mencionados, se determinó indicadores y a su vez se estableció una estimación referente a lo que se espera que cumplan los diferentes tipos de tratamientos de acuerdo a la realidad de la zona (teniendo en cuenta la información detallada en las metodologías para remover arsénico dependiendo del tipo de proceso).

Tabla 9.

Evaluación de los criterios de las metodologías para considerarse como propuesta

11	Criterios	Indicador	Estimación
1	Costo de inversión	Alto Medio Bajo	Bajo
2	Costo de operación y mantenimiento	Alto Medio Bajo	Bajo

11	Criterios	Indicador	Estimación
3	Mano de obra calificada para realizar la operación y mantenimiento	Si No	No
4	Agentes químicos y/o materiales accesibles comercialmente	Si No	Si
5	Complejidad del proceso	Complejo Simple	Simple
6	Eficiencia del proceso de remoción	Alto (Remoción del 80% o más) Medio (Remoción del 50% o más) Bajo (Remoción limitada)	Medio/Alto
7	Producción de residuos tóxicos y/o lodos	Si No	No

Fuente: Autoría propia.

Para la determinación de las metodologías, se debe cumplir con más de la mitad de los criterios considerados en la tabla 10.

Tabla 10.

Medición de la evaluación de los criterios de las metodologías para considerarse como propuesta

N° de Criterios	Nivel de relevancia
>4 criterios	Se considera
≤4 criterios	No se considera

Fuente: Autoría propia.

Luego de determinar los criterios y la forma de su evaluación, se puede decir lo siguiente en cuanto a las 5 metodologías por el tipo de proceso de acuerdo a la información recopilada de sus ventajas y desventajas:

Tabla 11.

Resumen de la evaluación de las metodologías de acuerdo a los criterios establecidos para considerarse como propuesta

N°	Criterios	Metodologías				
		Precipitación química, coagulación y filtración	Adsorción	Reducción química	Intercambio iónico	Procesos de membrana
1	Costo de inversión	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Alto
2	Costo de operación y mantenimiento	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto
3	Mano de obra calificada para realizar la operación y mantenimiento	No	Si	Si	Si	Si
4	Agentes químicos y/o materiales accesibles comercialmente	Si	Si	Si	Si	No
5	Complejidad del proceso	Simple	Complejo	Simple	Complejo	Complejo
6	Eficiencia del proceso de remoción	Medio	Alto	Medio	Alto	Alto
7	Producción de residuos tóxicos y/o lodos	Si	Si	Si	Si	No

Fuente: Autoría propia.

Después de haber realizado la evaluación de las metodologías para remover arsénico, se pueden consolidar de la siguiente manera (tabla 12), para identificar cuáles de ellos serán considerados como propuesta final teniendo en cuenta el número de criterios para determinar su nivel de relevancia (tabla 10):

Tabla 12.

Resultados de la evaluación de los criterios de las metodologías para considerarse como propuesta

N°	Metodologías	N° criterios	Nivel de relevancia
1	Precipitación química, coagulación y filtración	6	Se considera
2	Adsorción	2	No se considera
3	Reducción química (oxidación – reducción)	4	No se considera
4	Intercambio iónico	2	No se considera
5	Procesos de membrana	2	No se considera

Fuente: Autoría propia.

En donde podemos observar que:

- La precipitación química, coagulación y filtración cumple con 6 criterios.
- La adsorción cumple con 2 criterios.
- La reducción química (oxidación – reducción) cumple con 4 criterios.
- El intercambio iónico y los procesos de membranas sólo cumplen con 2 criterios cada uno.

De acuerdo al número de criterios obtenidos por cada metodología podemos decir que dentro del nivel de relevancia, solo 1 metodología puede ser considerado como propuesta de remover arsénico en la localidad de Soque; este sería la precipitación química, coagulación y filtración.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión

En primer lugar, de las muestras correspondientes al punto C1 (Captación de agua) desde el año 2013 al 2017, todas las concentraciones superaron el valor recomendado por la OMS y el ECA para Agua de 10 $\mu\text{g/L}$ para el arsénico. A pesar de las concentraciones de arsénico obtenidas, la captación del sistema de agua en mención sigue siendo utilizada como principal fuente de abastecimiento por parte de la población.

En un estudio realizado en algunos distritos del Perú, se tomaron muestras de agua y se midieron los niveles de arsénico (George et al., 2014) de los cuales el 86% (96/111) de las muestras, superaron el valor determinado por la OMS y el ECA. De los cuales las comunidades rurales se ven afectadas de manera desproporcionada por la contaminación por arsénico, ya que suelen utilizar sistemas descentralizados de agua potable, a menudo no regulada, y muchos de estos dependen principalmente del agua subterránea.

En Perú, el responsable de la calidad del agua potable a nivel nacional es el Ministerio de salud. Sin embargo, no se han realizado intentos sistemáticos para conducir la vigilancia o mitigación de arsénico. Estudios como estos demuestran que los altos niveles de concentración de arsénico no es un problema nuevo en nuestro país y debería ser priorizado en zonas rurales.

Teniendo en cuenta que de las 5 muestras analizadas, se obtuvo un valor promedio de 0.0184 mg/L de concentración de arsénico; en donde se pudo identificar que la concentración mínima es de 0.012 mg/L y la máxima es de 0.0350 mg/L.

Por lo tanto; considerando que, en el distrito de Hualgayoc (Cajamarca) se analizaron 15 muestras, de las cuales se encontraron que el 67% de las concentraciones estaban por debajo de 0.005mg/L y el 27% de las muestras superaron el 0.010 mg/L; también determinaron una concentración de 0.0060 mg As/L en promedio (Afán y Flores, 2018); dichos resultados comparados con los encontrados en la localidad de Soque evidencian un delicado problema para la salud y un alto riesgo por intoxicación al que se encuentra expuesta la población.

En segundo lugar, luego de la evaluación de criterios para la determinación de las propuestas de tratamiento de remoción de arsénico se precisó que la metodología más adecuada debería ser la precipitación química, coagulación y filtración, ya que dentro del nivel de relevancia cumple con 6 de los 7 criterios mencionados para ser considerado de acuerdo a la realidad de la zona (zona rural).

En México, Flores M., Montiel M. y Pardón M. (s.f.) realizaron una investigación para remover arsénico en pequeña escala (nivel domiciliario), a través del método de coagulación-floculación, en el cual se empleó CaOCl_2 para oxidar arsenito (As^{+3}) a arseniato (As^{+5}), usando arcilla como material sólido que ayuda a formar flóculos y Sulfato de Aluminio (como coagulante). En los ensayos de laboratorio se sintetizó agua con concentraciones de 1 mg As/l, que permitieron determinar los reactivos más adecuados para remover arsénico, alcanzándose niveles de 0.049 mg/l de arsénico residual, equivalente a una eficiencia de remoción del 93%.

En relación a la validación de los prototipos intradomiciliarios; las concentraciones iniciales fueron 0.1 y 0.5 mg As/l respectivamente, luego del proceso de remoción las concentraciones disminuyeron obteniéndose valores de arsénico residual de 0.035 y 0.041 mg/l, valores que cumplieron con la Norma Mexicana 127SSA1, que establece el valor de 0.05 mg/L de Arsénico, ya que cada país es independiente de establecer estos valores de acuerdo a su realidad.

Flores M., Montiel M. y Pardón M. (s.f.) recomiendan aplicar este método a nivel domiciliario en zonas rurales debido a su fácil manejo y operación, adicionalmente su bajo costo.

Aguilar (2015) en su investigación demostró que remover arsénico con procesos de Oxidación, Precipitación y Filtración, usando sales de hierro (especialmente el Cloruro Férrico ya que es un producto accesible económicamente, disponible comercialmente y, es de fácil aplicación y operación), y sucesivamente un filtrado, este último no altera la muestra en gran medida y tampoco factores como el pH, la alcalinidad y la conductividad. Esto demuestra que es una tecnología con facilidades en su instalación, operación y mantenimiento, siendo también de bajo costo.

En Puno, Escarcena (2018) a través de un método de precipitación alcalina, usando Sulfato de Aluminio (coagulante) e Hidróxido de Calcio (floculante), demostró por medio de este método (coagulación - floculación) que es posible remover arsénico en su forma pentavalente, disminuyendo así la contaminación del agua; la concentración promedio de arsénico (As^{+5}) luego del proceso de precipitación alcalina se recuperó en 78,3 % de agua municipal y se recuperó un 77,29 % de agua de pozo.

El hidróxido de calcio fue el mejor agente precipitante, ya que sirvió en la recuperación del arsénico (As^{+5}), por la cantidad de iones H^+ que tiene dentro de su molécula y cuya agitación debe mantenerse en continuo movimiento para poder tener una suspensión homogénea.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el análisis realizado al agua de la localidad de Soque desde el año 2013 al año 2017 se comprobó que las 5 muestras de agua analizadas de la localidad de Soque, exceden el valor de 0.01 mg As/L establecido en los ECA agua y los límites establecidos por la OMS. Las muestras analizadas exceden en un 0.0052 mg As/L para el año 2013, 0.002 mg As/L para el año 2014, 0.0048 mg As/L para el año 2015, 0.005 mg/L para el año 2016 y 0.0025 mg As/L para el año 2017, en comparación con el ECA agua. El valor mínimo de arsénico encontrado es de 0.012 mg As/L y el valor máximo de 0.0350 mg As/L, el nivel de arsénico en promedio es de 0.0184 mg As/L, este valor supera a lo establecido en el ECA para Agua.

Entre las tecnologías de remoción de arsénico evaluadas de acuerdo a los criterios planteados teniendo en cuenta la realidad de la zona y los resultados del análisis del agua, se estableció que la precipitación química, coagulación y filtración; es una tecnología que presenta bajo costo de instalación, operación y mantenimiento; no requiere de mano de obra especializada así que está al alcance de poblaciones con bajo grado de instrucción (específicamente zonas rurales), referente a los agentes químicos, insumos y materiales necesarios, son accesibles comercialmente. Esta tecnología ofrece una complejidad simple en la ejecución del proceso para remover arsénico, en cuanto a la eficiencia (dependiendo del agente químico a utilizar y los ensayos en laboratorio) se puede lograr un 50% de remoción o más; y, teniendo en cuenta la producción de residuos y/o lodos debería implementarse adicionalmente un tratamiento secundario para la eliminación de estos, ya que la producción de residuos se da en la mayoría de tecnologías (de las 5 metodologías consideradas, la única que no produce ningún tipo de residuo tóxico o lodo son los procesos de membranas).

Entonces podemos decir que la metodología de la precipitación química, coagulación y filtración se adecua a las necesidades de la localidad de Soque que excede los límites establecidos para el parámetro de arsénico (As) en los ECA agua.

6.2. Recomendaciones

- Realizar el análisis del agua en la localidad de Soque con mayor continuidad periódica de tal manera que se pueda ampliar la base de datos con respecto a las concentraciones de arsénico.
- Efectuar estudios a nivel de laboratorio aplicando la propuesta de remoción de arsénico para verificar la eficiencia del mismo, que permita respaldar y mejorar los resultados de la investigación.
- Tomar muestras de sangre a la población para poder determinar los niveles de arsénico en las personas, asimismo evaluar la morbilidad, mortalidad, posible discapacidad por la exposición y/o intoxicación de las personas afectadas y expuestas en la localidad de Soque.
- Recomendar a las autoridades locales y municipales la búsqueda de nuevas formas de abastecer de agua potable a la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. Fuentes bibliográficas

- Afán, K. y Flores, V. (2018). *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1854/TITULO%20-%20Afan%20Rojas%2c%20%20Karina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguilar, K. (2005). *Remoción de arsénico en aguas subterráneas de la comarca lagunera* (Tesis de maestría). Recuperado de https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/572421/DocsTec_2591.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alvarado, A., Antuna, D., Reyes, M., García, A., Vázquez, E., Gonzalez, L. y Quintos, M. (2010). *Procesos fisicoquímicos para remoción de contaminantes en el agua* (Breve revisión). Recuperado de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8213/1/PROCESOS%20...pdf>
- Alvarez, G. y Veli, L. (2014). *Remoción de arsénico mediante arcilla natural del agua procedente del Manantial de Quero–Jauja* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3719/Alvarez%20Camarena-Vela%20Jimenez.pdf?sequence=1>
- Amy, G., Edwards, M., Brandhuber, P., McNeill, L., Benjamin, M., Vagliasindi, F., Carlson, K., y Chwirka, J. (1999). *Arsenic Treatability Options and Evaluation of Residuals Management Issues*. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association. Recuperado de https://digitalcommons.usu.edu/cee_facpub/733/
- Campos, I (2000). *Saneamiento Ambiental*. Costa Rica: EUNED. Recuperado de https://books.google.com.pe/books/about/Saneamiento_Ambiental.html?id=lsgrGBGIGeMC
- Cordero, B. (2011). *Síntesis y caracterización de nanopartículas con propiedades magnéticas sintetizadas por AACVD y su aplicación en la remoción de arsénico en el agua para consumo humano* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/556>

- Dirección General de Salud Ambiental. (2015). *Resolución Directoral N°160-2015/DIGESA/SA que establece los Procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano*. Lima: Ministerio de Salud de Perú.
- Escarcena, C. (2018). *Remoción del arsénico de las aguas municipales y pozos domésticos en la ciudad de Juliaca por precipitación alcalina* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8400>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N°004-2017-MINAM que Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima: Ministerio del Ambiente de Perú.
- Roncancio, D. (2015). *Estudio sobre la aplicación de las técnicas de filtración por membrana a los sistemas de tratamientos de aguas residuales* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.ugc.edu.co/handle/11396/3462>
- Shiklomanov, I. (1997). *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the World*. Geneva, Sweden: World Meteorological Organization. Recuperado de <https://www.un.org/esa/documents/ecosoc/cn17/1997/ecn171997-9.htm>
- Trelles, J. (2013). *Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1152>
- Yrigoin, K. (2019). *Eficiencia de la pectin de cáscara de naranja para disminuir la concentración de arsénico en aguas de Mórrope* (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/35105>

6.2. Fuentes Hemerográficas

- Avilés, M., Garrido, S., Nájera, C., y Paz, J. (2011). Remoción de arsénico del agua de consumo humano con filtros de clavos de hierro, fibra comercial, grava y arena. *Revista AIDIS*, 4(1), 27 – 35. Recuperado de http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1822/OT_091.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Benitez, R., Álvarez, J., Dahbar, M., Rivero, S. y Titto E. (2012). Alternativas tecnológicas a tener en cuenta para la toma de decisiones frente a la problemática del arsénico en el agua de bebida. *Revista Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE)*. 253(1), 3-55. Recuperado de 50

https://www.researchgate.net/publication/329044239_ALTERNATIVAS_TECNOLOGICAS_A_TENER_EN_CUENTA_PARA_LA_TOMA_DE_DECISIONES_FRENTE_A_LA_PROBLEMATICA_DEL_ARSENICO_EN_EL_AGUA_DE_BEBIDA

- Calderón, C., Quezada, L., Segura, N., y Hernández, C. (2012). Remoción de arsénico mediante procesos de membrana. *Revista Tecnologías y Ciencias del Agua*, 2(1), 37-51. Recuperado de http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1327/TCA_042.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- D'Ambrosio, C. (Octubre del 2005). Evaluación y selección de tecnologías disponibles para remoción de arsénico. En M. Blarasin (Presidencia), *Taller - II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea llevado a cabo en el IV Congreso Hidrogeológico Argentino*, Río Cuarto, Argentina.
- Ferrari, R. y Graieb, O. (2010). Tratamientos de bajo costo para la remoción de arsénico en aguas de consumo humano. *Revista Ciencia*, 5(20), 173-180. Recuperado de <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v200/pdf/ciencia20-13.pdf>
- Flores, E., Armienta, A., Micete, S. y Valladares, M. (2009). Tratamiento de agua para consumo humano con alto contenido de arsénico: estudio de un caso en Zimapán Hidalgo - México. *Revista Información tecnológica*, 20(4), 85-93. <http://doi:10.1612/inf.tecnol.4098it.08>
- George, C., Sima, L., Arias, M., Mihalic, J., Cabrera, L., Danz, D. y Gilman, R. (2014). Exposición al arsénico en el agua potable: una amenaza para la salud no reconocida en Perú. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud*, 92(1), 565-572. Recuperado de <https://www.who.int/bulletin/volumes/92/8/13-128496-ab/es/#:~:text=Conclusi%C3%B3n,requiere%20mayor%20investigaci%C3%B3n%20y%20acci%C3%B3n.>
- Clido, J., Nieto, J., Solís, J., Rodríguez, J., Solís, J., & Estrada, W. (2003). Remoción de arsénico del agua mediante irradiación solar en Lima, Perú. *Informe Científico Tecnológico*, 2 (1), 184-191. Recuperado de <http://dspace.ipen.gob.pe/handle/ipen/368>
- Kanamadi, R., Ahalya, N. y Ramachandra, T. (2006). *Informe técnico N°112, Biosorción de metales pesados mediante adsorbentes de bajo costo*. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/257143030_Biosorption_of_Heavy_Metals_by_Low_cost_Adsorbents_CONTENTS

- Litter, I., Sancha, A. & Ingallinella, A. Octubre (2010) Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas. *CYTED*, 1(1), 20-28. Recuperado de http://www.limza.uta.cl/jdownloads/Libros/tecnologias_economicas_para_el_abatimiento_de_arsenico_en_aguas.pdf
- Mamindy-Pajany, Y., Hurel, C., Marmier, N., y Romeo, M. (2008) Arsenic adsorption onto hematite and goethite. *Comptes Rendus Chimie*, 12(8), 876-881. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2008.10.012>
- Proyecto de Producción Responsable (PPR), Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2012). *Manual de Agua Subterránea (Primera Edición)*. Recuperado de http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/Manual-de-agua-subterranea-Uruguay.pdf
- Puente, L. (2002). Precipitación química y adsorción en el tratamiento de efluentes conteniendo metales disueltos. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 5(9), 66-69. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v5i9.2288>
- Tchounwou, P., Wilson, B. y Ishaque, A. (1999). Important considerations in the development of public health advisories for arsenic and arsenic-containing compounds in drinking water. *Rev Environ Health*, 14(4), 211-29. DOI: [10.1515/reveh.1999.14.4.211](https://doi.org/10.1515/reveh.1999.14.4.211)

6.3. Fuentes Documentales

- Hospital Regional Huacho. (2017). *Resultados de los Análisis Físico - Químico y Microbiológico de Agua del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la localidad de Soque*.
- Municipalidad Provincial de Huaura. (2009). *Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Huaura 2009 - 2021*. Recuperado de https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/12122/PLAN_12122_Plan_de_Developmento_Concertado_2011.pdf
- Red de Salud Huaura Oyón. (2018). *Evaluación de sistemas de agua y toma de muestras de agua para consumo humano del Centro Poblado de Soque, distrito de Ámbar*.

6.4. Fuentes Electrónicas

- Barrenechea, A. (2004). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Castro, M. y Wong, M. (1999). *Remoción de arsénico a nivel domiciliario*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/arsenico/remocionarsenicosalta.htm>
- Equipo Técnico Regional de Agua y Saneamiento (ETRAS), Organización Panamericana de Salud, Organización Mundial de la Salud. (2016). *Estrategia para abordar la solución del problema de minimización de los riesgos para la salud por el consumo de agua con metales pesados y arsénico*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.paho.org/blogs/etras/wp-content/uploads/2017/03/EstratMP.pdf>
- Flores, M., Montiel, M., & OPS. *Remoción de arsénico de agua mediante coagulación-floculación a nivel domiciliario*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Martha_Flores7/publication/237747537_REMOCION_DE_ARSENICO_DE_AGUA_MEDIANTE_COAGULACION-FLOCULACION_A_NIVEL_DOMICILIARIO/links/575584ac08ae0405a5753787/REMOCION-DE-ARSENICO-DE-AGUA-MEDIANTE-COAGULACION-FLOCULACION-A-NIVEL-DOMICILIARIO.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable: incluye el primer apéndice, 1(3)*. Ginebra. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Ginebra. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Título: “Propuesta de tratamientos de remoción de Arsénico, para mejorar la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar”.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variabes	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumentos
<p>Problema General ¿En qué medida los tratamientos de remoción de arsénico se relacionan con la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar?</p> <p>Problema Específico 1: ¿En qué medida la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico se relaciona con el análisis de la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar?</p> <p>Problema Específico 2: ¿En qué medida la propuesta de tratamientos de remoción de arsénico mejorará la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar?</p>	<p>Objetivo General Proponer tratamientos de remoción de arsénico para mejorar la calidad de agua de la localidad de Soque-Ámbar.</p> <p>Objetivo Específico 1: Realizar el análisis de la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar.</p> <p>Objetivo Específico 2: Establecer una propuesta de tratamientos de remoción de arsénico para mejorar de la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar.</p>	<p>Hipótesis General Los tratamientos de remoción de arsénico se relacionan directamente con la calidad de agua de la localidad de Soque – Ámbar.</p> <p>Hipótesis específica 1: Las propuestas de tratamientos de remoción de arsénico se relacionan directamente con el análisis de la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar</p> <p>Hipótesis específica 2: La propuesta de tratamientos de remoción de arsénico mejorará la calidad del agua de la localidad de Soque – Ámbar.</p>	<p>Variable Independiente Calidad de agua de la localidad de Soque - Ámbar</p> <p>Variable Dependiente Propuesta de Tratamientos de Remoción de Arsénico</p>	<p>Grupo de características y especificaciones de parámetros, sustancias inorgánicas y orgánicas que se encuentran en el agua (Campos I., 2000)</p> <p>Está dirigido a realizar la eliminación de diversos factores y se logra por medio de una mezcla apropiada de procesos de filtración, coagulación y floculación, desinfección entre otros. Cuando se quiere realizar la remoción de sustancias químicas como el arsénico se necesita apelar a métodos más complicados (Castro M. y Wong M., 1999)</p>	<p>Conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos que describen las características del agua, a fin de poder contrastar y determinar la calidad de diferentes tipos de agua (Campos I., 2000).</p> <p>Conjunto de propuestas de tratamientos físicos, químicos y biológicos que tienen a fin de realizar la remoción de arsénico que excede en el agua.</p>	<p>Niveles de Arsénico (mg/L)</p> <p>Tecnologías de remoción de arsénico</p>	<p>EPA Method 2007. Revised 4.4, May 1994.</p> <p>Ventajas Desventajas</p>

Anexo 2. Galería de imágenes.



Figura 1. GPS GARMIN MONTANA 680.



Figura 2. Ruta desde la ciudad de Huaura hasta el C.P. Soque.

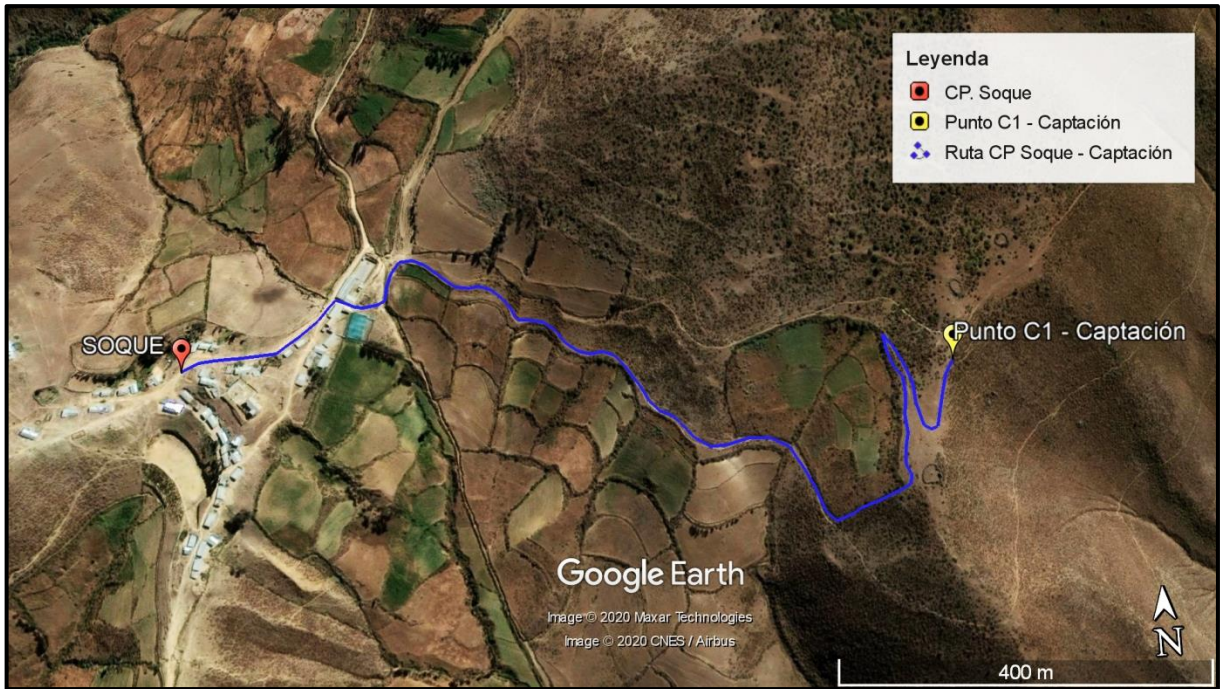


Figura 3. Recorrido desde el Centro Poblado Soque hasta el Punto C1 (Captación de agua).



Figura 4. Primera vista de la localidad Soque.



Figura 5. Segunda vista de la localidad de Soque.



Figura 6. Vista frontal del punto C1 (Captación de agua).



Figura 7. Vista superior del punto C1 (Captación de agua).