UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

Desarrollo de un sistema de remoción de arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular Comunidad: Punto 1 Sector 2 distrito Mochumí, Lambayeque.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL

DE INGENIERO QUÍMICO:

Presentado:

Bach.: Guevara Vigo, Crowel James

Asesorado:

M.Sc. Guerrero Braco, James Jenner

Lambayeque – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

Desarrollo de un sistema de remoción de arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular Comunidad: Punto 1 Sector 2 distrito Mochumí, Lambayeque.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL

DE INGENIERO QUÍMICO:

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Dr. Carlos Reinerio Arce Cruzado …….
Presidente

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulu …….
Secretario

Dr. Ivan Pedro Coronado Zuloeta ……..
Vocal

M.Sc. James Jenner Guerrero Braco ……
Asesor

CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, JAMES JENNER GUERRERO BRACO, Docente/Asesor de tesis/Revisor del trabajo de investigación, del (los) estudiante (s).

- **CROWEL JAMES, GUEVARA VIGO**

Titulada:

DESAROLLO DE UN SISTEMA DE REMOCION DE ARSENICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DEL POZO TUBULAR DE LA COMUNIDAD: PUNTO 1 SECTOR 2 DEL DISTRITO MOCHUMI, LAMBAYEQUE.

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 17% verificable en el reporte de similitud en el programa Turnitin.

El suscrito analizo dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 19 de abril del 2022.

……..

JAMES JENNER GUERRERO BRACO

ASESOR

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N°053-2022-UINV-FIQIA

Siendo las 8.00 pm del día 30 de marzo del 2022, se reunieron vía plataforma virtual, usando el enlace meet.google.com/emz-bqnm-swn los miembros de jurado evaluador de la Tesis Titulada: "**Desarrollo de un Sistema para la Remoción de Arsénico de las Aguas Subterráneas del Pozo Tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, distrito Mochumí, Lambayeque**" ;designados por Resolución N° 364-2021-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 23 de Diciembre del 2021, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- ✓ Dr. Carlos Reinerio Arce Cruzado ..... Presidente
- ✓ Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú ..... Secretario
- ✓ Dr. Iván Pedro Coronado Zulueta .... Vocal

La tesis fue asesorada por M.Sc. James Jenner Guerrero Braco, nombrado (a) por (Res. N°3562021-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 20 de Diciembre del 2021.

El acto de sustentación fue autorizado por RESOLUCION N°101-2022-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 22 de marzo del 2022.

La Tesis fue presentada y sustentada por el Bachiller: CROWEL JAMES GUEVARA VIGO y tuvo una duración de 30 minutos. Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de **18** (DIECIOCHO) en la escala vigesimal, mención Muy Bueno. Por lo que quedan APTO (s) para obtener el Título Profesional de INGENIERO QUÍMICO, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 9.45 PM. se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas

.....	.....
Dr. CARLOS REINERIO ARCE CRUZADO Presidente	Dr. CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU Secretario
.....	.....
Dr. IVAN PEDRO CORONADO ZULOETA Asesor	M.Sc. JAMES JENNER GUERRERO BRACO Vocal

DEDICATORIA

Primero a mi Dios Todopoderoso, mi abuela madre Carmen Teresa que desde el cielo es la luz de mi vida, mis padres Daniela y James que siempre me han apoyaron en mis estudios, a mi hijo James Daniel y a mi nieto James Valentino que siempre alentaron a no darme por vencido y recibirme de profesional.

A mis amigos docentes universitarios por compartir sus conocimientos conmigo.

También ellos es esta dedicatoria y agradecimiento por su total apoyo y amistad.

Guevara Vigo, Crowel James

AGRADECIMIENTO

Las muchas e infinitas gracias a Dios por siempre, haberme guiado y fortalecido en todo momento para la culminación de mi tesis, a mis padres, en especial a mi señora madre María Daniela, que son los principales promotores para el cumplimiento de mis sueños, a mis amigos profesionales de la UNPRG que de una u otra forma, también me apoyaron a seguir avanzando profesionalmente.

Gracias a mi compañero y amigo Alberto Carrasco por la paciencia y todo el apoyo brindado durante todo este tiempo, a por guiarme y apoyarme en cada paso del desarrollo de mi tesis, a los representantes de la Comunidad Punto 1 Sector 2, Mochumí por su apoyo desinteresado.

También el agradecimiento a todas las personas y amigos que de alguna forma nos apoyaron en la realización y culminación de esta tesis.

Guevara Vigo, Crowel James

RESUMEN

Este proyecto de investigación experimental se inició con la evaluación de las aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, distrito de Mochumí, Lambayeque, donde se investigó y probo el desarrollo de un sistema para la remoción de arsénico de sus aguas subterráneas, este contaminante es un metaloide altamente venenoso para todos los seres humanos, al ser ingestado en el agua que es utilizada en la elaboración de comidas, lavado de frutas y verduras. También no debemos de olvidar que este recurso hídrico natural, es fundamental y necesario para la limpieza y desinfección diaria en la lucha contra la pandemia COVID-19 que azota en la actualidad en nuestro País y en todo el mundo.

Este proyecto de investigación experimental tiene como objetivo primordial el desarrollo de un sistema para remoción de arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad ubicada en el distrito de Mochumí, Lambayeque. Este trabajo de investigación se elaboró entre los meses de junio y octubre del 2021 a nivel piloto. La evaluación y desarrollo de este sistema se llevó a cabo en un área acondicionada para este proyecto, la obtención de resultados y la certificación de estos, fue emitida por un laboratorio para análisis de aguas acreditado por INACAL.

Este contaminante venenoso se encontró en concentraciones entre 0,024 a 0,035 mg/L de As, según los análisis de aguas reportados por las autoridades de la región en el mes de mayo del 2021. La norma peruana indica que el LMP es de 0,010 mg/L de arsénico, por tal razón DIGESA clausuro este pozo.

En el desarrollo del sistema para la remoción de arsénico de aguas subterráneas, ejecutado a nivel piloto, se trató en aplicar tres operaciones sencillas y básicas: Oxidación, Adsorción física y Filtración, utilizando un material mineral en forma de roca nativa con concentraciones altas en Hierro, descubierto y recogido de tres minas o canteras ubicadas en nuestra región de Lambayeque.

Se tomo una muestra madre inicial de agua subterránea del pozo tubular, se caracterizó, luego está muestra madre inicial fue pasada por este sistema de remoción en 4 ensayos consecutivos, utilizando el material mineral de hierro caracterizado, las muestras resultantes obtenidos después de cada ensayo fueron esterilizadas, codificados y enviados a un laboratorio acreditado para sus análisis respectivos en donde los resultados certificados con respecto a la concentración de arsénico final,

fueron entregados después de quince días promedio. De los cuatro resultados obtenidos, dos resultados demostraron que la concentración de arsénico inicial que tuvo como 0,024 mg/L, disminuyo a un valor de 0,006 mg/L y otro de 0,008 mg/L, en porcentajes un tratamiento disminuyo un 75% y el otro un 67%, de tal manera que el agua tratada resultante cumplió con los LMP (0,010 mg/L), cuyos valores están por debajo del valor máximo permisible y puede considerarse como agua de calidad apta para el consumo humano.

Para el análisis estadístico en esta investigación, teniendo una muestra pequeña (4 elementos) se aplicó la prueba de SHAPIRO-WILK o Prueba de Normalidad, donde se determina la cantidad de datos extraídos de una población, si corresponden a una distribución normal o no normal, esta prueba se aplica en especial a muestras con elementos menores de 50 (n<50), y también se le considera a esta prueba una de las más potentes para el contraste de normalidad.

Palabras claves: Arsénico, Hierro, mineral.

SUMMARY

The present experimental research project was carried out with the evaluation of the groundwater of the tubular well of the Community: Point 1 Sector 2, district of Mochumí, Lambayeque, where the development of a treatment system for the removal of arsenic from these groundwaters was sought, and this contaminant is a highly toxic and poisonous metalloid for humans, when ingested or used in the preparation of their food or meals. We must also not forget that this natural water resource, water is fundamental and basic for cleaning and disinfection in the fight against the COVID-19 pandemic that is hitting everyone.

This experimental research project has as its main objective to develop a treatment system to re-move arsenic (As) from the groundwater of the tubular well of the Community located in the district of Mochumí, Lambayeque. This research project was executed between the months of June and October2021 at the pilot level. The development and evaluation were determined in a facility conditioned for this project, the obtaining of results and the certification of these results, was determined by a laboratory for water analysis accredited by INACAL, our university was closed due to the issue of COVID-19.

This poisonous contaminant was found in concentrations between 0.024 to 0.035 mg/L of As, according to analyses reported by the authorities of the region in May 2021. The Peruvian standard indicates that LMP is 0.010 mg / L, for this reason DIGESA closure this well.

The development of the treatment system for the removal of arsenic from these waters at the pilot level, tries to apply three simple and basic operations: Oxidation, Physical Adsorption and Filtration, with the use of a natural mineral material with high concentrations in Iron, mineral material found and collected from three mines located in our region of Lambayeque.

Samples were taken from the tubular well, these samples were characterized, then the water quality parameters of the mother sample at the beginning as the samples already passed through the treatment system at the end of each treatment were evaluated, there were 4 treatments performed, using the granulated iron mineral material, these Results obtained after each treatment were coded and sent to an

accredited laboratory for certification of results regarding the final arsenic concentration. The certified results were delivered to me after fifteen days. Of the four results of the treated water, two results showed that the concentration with an initial arsenic that was 0.024 mg / L, decreased to a value of 0.006 mg / L and another of 0.008 mg / L, one treatment decreased 75% of the initial arsenic and the other 67%, so that this treated water complies with LMP (0.010 mg/L) that are below the maximum value and can be considered fit for human consumption.

The statistical analysis in this research was the application of the SHAPIRO-WILK test or Normality Test that is used to contrast, if the amount of data extracted from a population corresponds to a normal or non-normal distribution, this applies especially to a number of samples less than 50 (n<50), and this test is also considered one of the most powerful for normality contrast.

Keywords: Arsenic, Iron, ore.

ÍNDICE

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTO iii
RESUMEN iv
SUMMARY vi
ÍNDICE viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I 6
I. MARCO TEÓRICO 7
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 7
1.2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN 9
1.3. FUNDAMENTO TEÓRICO 10
1.3.1. El Agua 10
1.3.1.1. Como disolvente universal 11
1.3.1.2. Las Propiedades del Agua 11
1.3.1.3. Estructura química del agua 11
1.3.1.4. Tipos de agua. 12
1.3.1.5. Características del agua 13
1.3.1.6. Características Físicas 13
1.3.1.7. Características químicas del agua 15
1.3.2. El Arsénico 17
1.3.2.1. Propiedades Físicas y Químicas 17
1.3.2.2. Arsénico en las Aguas 18
1.3.2.3. Aguas Superficiales 20
1.3.2.4. Arsénico en Aguas Subterráneas. 20
1.3.2.5. Origen Natural de Arsénico en Aguas 21
1.3.2.6. Arsénico en otros aspectos de importancia 23
1.3.2.7. Arsénico en la Salud 23
1.3.2.8. Toxicidad. 25
1.3.2.8.1. Efectos Tóxicos 25
1.3.2.8.2. Normativa para el arsénico en el agua. 26
1.3.3. Tecnologías o Procesos para su Remoción 27

CAPITULO II 34
II. MÉTODOS Y MATERIALES 35
2.1. UBICACIÓN 35
2.2. MATERIAL EXPERIMENTAL 35
2.2.1. Materiales, Instrumentos y Reactivos Químicos 35
2.2.2. Materiales de Recolección de Datos 36
2.3. METODOLOGÍA 36
2.3.1. Tipo y nivel de investigación. 36
2.3.2. Diseño de investigación. 36
2.3.3. Población y muestra. 37
2.3.3.1. Población. 37
2.3.3.2. Muestra. 37
2.3.3.3. Las variables de Operacion 37
2.3.4. Técnicas de Recolección de Datos. 37
2.3.4.1. Experimentación. 37
2.3.4.2. Elaboración de instrumentos. 37
2.3.5. Procedimientos 38
2.3.5.1. Acciones Iniciales previas. 38
2.3.6. Diseño y Construcción de la columna de adsorción 39
2.3.7. Procedimiento del Sistema de Tratamiento 41
2.3.8. Evidencias del procedimiento experimental del proyecto de investigación. 44
2.3.9. Tratamientos en estudio. 49
2.4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO. 49
2.4.1. Manejo del experimento. 49

CAPITULO III 54
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 55
3.1. Análisis Estadísticos de las Variables de Estudio. 55
3.1.1. Análisis Estadísticos Descriptivo 56
3.1.2. Prueba de hipótesis de medias 58

CAPITULO IV 65
CONCLUSIONES 66

CAPITULO V 67
RECOMENDACIONES 68

BIBLIOGRAFÍA 69
ANEXOS 71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros Organolépticos 16
Tabla 2 Elemento Químico Arsénico..... 17
Tabla 3 Minerales con Arsénico más frecuentes encontrados en la Naturaleza..... 21
Tabla 4 Concentración de Arsénico en Minerales..... 22
Tabla 5 Resultados de análisis de Fe y Fe2O3 de las Muestras de Mineral de Hierro.... 39
Table 6 Codificación de los 4 Tratamientos Realizados en el Proyecto 49
Tabla 7 Parámetros Iniciales tomados de la Muestra de Agua Subterránea 49
Tabla 8 Materiales Componentes de las Columnas de Adsorción 50
Tabla 9 Parámetros Resultantes después de cada Tratamiento Realizado 51
Tabla 10 Datos del Análisis Estadístico 55
Tabla 11. Datos Estadísticos descriptivos de variables de estudio 56
Tabla 12. Estadística descriptiva del arsénico 58
Tabla 13. Comprobación de la Estadística para el Arsénico 59
Tabla 14. Estadística descriptiva del hierro..... 59
Tabla 15. Comprobación de la Estadística para el Hierro 60
Tabla 16 Estadística descriptiva de la temperatura..... 60
Tabla 17. Comprobación de la estadística para la temperatura 61
Tabla 18. Estadística descriptiva del ph..... 61
Tabla 19. Comprobación de la estadística para el ph 61
Tabla 20. Estadística descriptiva de la conductividad 62
Tabla 21. Comprobación de la estadística para la conductividad..... 62
Tabla 22. Estadística descriptiva de los std 63
Tabla 23. Comprobación de la estadística para los std..... 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la caseta del pozo tubular del distrito de Mochumí. 10

Figura 2 Molécula del Agua 12

Figura 3 Diagrama de Pourbaix (Eh-Ph) a 25 *C y 1 bar de presión total. 19

Figura 4 El HACRE 23

Figura 5 Exposición de un Cáncer de Piel..... 24

Figura 6 Efectos por causa de Arsénico 26

Figura 7 Tecnologías Tradicionales para Remoción del Arsénico 27

Figura 8 Tecnologías Emergentes o en Desarrollo para la Remoción de Arsénico 28

Figura 9 Proceso de Adsorción para la Remoción del Arsénico 31

Figura 10 Muestras de Mineral de Hierro de Minas de la Región Lambayeque 32

Figura 11 Minerales de Hierro utilizados en Proyecto de Investigación 33

Figura 12 Diseño del Sistema de Tratamiento para Remoción de Arsénico 42

Figura 13 y 14 Interior de la Caseta, Salida de Agua del Pozo Tubular y los Envases (Bidones Plásticos) de Recojo de Muestras de Aguas. 44

Figura 15 Las 2 Columnas de Adsorción construidas con Fibra de Vidrio con una Altura de 60 cm., un Diámetro de 10 cm. y con Cabezales tipo Brida de 12 Pernos tanto para la Entrada y Salida del flujo de Agua..... 44

Figura 16 Muestra de Mineral de Hierro Molido de forma Manual 45

Figura 17 y 18 Desarrollo Practico de nuestro Sistema de Tratamiento mediante la Columna de Adsorción utilizando Material Mineral Molido 45

Figura 19 y 20 Instrumentos, Equipos y Materiales utilizados para los Análisis básicos en el Proyecto de Investigación. 47

Figura 21 Muestras Resultantes de la Pruebas Desarrolladas en el Sistema de Tratamiento selladas y codificadas listas para ser enviadas al laboratorio Acreditado en Cajamarca 48

Figura 22 Resultado del Informe de Ensayo de Muestras Analizadas de las Aguas Subterráneas con Arsénico 72

Figura 23 Resultados del Informe..... 73

Figura 24 Resultados 74

Figura 25 Resultados 75

Figura 26 Resultados 76

INTRODUCCIÓN

Investigaciones realizadas en nuestro país, determinó que casi la mitad de los recursos de agua no están cumpliendo los patrones de calidad, en el uso para consumo humano. En zonas rurales los pobladores de diferentes comunidades o caseríos vienen consumiendo un agua que no cumple los estándares de calidad, generando enfermedades y problemas relacionados a la salud.

La OMS (2010) informa de una lista de contaminantes con gran preocupación para la salud de todos los seres humanos, estos son: el plomo, mercurio, cromo, cadmio y arsénico entre los primordiales metales pesados. En el Perú la Dirección General de Salud Ambiental dictamina el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano con el DS N* 031-2010-SA.

Existen tradicionales y emergentes tecnologías o técnicas de remoción como el Tratamiento microbiológico, Floculación o Precipitación, Métodos Electroquímicos, Osmosis inversa, Intercambio Iónico, Campos Magnéticos o Eléctricos entre otros.

Generar, mejorar o desarrollar nuevas tecnologías en sus procesos o procedimientos de investigación debe situarnos con respectos a otros países en iguales condiciones con el mundo científico. La observancia científica nos permite que, de modo metódico, se descubre, examina, publica, y aprovecha todas las investigaciones necesarias para cualquier organización, donde informa toda invención científica novedosa y casi siempre están en la búsqueda de soluciones tecnológicas a problemas explícitos.

El metaloide contaminante arsénico se infiltra en este recurso hídrico a través de procesos químicos naturales interactuando con la corteza terrestre. Existe una asociación o relación entre la ingesta de agua con presencia de arsénico y algunos malestares crónicos de salud, trastornos gastrointestinales o lesiones arsenicales en la dermis. La Organización Mundial de la Salud señala un valor máximo permisible de 0.01 mg/L de arsénico en agua para consumo humano.

Este recurso hídrico es el más abundante, así como el más trascendental para la existencia de los todos los seres humanos. Desde el último trimestre del año 2016 se detectó, en zonas rurales de algunos distritos de nuestro departamento

Lambayeque, que están pasando por un muy grave problema sanitario socio medio ambiental, por la presencia de altas concentraciones de un metaloide contaminante altamente toxico en sus aguas subterráneas, las cuales son empleadas principalmente para el consumo humano diario de sus pobladores. No existe ningún tipo de solución para tan magno problema, en tanto los pobladores de estos distritos con aguas contaminadas siguen consumiendo el agua subterránea de estos pozos tubulares, generando en los pobladores, diversos problemas de salud. Tampoco tienen un apoyo inmediato de sus autoridades tanto municipales, como regionales. A este grave problema se le suma otro aún más grave y peligroso, la pandemia por el COVIC-19, el cual el consumo y necesidad del agua diariamente es elemental para la limpieza y total desinfección de la población de estos distritos contaminados.

En Mórrope, Pacora, Jayanca y ahora en Mochumí, pruebas recientes en noviembre del 2020, en marzo del 2021 se determinó la existencia de este metaloide contaminante en las aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2 perteneciente al distrito Mochumí, Lambayeque y que fue clausurado por DIGESA en el mes de mayo del 2021. La municipalidad de Mochumí, no cuenta, ni apoya con un número suficiente de cisternas de agua para atender a las 110 familias de esta Comunidad: Punto 1 Sector 2, que necesitan de esta molécula tan preciada para la vida diaria, generando que dicha comunidad siga consumiendo el agua con este venenoso contaminante, registrando casos en menores y adultos con altos niveles de este metaloide en sus organismos. En Pacora, los niveles de arsénico son bastante más elevados (tres veces de los LMP es decir 0.03 mg/L). En Morrope tienen confirmados por lo menos, siete pozos tubulares con presencia de arsénico y se encuentra en alerta roja. Consiente de esta triste y cruda realidad en este Comunidad Lambayecana y otras más, con una situación tan preocupante y alarmante se propone estudiar, evaluar y desarrollar en nuestro proyecto de investigación experimental una tecnología innovadora con un eficiente sistema para remoción de arsénico de estas aguas subterráneas contaminadas ubicadas en Mochumí, y no solo desarrollar una solución al problema del arsénico, sino también aplicarla en las aguas de dicha Comunidad y así, en nombre de la UNPRG proyectarse en la desarrollo y aplicación de este proyecto de investigación experimental y ofrecer un agua de calidad, libre y limpia de este metaloide contaminante, cumpliendo los LMP. Se tiene como una alternativa viable aplicar el

desarrollo del sistema para remoción de arsénico con tres operaciones básicas: oxidación, adsorción física y filtración, tratando de conseguir una total o parcial remoción de este contaminante, con la evaluación comparativa de la capacidad de adsorción del material mineral natural de hierro granulado utilizado como material absorbente determinando su eficiencia, este material mineral natural se puede extraer y recoger de minas que se encuentran en nuestra región Lambayeque.

Se formula la siguiente incógnita: ¿Podrá existir un resultado efectivo con el desarrollo de un sistema para remoción de arsénico utilizando como adsorbente el material mineral natural de hierro encontrado, en las aguas subterráneas del pozo tubular ubicado en la Comunidad del distrito de Mochumí? Entonces, se fundó la siguiente Hipótesis simple: El desarrollo de un sistema para la remoción de arsénico utilizando el material mineral de hierro encontrado, reducirán la alta concentración de arsénico presente en las aguas subterráneas del pozo tubular de la comunidad de Mochumi en la región Lambayeque.

Luego, se establece como objetivo principal:

El desarrollo de un sistema para la remoción de arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2 Mochumí, Lambayeque.

También se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar un sistema para la remoción de arsénico de las aguas subterráneas y poder obtener una remoción total o parcial de este contaminante.
2. Seleccionar el sistema más conveniente de acuerdo a criterios elementales, simples y prácticos en sus operaciones y económicos en los materiales de construcción (costo/beneficio).
3. Realizar los respectivos análisis físico-químicos y las caracterizaciones correspondientes a las diferentes muestras de aguas subterráneas proveniente del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, distrito de Mochumí.
4. Determinar el porcentaje de hierro y de óxido férrico, principal componente del material mineral encontrado utilizado como adsorbente, en muestras de roca nativa existente en la región Lambayeque.
5. Realizar una evaluación comparativa de los resultados, con la finalidad de obtener la selección idónea del material mineral absorbente utilizado que permita la remoción de arsénico y se puede conseguir un agua de calidad.

También se realizó análisis químicos de manera cuantitativa a 5 muestras resultantes de aguas subterráneas pasadas por el sistema de remoción y 2 muestras madre, los análisis fueron realizados en las instalaciones de los laboratorios de química de la Escuela de Ingeniería Química. Los resultados mostraron valores semejantes en las 5 muestras resultantes de 0,005 mg/L de arsénico y de 0.020 mg/L. en las muestras madre.

Para la evaluación del sistema, se realizaron 4 ensayos, los resultados de los análisis obtenidos fueron realizados y certificados, respecto al arsenico y otros metales por el Laboratorio Regional del Agua, laboratorio con acreditación del Organismo Peruano de Acreditación INACAL- DA, donde el reporte dictamino que 2 resultados de los 4 realizados dieron valores de 0,006 y 0,008 mg/L, siendo estas concentraciones valores que están por debajo de los LMP.

Con estos resultados eficientes se propone aplicar esta nueva alternativa a las ya existentes, el desarrollo de un sistema para la remoción de arsénico, con lecho fijo utilizando como adsorbente el material mineral de hierro caracterizado, el cual disminuye la concentración de este contaminante de sus aguas subterráneas, y podrán brindar una agua de calidad libre de este contaminante, lista para el consumo diario de los pobladores de esta comunidad, cumpliendo con los limites permisibles de calidad dictaminados en el DS-N* 031-2010-SA, en su Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Recurso hídrico de suma relevancia para las indistintas sociedades, sin este preciado bien no existiría vida y mucho menos progreso en el mundo. Debe existir una disponibilidad domiciliaria de este preciado recurso para cada familia, teniendo una buena calidad, derecho irrefutable de toda persona, e impidiendo quebrantar la salud de estos en cualquier zona de nuestro país, que puede ser un caserío, comunidad, distrito, provincia o departamento, sino de lo contrario se debe sumar todo esfuerzo en beneficio de los peruanos que se encuentran tan desprotegidos por el estado y sus autoridades.

Se justifica este proyecto de investigación, porque mediante la experimentación y aplicación de métodos y técnicas científicas, se demostrará la eficacia de remoción

del arsénico, pudiendo desarrollar nuevas técnicas para la producción de aguas aptas para el consumo de los seres humanos.

La presente investigación podría instar a instituciones públicas o privadas que puedan invertir recursos económicos en este nuevo sistema para la remoción de arsénico en favor de una solución a la problemática sanitaria que acontece en el norte de la región de Lambayeque.

Finalmente, se pudo realizar la investigación y aplicarla, lo que permitió responder la pregunta planteada a nuestro problema, donde quedo demostrado que con este nuevo sistema para la remoción de arsénico, utilizando un material mineral de hierro granulado, mediante la operación de adsorción física, es viable para un futuro proyecto de inversión o de negocios, de tal forma se afirma que existe una solución rápida, practica y económicamente sustentable al problema de contaminación de las aguas subterráneas en el norte de la región de Lambayeque.

El primordial motivo para realizar el presente trabajo de investigación es ayudar, colaborar, a estas 110 familias en promedio de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, distrito de Mochumí, Lambayeque, ofreciéndoles un agua potable limpia y libre de este contaminante arsénico, pues quedo demostrado que sus autoridades municipales brillan por su ausencia y que siempre todo queda en ofrecimientos.

CAPITULO I

I. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Sánchez(2019), en la tesis de pregrado ***"Evaluación de la remoción de arsénico desde medios acuosos por adsorción sobre arena recubierta con óxidos de hierro naturales"***, con el objetivo de evaluar la remoción o disminución del contaminante (arsénico) disuelto en agua, se usó arena revestida con minerales de óxido de hierro nativos para el proceso de adsorción, se instituyo una investigación explicativa, experimental, con cuatro pruebas de cinco procedimientos cada una. Se tamizó un suelo andosol extraído en el lugar Francisco Orellana, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, separando una porción de arena fina con 0.05 a 0.1 milímetros de diámetro, que contienen los minerales de óxido de hierro nativos. Se utilizo un espectrofotómetro infrarrojo para especificar el suelo andosol con presencia de estos minerales de óxido de hierro. Se estableció los elementos contenidos en la muestra con un detector EDX conectado a un microscopio electrónico de barrido SEM. Se efectuaron 40 mediciones con la dosis adsorbente, pH, concentración y tiempo de agitación, con un equipo ICP-MS. Se encontró óxidos de hierro como hematita Fe_2O_3, goethita α-$Fe^{3+}O(OH)$, estos óxidos de hierro envolvían a la arena. Se usó un DCA en las pruebas, con las variables independientes y la variable dependiente, se concluye y se confirma la existencia de hierro en niveles inferiores, estos óxidos de hierro, envuelven a las partículas de arena. Con cantidades de 1 gramo de sólido, un pH de 7.33, una concentración de 30 mg/L y un tiempo de agitación de 90 minutos, se logró obtener la máxima eficiencia en la adsorción de arsénico. La capacidad de remoción de arsénico fue baja; el arsénico disuelto en agua es removido por la arena envuelta por minerales de óxido de hierro nativos.

Zapana(2016), en la tesis de pregrado ***"Estudio de remoción de arsénico del agua del rio Sama - Tacna, empleando Hierro y Ácido Cítrico, 2014"***, con el objetivo de disminuir el contaminante llamado arsénico presente en las aguas del río Sama, Sama Inclán, Región Tacna, se utilizó el ácido cítrico y el hierro, este

con valencia (Fe^0), se fundó una investigación explicativa, experimental, con el empleo del método de MQuantTM, establecido con la añadidura de un polvo (Zn), de un ácido y de un oxidante a las especies de arsénico (+3) y arsénico (+5) para que puedan liberar hidruro de arsénico, que mezclado con bromuro de mercurio (+2) comprendido en el área de reacción de la tira de muestra generando compuestos halogenuros pardo amarillos híbridos de arsénico y mercurio. Se uso un diseño factorial 2 x 3 = 6, con las variables independientes: lana de acero (Fe^0), gotas de limón (Ac. Cítrico) y el tiempo de contacto; y las variables dependientes: [As] final residual, [As] Inicial de 0.37 mg/L. Se determina lo siguiente, para conseguir altos niveles de remoción de arsénico es preciso usar cantidades mayores a 1.6 gramos de lana de acero y 1.6 gotas de limón por litro de agua de río, con un movimiento fijo de 40 RPM por un tiempo promedio mayor de 230 minutos. Luego del movimiento de la muestra madre y de la filtración, se determina una concentración de arsénico menor 0.01 mg/L de la concentración original de arsénico de aguas las cuales contenían un 0.37 mg/L, alcanzando una remoción de arsénico en un porcentaje mayor al 96 %, señalando que esta tecnología aplicada es eficiente, simple y tiene un bajo costo en la operación.

Castro y Mollocondo (2015), en la tesis de pregrado ***"Aplicación tecnológica del óxido de hierro en lecho fijo para la reducción de arsénico de aguas superficiales provenientes del rio Tambo a nivel laboratorio"***, realizada en Arequipa, cuyo objetivo principal es de reducir o disminuir los contenidos de arsénico con presencia en las aguas superficiales resultantes del Rio Tambo usando mineral de óxido de hierro en lecho fijo, se fundó una investigación explicativa, experimental a cuatro exámenes de 45 litros de agua del río Tambo en una zona turbulenta de la captación de planta. Se uso un diseño experimental Box – Behnken con cuatro variables independientes en tres niveles cada uno (X1) pH [(-1) 6.5; (0)7.5; (+1) 8.5], (X2) Tiempo de retención (min) [(-1) 5; (0) 15; (+1) 25], (X3) Cantidades de Hipoclorito de calcio (mg/L) [(-1) 1.5; (0) 2.75; (+1) 4] y (X4) altura de lecho (cm) [(-1) 5; (0) 10; (+1) 15] y seis variables dependientes: Turbiedad (NTU), C.E. final (Us/cm), pH final, As final (mg/L), Hierro (Fe) final (mg/L) y Cloro

residual final (mg/L), considerando que el contaminante inicial en cada muestra fue de 0.25 mg/L. Se determino que, de los ensayos X1 -1; X2 0; X3 0; X4 +1 y X1 +1; X2 0; X3 +1; X4 0, se consigue una concentración de arsénico final de 0.004 mg/L, valor por debajo al límite máximo permisible de 0.01 mg/L dictaminado por el D.S. 031 – 2010 – SA con un porcentaje de adsorción de 98.4 % de arsénico. También se pudo considerar, que las variables con mayor dominio sobre la adsorción de arsénico y sus puntos óptimos fueron: (X1) pH = 6.72 y (X2) Tiempo de retención 9.26 min; las variables poco valorables y sus óptimos fueron (X3) Hipoclorito de calcio = 4 mg/L y (X4) Altura de lecho 5 cm. Quedando demostrado que el tratamiento de adsorción con un mineral óxido de hierro es más eficaz, haciendo una comparación con los resultados de una agua con tratamiento con la técnica conocida de coagulación – floculación.

Rahmani, Ghaffari, & Samadi (2011) en el artículo científico ***"Un estudio comparativo de la remoción del arsénico (+3) de una solución acuosa empleando hierro*** (Fe^0), ***en forma de nano y micro partícula"*** publicado en Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering; realizaron experimentos para determinar la influencia de las nano partículas de Fe^0, micropartículas de Fe^0, el pH de la solución y el tiempo de contacto, sobre la eficiencia en la remoción de arsénico, para una concentración de arsénico inicial de 10 mg/L. Logrando una eficiencia de remoción de 99.9% bajo las siguientes condiciones: dosis de nano partículas de Fe^0: 1 g/L, tiempo de contacto: 10 min, pH de la solución: 7; y también empleando una dosis de micro partículas de Fe^0: 10 g/L, tiempo de contacto: 120 min, pH de la solución: 7. Concluyendo que las nano partículas de hierro cero valente presentan una sobresaliente capacidad de eliminar el arsénico por su gran área superficial, por su menor tamaño y por su alta actividad inherente.

1.2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación experimental, realizo un estudio basado en la evaluación de sus aguas subterráneas del pozo tubular ubicado en la zona rural denominada Comunidad: Punto 1 sector 2, distrito de Mochumí, Lambayeque,

con las siguientes coordenadas de ubicación utilizando el sistema WGS 84 son: ESTE: 624652.37; NORTE: 9273513.92. El pozo tubular en mención pertenece a un JASS (Junta Administradora de Servicio de Saneamiento), que pertenece a la Municipalidad Distrital de Mochumí y cuenta con un promedio de 110 familias todas dependientes del agua potable de este pozo tubular. En esta caseta se tomaron todas las muestras de agua necesarias para los ensayos del trabajo de investigación. La junta directiva del JASS de la comunidad Punto 1 Sector 2, siempre colaboro en todos los requerimientos que se pidió. En la figura N*1 se muestra la caseta donde se encuentra la base del pozo tubular y todos los accesorios para la producción y distribución de las aguas subterráneas a dicha comunidad.

Figura N*1

Ubicación de la caseta del pozo tubular del distrito de Mochumí.

1.3. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.3.1. El Agua

Recurso hídrico cuantioso y sustancial para todos nosotros los seres humanos. Recurso natural trascendental de la tierra y de todos sus habitantes. Componente mayoritario (80%) en nuestro organismo y de los seres vivos. Actúa en gran parte de los procesos metabólicos de estos. La fotosíntesis de

los vegetales son de mucha relevancia y es el medio de vida de otro importante grupo de organismos.

En nuestro planeta, este elemento ocupa las tres cuartas partes del volumen integral del planeta y un volumen casi del 97% del total es agua salina, el resto es un mínimo de 3% es agua dulce, siendo más de las dos terceras partes agua solidificada en los polos extremos tanto polo sur como polo norte, glaciares y las grandes cordilleras o nevados.

1.3.1.1. Como disolvente universal

De gran dominio en los procesos bioquímicos que suceden en el medio ambiente. Sus propiedades fisicoquímicas se fundamentan en su molécula bipolar y a sus componentes tanto orgánicos como inorgánicos que se encuentran presentes en esta molécula.

Es el disolvente natural universal por naturaleza, tiene la capacidad de disolver o esparcir, gran número de sustancias con las que se mezcla o relaciona, disuelve gran mayoría de compuestos iónicos y con otras sustancias pueden establecer enlaces de hidrogeno con este recurso.

1.3.1.2. Las Propiedades del Agua

Capacidad para regular la Temperatura

Se le considera una masa molecular de 18 gr/mol

Flotabilidad en estado solido

Tiene un punto de fusión/ebullición de 0 y 100 *C

Posee capilaridad y tensión superficial

Tiene una densidad promedio 1 gr/cm3

1.3.1.3. Estructura química del agua

El agua tiene enlaces de hidrogeno intermoleculares, esto la hace desigual de otros compuestos, todo átomo de oxígeno genera dos enlaces de hidrogeno, esta molécula conformada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, con enlaces covalentes forman un ángulo de 104'5°.

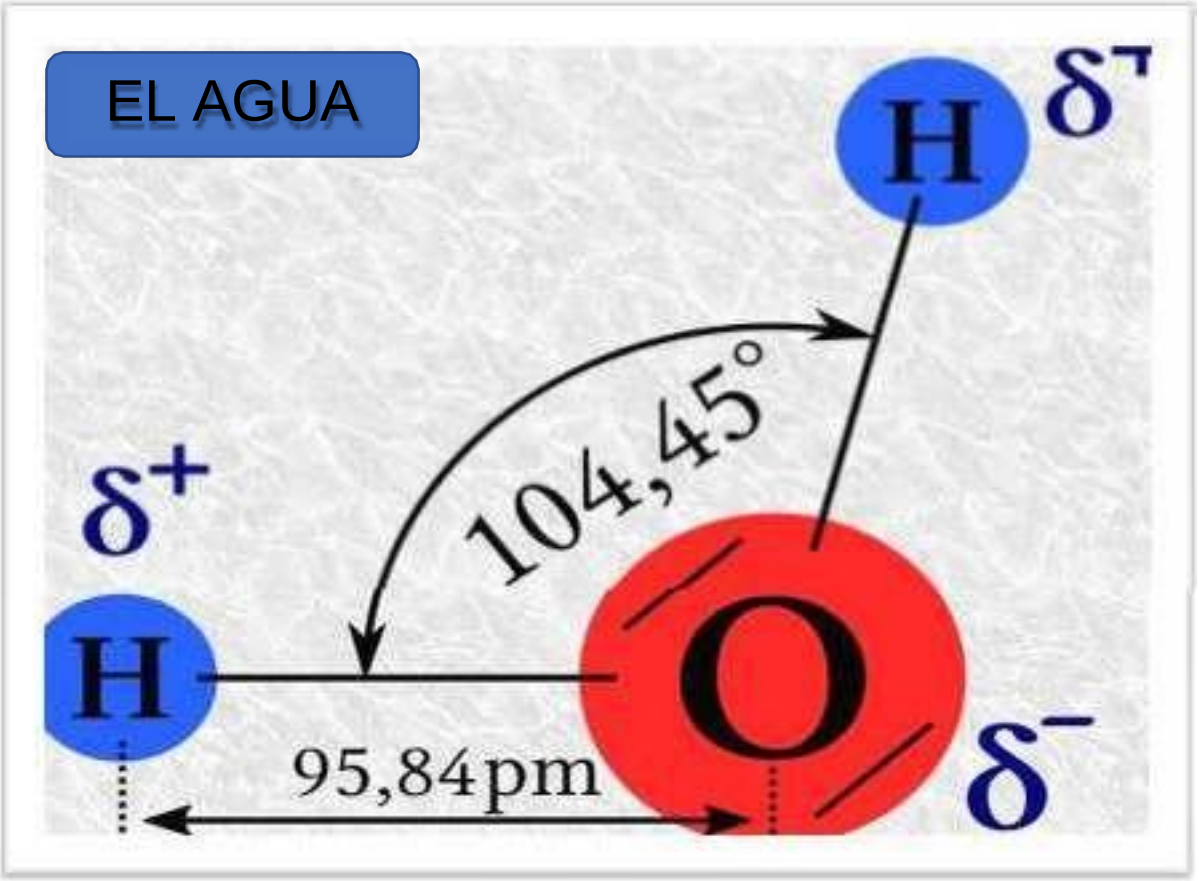
Las moléculas del agua se pueden entrelazar en una extensa red tridimensionalmente donde cada átomo de oxígeno forma casi un tetraedro

con cuatro átomos de hidrogeno, dos unidos con enlace covalente y dos con enlace de hidrogeno, determinando un dipolo eléctrico.

Tal como lo indica la figura N*2.

Figura N*2

Molécula del Agua



Nota. Molécula del Agua: Cargas eléctricas parciales en zonas de la molécula. Curso de Biología. Alejandro Portón A. www.bionova.org.es.

1.3.1.4. Tipos de agua.

Agua subterránea: se produce en enormes cantidades gracias a la agua de lluvia infiltrada en el subsuelo (acuíferos, nodos), estas aguas de lluvias muchas veces arrastran impurezas, materiales orgánicas e inorgánicas, residuos de origen animal y vegetal, microorganismos, pesticidas, abonos; el recorrido realizado por estas nuevas corrientes subterráneas, van mejorando significativamente su calidad, retienen los residuos por su permeabilidad natural, otros materiales orgánicas se degradan o desintegran por la oxidación de estas, las sales disueltas, no se remueven solo se incrementan por la disolución de minerales.

Aguas superficiales: están constituidos por inmensos torrentes, muchos espejos de agua, lagunas, afluentes y r e presas. Las aguas subterráneas que emergen son las que constituyen los manantiales, lagos y las precipitaciones (lluvias) que caen, chorreando sobre toda la inmensa superficie de estos cuerpos que logran crear muchas veces enormes estanques o reservorios de agua.

Los ríos y efluentes se caracterizan por tener ligeros cambios de la calidad en sus aguas. En estación de lluvias existe una variación de casi todos los parámetros de calidad, debido al r e l a v e , lavado y arrastre de los suelos y otros materiales. Tanto en lagos, lagunas y represas en los cambios estacionales, la variación de la calidad del agua es paulatino y no tan radical. En extensas superficies de agua con condiciones de nutrientes y temperatura propicia, produce la eutroficación, presentando un elevado crecimiento e incremento de algas.

1.3.1.5. Características del agua

Siendo un compuesto inerte, posee características físicas, el agua no tiene olor, salvo cuando contiene alguna sustancia disuelta, no posee un sabor determinado y en su estado puro tiene una transparencia completa ósea no tiene color. En algunos casos el agua y sus propiedades pueden ser alteradas dejando de ser apta para el consumo humano.

1.3.1.6. Características Físicas

Esta característica puede ser percibida por los sentidos de los seres humanos y son las siguientes:

La Turbidez

Medida donde el agua pierde su total transparencia. Cuanto más sólidos presenten en su contenido, más alto será el grado de turbidez, esta se

genera por presencia de material mineral y también por seres vivos microscópicos. Medida de calidad, se determina a través de un equipo llamado turbidímetro, expresada en unidades nefelométricas.

Color

Color del agua es cuando se ha eliminado completamente la turbidez, el color verdadero se debe a sustancias coloreadas contenidas en ella, en aguas naturales s uperficiales suele existir una correlación directa entre color y pH.

El color en aguas profundas superficiales durante la temporada de estratificación térmica es más acentuado en comparación al agua superficial, se mide en unidades de mg/L de Pt/Co.

Temperatura

De mucha relevancia, se sabe que altera la velocidad de las reacciones químicas y la solubilidad de los gases, aumenta los rangos tanto en sabores, como en olores, y es determinante en el progreso de los seres vivos presentes. Se lee con un instrumento de medida llamado termómetro en grados *C, *F, *K, *R.

Olor

El agua no tiene olor, son inodoras, toda impureza disuelta origina olores desagradables, que son dificultosos al probar. Toda agua potable no debe poseer algún tipo de olor. En aguas superficiales el olor puede ser producido por el fitoplancton, seres vivos microscópicos que emanan pequeños residuos de aceites volátiles.

Sabor

Característica que nos permite entender que el agua no tiene sabor alguno, es insípida, con estrecha relación con el olor.

Los diversos materiales minerales disueltos en agua son la causa de indistintos sabores. Los cloruros y sulfatos determinan que el agua pueda poseer un sabor salado o salobre, el sabor del agua es medida por la conformidad de los humanos.

Conductividad

Este compuesto es ligeramente conductor de electricidad, la variación esta función del aumento o disminución, según la cantidad de iones que contenga, dependen de la movilidad de iones disueltos y su valencia, por tal razón la conductividad es utilizado en análisis de aguas para obtener una relación con el contenido de sólidos totales disueltos (STD). Se lee en unidades de medida µS/cm.

1.3.1.7. Características químicas del agua

Alcalinidad

Alcalinidad o basicidad es la medida para poder neutralizar todo ácido, los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos o también sales de ácidos débiles o bases débiles o fuertes presentes son los que determinan esta característica. Cuando el pH del es mayor a 8.3 existe alcalinidad, pero cuando es menor a 4.3 no hay alcalinidad.

PH del agua

El rango del pH va desde 1 a 14, el agua debe tener un pH de 7, quiere decir que no es ni acido ni básico. El pH mide los iones hidrógeno (H^+) o los iones hidroxilo (OH^-), también la acidez (1) o la alcalinidad (14). Con una cinta de papel tornasol o un instrumento llamado pH metro, se mide el pH de cualquier sustancia liquida.

Dureza

Determina concentraciones de bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, sales calcio y/o magnesio en su contenido. Se dice agua dura porque contiene iones que reacciona y precipitan con el jabón.

Esta característica puede ser temporal o permanente. La dureza permisible es de 500 mg CaCO3/Litro.

Hierro

Este mineral no puede estar presente en limites no permisibles, porque genera un sabor y olor extraño, resultando aguas no aptas para usos domésticos y su respectivo consumo. La oxidación de hierro en el agua crea manchas muy dificultosas para su remoción.

Cloro residual

Después de una buena cloración de agua, proceso de suma relevancia en la producción destinada para consumo humano, eliminación parcial o total de los microrganismos patógenos contenidos en esta. Se dice cloro residual a los remanentes o residuos de cloro después que fue añadido al sistema para su desinfección.

El cloro es una sustancia química mundialmente usada en desinfección de aguas. Esta sustancia química cloro se puede aplicar como gas o como solución diluida en agua llamada hipoclorito de sodio o lejía.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES EN PARAMETROS ORGANOLEPTICOS

Tabla N*1

Parámetros Organolépticos

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	LMP
1. Olor	----------	Aceptable
2. Sabor	----------	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt / Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. PH	Valor de pH	6.5 a 8.5
6. Conductividad	mho / cm	1500
7. Sólidos totales disueltos	mg / L	1000
8. Cloruros	mg Cl / L	250
9. Sulfatos	mg SO4 / L	250
10. Dureza total	mg CaCO3 / L	500
11. Amoniaco	mg N / L	1.5
12. Hierro	mg Fe / L	0.3
13. Manganeso	mg Mn / L	0.4
14. Aluminio	mg Al / L	0.2
15. Arsénico	mg Ar / L	0.01
16. Cobre	mg Cu / L	0.2
17. Zinc	mg Zn / L	3.0
18. Sodio	mg Na / L	200
19. Flúor	mg F / I	0.050
20. Cloro	mg / L	5
21. Nitratos	mg NO3 / L	0.020

Nota: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano con el DS-N* 031-2010-SA por DIGESA.

1.3.2. El Arsénico

Elemento químico (33) que pertenece al grupo de los metaloides, con propiedades químicas y físicas ambiguas (metales y de no metales), muy raramente encontrado en estado sólido en la naturaleza.

1.3.2.1. Propiedades Físicas y Químicas

Tabla N*2

Elemento Químico: Arsénico

Propiedades	Especificación
Nombre químico	**As**
Número atómico	**33**
Masa atómica	**74,92 g/mol**
Densidad	**5,72 g/mol**
Punto de ebullición	**614 ºC**
Punto de fusión	**817 ºC**
Solubilidad en agua	**Insoluble**
Estructura electrónica	**[Ar] 3d10 4s2 4p3**
Grupo VA	**N, P, As, Sb, Bi** .
Estados de oxidación	**0, -3, +3, +5**

Nota: Elaboración propia

Elemento químico muy común en la corteza terrestre, aparece de dos formas: en procesos naturales como la meteorización, actividad biológica, emanaciones volcánicas y en procesos antropogénicos como la actividad minera, uso de combustibles fósiles, agricultura, fertilizantes, pesticidas, etc.

Este metaloide es extremadamente venenoso para los seres humanos, en contenidos elevados, la exposición genera cuadros severos agudos en la salud, en exposiciones por extensos tiempos con pequeñas concentraciones, genera efectos de salud crónica, por tal razón, la presencia en aguas superficiales, como en aguas subterráneas, de este contaminante es un peligro latente al ser utilizadas en el consumo de los seres humanos, siendo una amenaza frecuente para la salud de estos.

Recientemente el arsénico, como contaminante presente en aguas de consumo, no tenía análisis específicos de control, por lo que no existe una información actualizada sobre su existencia y distribución. Pero los informes y datos de los últimos tiempos ya son determinantes. Entonces ya el tema de la contaminación por arsénico es una preocupación mundial.

Muchos estudios e investigaciones científicas nos informan que concentraciones altas de arsénico existen en muchas aguas naturales, pero es más específico en aguas subterráneas, donde se localizan las más altas concentraciones de este elemento químico contaminante. Un gran porcentaje de acuíferos con concentraciones altas de arsénico tienen un inicio fusionado a procesos geoquímicos nativos, en el caso de la contaminación antropogénica, esta genera un efecto de carácter más específico, porque los elevados contenidos de arsénico de origen nativo afectan a extensos espacios determinados. Los cuantiosos temas de contaminación natural de aguas subterráneas surgen en todo el planeta y tienen una relación con muchas zonas geológicos como: formaciones volcánicas, zonas con actividades mineras, hidrotermales, depresiones aluviales terciarias y cuaternarias, etc.

1.3.2.2. Arsénico en las Aguas

Este elemento químico se presenta en aguas naturales como una especie disuelta, en sus estados de oxidación siguiente:

As (+3) y **As (+5)** , y algunos **As (0), As (-1)** y **As (-2).**

El **As (+5)** como $\mathbf{H_3AsO_4}$ y sus 3 productos disociados como $\mathbf{H_2AsO_4^-}$, $\mathbf{HAsO_4^{2-}}$ y $\mathbf{AsO_4^{3-}}$.

El **As (+3)** como **H_3AsO_3** y sus 4 productos de disociación como **$H_4AsO_3^+$, $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$** y **AsO_3^{3-}**.

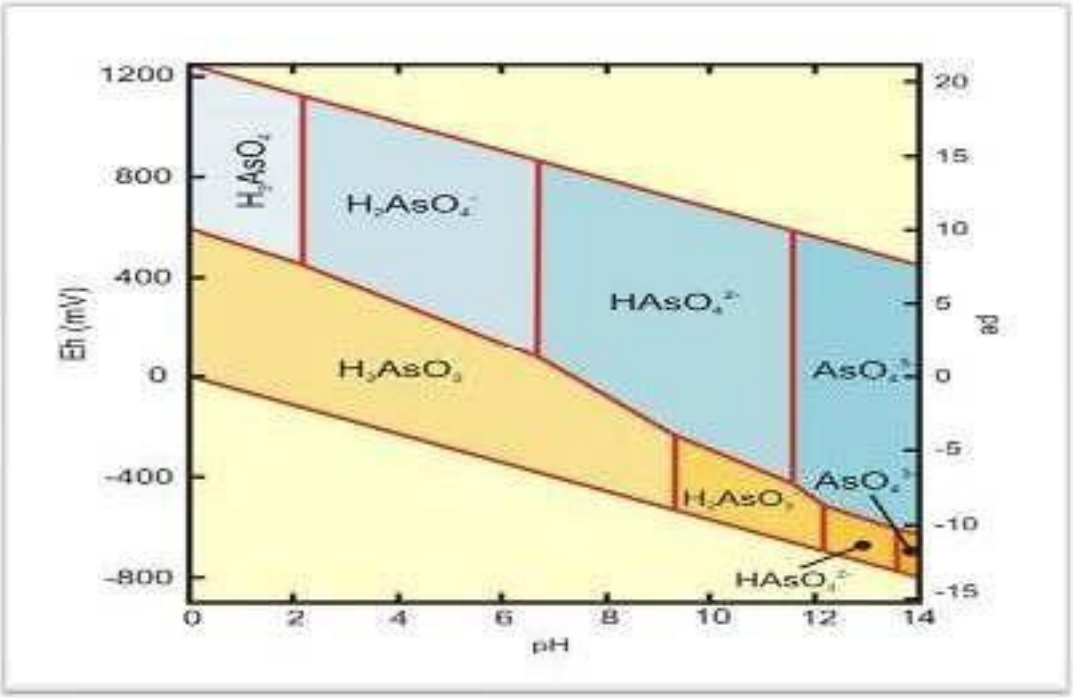
El **As (+3)** es el más tóxico.

Los estados de oxidación, y su movimiento, se fundamentan en el potencial redox (Eh,pH). Tal como se muestra en la figura N*3. Este contaminante es muy específico entre los metales pesados productores de oxianiones por la sensibilidad en moverse en índices con pH ajustado a aguas subterráneas (entre **6.5** y **8.5**). El estado **As (+5)** predomina sobre el **As (+3)** en toda oxidación, localizamos la especie **$H_2AsO_4^-$** en valores de pH menores a **6.9**, en tanto un pH en valores mayores la especie predominante es

$HAsO_4^{2-}$, en ambientes de total acidez, la especie dominante será **$H_3AsO_4^0$,** en tanto en ambientes de total alcalinidad la especie dominante será **AsO_4^{3-}.** En ambientes reductores de pH menores a **9.2**, la especie neutra es la predominante.

Figura N*3

*Diagrama de Pourbaix (Eh-Ph) a 25 *C y 1 bar de presión total.*



Nota: Diagrama de Pourbaix (Eh-Ph) de especies acuosas de arsenico en el sistema As-O2-H2O a 25*C Y 1 bar de presión total. Brookin,1988; Yan et al., 2000. Temas ambientales 2007

1.3.2.3. Aguas Superficiales

En los Ríos

La concentración de arsénico en el fondo de los ríos es relativamente menor a 0,08 mg/L, pero pueden variar debido a la composición de sobrecarga que puede ser superficial o subterránea, desagüe de las zonas mineralizadas, lluvias, derramados urbanos o industriales.

En los Lagos

La concentración en estas aguas no difiere mucho, comparando a los de los ríos, se tiene en cuenta la actividad del agua. El tráfico especifico conlleva que muchos procesos geoquímicos se generen fácilmente.

En el Mar

La concentración en agua de mar abierto, casi siempre sus índices tienen muy pocas variaciones, el estándar es 0,015 mg/L de arsénico.

1.3.2.4. Arsénico en Aguas Subterráneas.

Su concentración en estas aguas, por lo general, son menores a 0,01 mg/L. Otra información determina que valores de aguas en condiciones naturales tien en un rango muy amplio de entre < 0,005 y 50 mg/L. Estas altas concentraciones no están determinadas por condiciones o espacios, solo aparecen en acuíferos por situaciones unidas a otros procesos antropogénicos tales como la actividad industrial, asentamientos humanos, actividades campestres, entre otras. Pero se considera que la mayoría de los acuíferos con concentraciones altas de este contaminante tienen un inicio unido a procesos geoquímicos naturales, también se han reconocido que grandes superficies de estas, muestran concentraciones de arsénico con valores superiores a 0,5 mg/L.

1.3.2.5. Origen Natural de Arsénico en Aguas

La presencia de concentraciones altas de arsénico está registrada por constituyentes, de origen en la geosfera y la atmosfera, con procesos que movilizaron este metaloide por interacción de la fase solida con la liquida y considerando el transporte de esta especie disuelta en agua.

Este metaloide tiene presencia como parte importante en más de 200 materiales minerales. Tal como se muestra en la siguiente tabla N*3.

Tabla N*3

Mineralescon Arsénicomásfrecuentesencontradosenla Naturaleza

Mineral	Composición	Ocurrencia
Arsénico nativo	As	Venas hidrotermales
Niccolita	NiAs	Filones y noritas
Rejalgar	AsS	Filones, muchas veces asociado con oropimente, arcillas y carbonatos en "hot springs"
Oropimente	As_2S_3	Venas hidrotermales, "hot springs". También como producto de sublimation de emanaciones volcánicas
Cobaltita	CoAsS	Depósitos de alta temperatura, rocas metamórficas
Arsenopirita	FeAsS	Es el mineral de As más abundante. Muy frecuente en filones
Tennantita	$(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$	Venas hidrotermales
Enargita	Cu_3AsS_4	Venas hidrotermales
Arsenolita	As_2O_3	Mineral secundario formado por oxidación de arsenopirita, arsénico nativo y otros minerales de arsénico
Claudetita	As_2O_3	Mineral secundario formado por oxidación de realgar, arsenopirita, y otros minerales de arsénico
Escorodita	$FeAsO_4.2H_2O$	Mineral secundario
Annabergita	$(Ni,Co)_3(AsO_4)_2{\cdot}8H_2O$	Mineral secundario
Hoernesita	$Mg_3(AsO_4)_2.8H_2O$	Mineral secundario, en escorias
Hematolita	$(Mn,Mg)_4Al(AsO_4)(OH)_8$	Mineral en fisuras de rocas metamórficas
Conicalcita	$CaCu(AsO_4)(OH)$	Mineral secundario
Farmacosiderita	$Fe_3(AsO_4)_2(OH)_3.5H_2O$	Producto de oxidación de arsenopirita y otros minerales de arsénico

Nota: Minerales donde el Arsénico aparece como un constituyente principal. Ref. Pichler al 1999

El arsénico se encuentra en concentraciones variables formando fracciones en una gran variedad de minerales de óxido y oxihidróxido de hierro. La adsorción del arsénico (+5) en minerales de hierro, es el mecanismo más seguro de retención de arsénico en la fase sólida. El arsénico puede sustituir a Si^{4+}, Al^{3+}, Fe^{3+} and Ti^{4+} en estructuras de algunos minerales. Tal como se muestra en la tabla N*4.

Tabla N*4

Concentración de arsénico en minerales de hierro

Mineral	**Concentración de As (ppm)**
Sulfuros:	
Pirita	100–77.000
Pirrotina	5–100
Galena	5–10.000
Esfalerita	5–17.000
Calcopirita	10–5000
Óxidos:	
Hematites	Hasta 160
Óxidos de Fe	Hasta 2000
Oxihidróxido de Fe(III)	Hasta 76.000
Magnetita	2,7–41
Silicatos:	
Cuarzo	0,4–1,3
Feldespato	<0,1–2,1
Anfíbol	1,1–2,3
Olivino	0,08–0,17
Piroxeno	0,05–0,8
Carbonatos:	
Calcita	1–8
Dolomita	<3
Siderita	<3
Sulfatos:	
Yeso/Anhidrita	<1–6
Barita	<1–12
Jarosita	34–1000
Fosfatos:	
Apatito	<1–1000

Nota: Concentración de Arsénico en ppm de algunos minerales encontrados en la corteza terrestre. Referencias Baur y Onishi,1969; Boyle y Janassonl,1973, Temas Ambientales 2007.

1.3.2.6. Arsénico en otros aspectos de importancia

Metaloide considerablemente venenoso y perjudicial para la humanidad. En exposiciones extendidas por mucho tiempo son extremamente perjudiciales o dañinas para la salud de los seres humanos: tenemos tipos de cáncer, patologías cardiovasculares, diabetes, anemia, y cambios perjudiciales para los sistemas de reproducción, entre otros.

Los dos procesos geoquímicos que lo movilizan en el agua son: las reacciones de adsorción y desorción o las reacciones de coprecipitación y codisolución.

El arsenito (+3) y el arseniato (+5) son adsorbidos en la superficie de los minerales de óxido de hierro, manganeso y aluminio. También en arcillas y materiales orgánicos.

La desorción de este contaminante adsorbido en fase sólida está establecida por las variaciones de pH, las reacciones redox, presencia de iones competitivos y los cambios en la estructura cristalina.

1.3.2.7. Arsénico en la Salud

Puede interaccionar con el grupo sulfhidrilo de las proteínas y enzimas, generando un alto grado de toxicidad, un aumento de oxígeno ocasionando un perjuicio celular; los efectos de su toxicidad, están en función de la cantidad a la cual una persona puede estar expuesta en un tiempo determinado.

HACRE, hidro arsenicismo crónico regional endémico, enfermedad producida por la incesante ingesta de agua con elevada concentración de este elemento, provoca variaciones en la dermis de las personas, luego puede generar diferentes formas de cáncer. Un envenenamiento agudo produce síntomas como vómitos, dolores abdominales y diarreas con sangre. Tal como se muestra en la figura N*4

Figura N*4

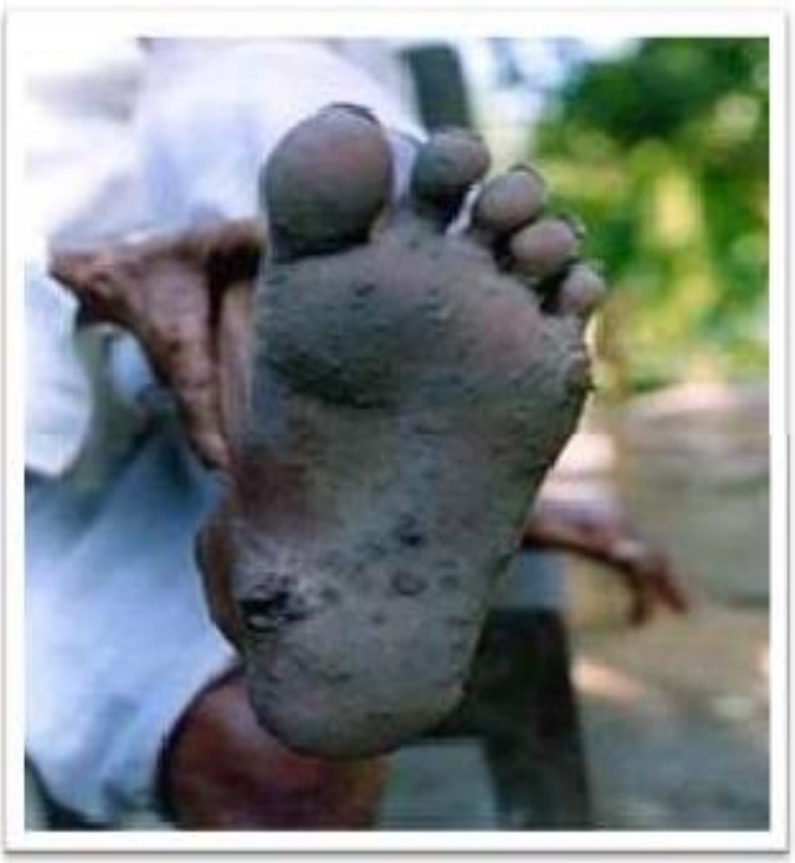
El HACRE

Nota: Efectos del Arsénico en la Salud: El hidro arsenicismo crónico regional endémico. Noticias / Arsénico: El Veneno Invisible. www.noticias.perfil.com

El Cáncer**,** enfermedad producida por una exposición diaria a bajos niveles de arsénico, en un valor menor a 0.05 mg/L, también considerado como un carcinógeno de clase A, vinculada con cáncer de piel, riñón y vejiga, complicaciones al sistema cardiovascular, investigaciones indican una estrecha relación entre esta enfermedad y la ingesta de agua con niveles altos de arsénico. Tal como se muestra en la fig. N*5.

Figura N*5

Exposición de un Cáncer de Piel



Nota. Ejemplo de Cáncer de Piel causada por la Ingestión prolongada de Aguas con Arsénico (Bangladesh).(http://phys4.harvard.edu/%7E.wilson/arsenic/picture/arsenic_proyect_pictures2.html)

1.3.2.8. Toxicidad.

Cuando hablamos de su toxicidad, es complicada y confusa, teniendo que preocupamos por su comportamiento físico-químico, siendo la exposición la forma más común de intoxicación de las personas. El arsénico inorgánico y sus sales también inorgánicas, son las especies con el más alto índice de toxicidad en los seres humanos. El arsénico (+3) es más toxico que el arsénico (+5).

1.3.2.8.1. Efectos Tóxicos

Perjuicio gastrointestinal con dolores, vómitos y diarrea.
Vasodilatación, caída de la presión sanguínea, shock.
Depresión, parálisis de la respiración causando la muerte.
Pérdida de movimientos voluntarios y parálisis de origen central.
Contracciones musculares.
Desbalance electrolítico.
Depresión hematopoyética, disminución de leucocitos.
Anemia aplásica.
Inflamación de ojos y tracto respiratorio.
Pérdida de apetito y peso.
Perjuicio en el hígado: ictericia, cirrosis, etc.
Alteraciones sensoriales.
Dermatosis: hiperpigmentación, hiperqueratosis palmo-plantar, descamación y caída del cabello
Enfermedades vasculares como el pie negro.

A. L A TERATOGÉNESIS

Es una propiedad de este metal donde se genera una alteración estructural y funcional en el progreso de la formación armónica de los seres humanos. Puede contribuir a la muerte del embrión. En grandes fundiciones de metales con exposición al arsénico se determinó que los hijos de los obreros incidían con malformaciones múltiples.

B. L A MUTAGÉNESIS

Enfermedad producida por este metaloide, la cual altera las bases que constituyen el ADN, demostrando ser mutágeno en los seres humanos. Tenemos observaciones de algunos hospitales, sanatorios que habla de mutaciones como la vejez precoz, problemas congénitos contagiables, mortalidad del embrión, infecundidad, absurdos a nivel de material genético. A continuación, en la figura N*6 se muestran algunos efectos en los seres humanos por causa del arsénico.

Figura N*6

Efectos por causa de Arsénico

Nota. Consecuencias en los Seres Humanos causados por el Prolongado Consumo del Arsénico. Askari et al., 2017; http:noticias-ambientales-argentina.blogspot.com/2013/08.

1.3.2.8.2. Normativa para el arsénico en el agua.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece como un valor de 0.01 mg/L de arsénico como límite máximo permisible.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América, lo cataloga como elemento cancerígeno, por sus efectos desfavorables en la salud, se llega a separar naturalmente del organismo humano mediante la vía urinaria, las heces, el sudor y epitelio de la dermis.

Para la EUA, UE e India los LMP ES de 0.01 mg/L de As, en México es 0.025 mg/L y en Chile hasta 0.05 mg/L.

El D.S. 004-2017-MINAM, compila las disposiciones del D.S. 002-2008- MINAM, D.S. 023-2009-MINAM y D.S. 015-2015-MINAM, aprobando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, estableciendo tres categorías para el uso de agua con presencia de este contaminante.

En el Perú la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) con el DS N* 031-2010-SA, dictamina el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

1.3.3. Tecnologías o Procesos para su Remoción

Figura N*7

Tecnologías Tradicionales para Remoción del Arsénico

Nota. Ciclo de Charlas. Tecnología de Remoción de Arsénico. Arsénico, Rey de los Tóxicos. INTA. Universidad Nacional de San Luis. PROIPRO-03-0118-PEIS 03-0320(UNSL).2020

Figura N*8

Tecnologías Emergentes o en Desarrollo para la Remoción de Arsénico

Tecnologías en desarrollo
Geoadsorbentes
Tecnologías solares y fotoquímicas: ZVI+UV, fotocatálisis heterogénea con TiO_2
Carbones activados modificados
Procesos basados en ZVI
Nanopartículas de ZVI (nZVI)

Nota. Ciclo de Charlas. Tecnología de Remoción de Arsénico. Arsénico, Rey de los Tóxicos. INTA. Universidad Nacional de San Luis. PROIPRO-03-0118-PEIS 03-0320(UNSL).2020.

Las tecnologías más conocidas para su remoción como muestra la figura N*7 incluyen procesos, métodos, o técnicas con operaciones básicas que pueden ser: oxidación, precipitación, coprecipitación, adsorción empleando coagulantes, adsorción en superficies, con resinas intercambiadoras de iones, con membranas, osmosis inversa, nanofiltración, alúmina activada, ablandamiento con cal y otros más.

Los procesos con adsorbentes a base de hierro son una técnica conocida mundialmente pero altamente costosa, pero con un alto grado de eficiencia en la adsorción. Existe métodos promisorios por su efectividad, tales como la adsorción, coagulación, intercambio iónico, o también procesos combinados.

En laboratorios o plantas piloto los métodos o tecnologías son la de intercambio iónico, alúmina activada y coagulación mejorada, membranas para nanofiltración u osmosis inversa son muy eficientes, pero altamente costosos. Un método muy conocido el de coagulación-filtración por gravedad no siendo beneficioso en plantas pequeñas de tratamiento para sistemas de remoción arsénico.

A .- Intercambio Iónico

Proceso en el cual los átomos cargados se acoplan electrostáticamente en una superficie de fase sólida y estos a la vez son cambiados por otros átomos cargados equivalentemente diluidos en una fase liquida, donde solo se remocionan las especies negativas de As (+5), oxidando las especies de As (+3), existentes, primeramente. Para eliminar el arsénico hay resinas especiales fuertemente básicas o resinas iónicas sintéticas de matriz polimérica.

B .- Uso de Membranas

La microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, osmosis inversa y electrodiálisis son métodos o técnicas determinadas para la eliminación de arsénico. En la nanofiltración o ultrafiltración, existe una eficiencia mayor para especies As (+5) que para especies As (+3).

C .- Remoción biológica

Proceso donde emplea procesos microbiológicos. Se tiene dos mecanismos uno es la oxidación microbiana de As (+3) a As (+5) y el segundo es un proceso de eliminación conocido, con acopio del contaminante en una biomasa microbiana, el metaloide es adsorbido por esta biomasa compuesta de algas, bacterias, macrófitos acuáticos, organismos vegetales o biopolímeros.

D.- La Fitorremediación

Esta técnica en pleno desarrollo, aprueba el manejo de plantas o vegetales para la absorción, acumulación, metabolización, o estabilización de los contaminantes. Comparando ventajas contra otros métodos convencionales, se coloca como una nueva y excelente elección para ser aplicada en el tratamiento de aguas.

E.- La Fotoquímica

Técnicas que muestran como ventaja el uso de luz o radiación solar en su aplicación en tratamientos de agua, muy económica. Un proceso conocido como SORAS donde fundamenta que la irradiación solar del agua, con ácido cítrico (jugo de limón),

contenida en envases incoloras o material transparente (PET) durante un tiempo (horas), y el otro proceso de fotocatálisis heterogénea, presentan reacciones químicas de oxido- reducción propensos a la mineralización de la materia orgánica.

F.- La Coagulación

Método conocido, reconocido, muy eficiente en la eliminación de arsénico donde el As (+5) y sales de Al (+3) y Fe (+3) se hidrolizan y forman hidróxidos donde el As (+5) es adsorbido y luego precipitado.

Al proceso de oxidación-coagulación para aguas superficiales que contienen elevada turbiedad, le corresponde eliminar el arsénico y otros contaminantes. Esta tecnología incluye: mezcla, floculación, sedimentación y filtración, en la sedimentación se remueve una gran cantidad de este contaminante. Para las aguas subterráneas que tienen mejor calidad, este proceso no es recomendable, complicada en la operación, consumo del material coagulante, volúmenes del lodo producido y procesos sumamente costosos.

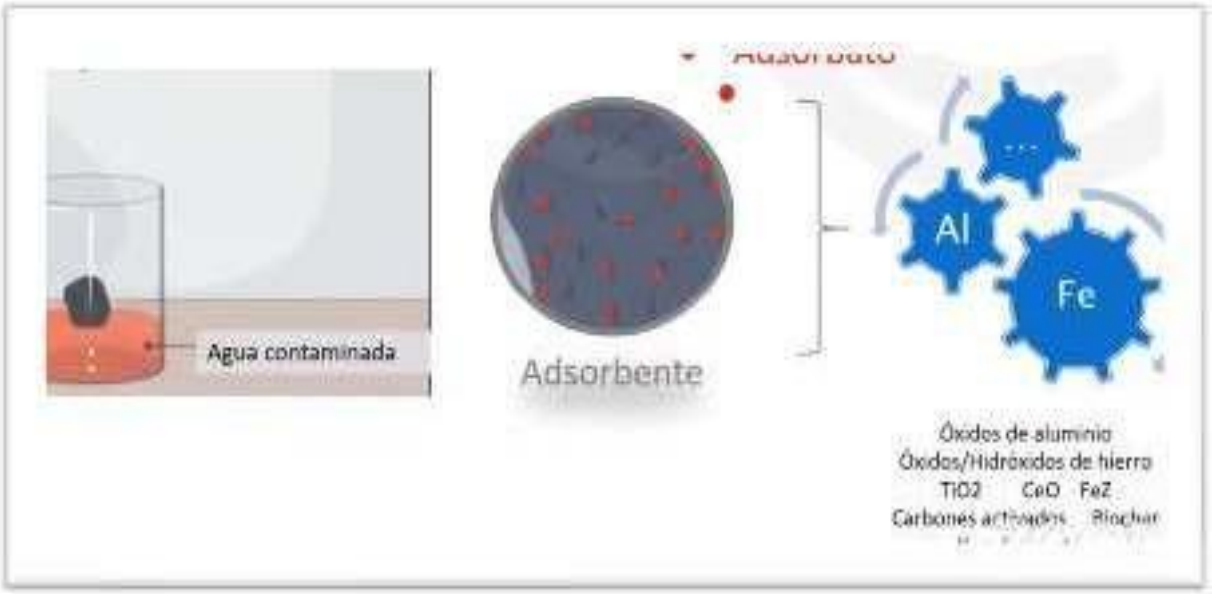
G .- Óxido – Reducción

Operación básica necesaria para oxidar las especies de As (+3) a especies de As (+5), que son más simples para su eliminación. Sustancias como el cloro, permanganato, ozono, son eficientes para esta operación. Tenemos la irradiación ultravioleta con o sin el dióxido de titanio (TiO_2), como opción válida para la oxidación de As (+3). En tanto el intercambio iónico, electrodiálisis y ósmosis inversa, dependen del nivel de disociación del arsénico para lograr una buena eficiencia. La eficacia de remoción del As (+5) comparada con la del As (+3), nos dice que una oxidación del arsénico antes de cada tratamiento es básica. Los arsenitos se oxidan rápidamente a arseniatos con cloro, pero con oxigeno (O_2) a temperatura ambiente, la oxidación es demasiado lenta.

H .- Adsorción

Figura N*9

Proceso de Adsorción para la Remoción del Arsénico



Nota. Ciclo de Charlas. Tecnología de Remoción de Arsénico. Arsénico, Rey de los Tóxicos. INTA. Universidad Nacional de San Luis. PROIPRO-03-0118-PEIS 03-0320(UNSL).2020.

El proceso o técnica de adsorción (figura N*9) indica como pasar un líquido a través de un lecho o cama de contacto donde el contaminante es removido por una serie de reacciones químicas superficiales. El proceso de adsorción, es un mecanismo que se apoya en un material adsorbente para capturar o sujetar al elemento buscado llamado adsorbato y poder llevarlo a su superficie. Tenemos una adsorción física y otra química, existen adsorbentes comunes como: la alúmina y carbón activado, zeolitas trabajadas con hierro, óxido de titanio y óxidos de hierro. La adsorción emplea sólidos como medio de eliminación de sustancias en soluciones gaseosos o líquidos. Este proceso adsorción es promovida básicamente por las fuerzas de Van Der Waals con los átomos de la superficie adsorbente, siendo preciso caracterizar el adsorbente antes de ser utilizado en el proceso. La adsorción de arsénico demanda adsorbentes eficientes y económicos, donde los minerales de óxido de hierro, pueden ser naturales o sintéticos, requeridos para eliminar este contaminante llamado arsénico presente en el agua. La eficiencia de adsorción alcanzada esta entre un 70 a 99%, dependiendo el material mineral adsorbente utilizado en el proceso.

En la actualidad esta tecnología es una de la más viable y eficiente, pues incorpora un fácil manejo, mínimos costos de operación, elevada eficacia de remoción, y reutilización del adsorbente, se ha incrementado muchas investigaciones con una variedad de nuevos materiales minerales o sintéticos adsorbentes alguno de ellos recientemente fabricados.

La eficiente remoción de arsénico, se ve determinada por el tipo de material utilizado en este proceso o tecnología, lo cual nos lleva a una profunda investigación de estos materiales, buscando perfeccionamiento de los nuevos materiales adsorbentes encontrados, que han sido trabajados o reformados para poder alcanzar una máxima capacidad de adsorción.

Estos minerales como se muestra en la figura N*11, óxidos de hierro conservan una estructura cristalina y carácter iónico, tienen una elevada selectividad, notable afinidad con contaminantes, elevada superficie selectiva, costo bajo, se localizan en la corteza terrestre como parte de los suelos. Los materiales de hierro reformados con carbón activado, no son muy eficientes.

Los óxidos y los oxihidróxidos, muestran estabilidad química y concentraciones altas en hierro. La hematita(α-Fe_2O_3), maghemita γ-Fe_2O_3) y la magnetita (Fe_3O_4), tres minerales de hierro que son los más conocidos y utilizados en procesos de remoción de arsénico en medios acuosos, gracias a su extensa área superficial específica y su alta porosidad.

La disponibilidad de estos minerales es alta y el proceso de preparación es sencillo, en el caso de la magnetita puede ser recuperado por magnetismo.

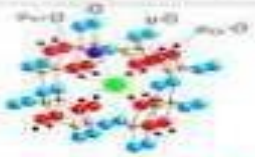
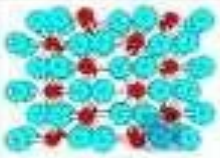
A continuación, se muestran en la figura N*10, dos trozos de mineral de hierro encontrado y recogido en dos minas de zonas de nuestra región Lambayeque y que se utilizaran para las pruebas en nuestra investigación.

Figura N*10

Muestras de Mineral de Hierro de Minas de la Región Lambayeque

Figura N*11

Minerales de Hierro utilizados en Proyecto de Investigación

Nombre	Formula	Color	Estructura	Referencia
Hematita	A- Fe_2O_3	Gris oscuro, negro, rojizo o pardo rojizo		17
Magnetita	Fe_3O_4	Negro agrisado		17
Maghemita	r-Fe2O3	Marrón, rojo ladrillo Pardo oscuro		17
Akaganeita	β-FeOOH	Marrón oxidado o marrón		18
Goetita	α-FeOOH	De amarillento a rojizo, marrón oscuro y casi negro		19

Nota. Minerales de Óxidos y Oxihidróxidos de Hierro más empleados en los procesos adsorción de arsénico. Referencia. Lu, B., Guo, H., P., Liu, H., Wei, Y., Hou, D. (2011). Comparison study on transformation of iron oxyhydroxidies. Journal of state Chemestry, 184; 2139-2144.

CAPITULO II

II. MÉTODOS Y MATERIALES

2.1. UBICACIÓN

Se efectuó en instalaciones ubicada en la ciudad de Chiclayo donde el área de trabajo para este proyecto fue acondicionada, allí se realizó todos los ensayos y pruebas básicas necesarias para el desarrollo y cumplimiento de mi proyecto de investigación a nivel piloto, en plena pandemia, durante los meses de junio a noviembre del 2021.

2.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Se tomo varias muestras de 18 litros de agua subterránea del pozo tubular, que abastece a la Comunidad: Punto 1 Sector 2, distrito Mochumí.

Se recogió un promedio de 40 kilogramos de mineral natural de hierro en estado bruto proveniente de las minas de la región de Lambayeque.

2.2.1. Materiales, Instrumentos y Reactivos Químicos

a. Materiales

4 jarras plásticas de 500 ml.

2 jarras plásticas de 1000 ml.

1 probeta plástica de 500 ml.

2 pipetas de 5 ml.

1 termómetro digital.

3 baldes plásticos de 20 litros.

10 botellas plásticas de 500 ml.

10 botellas plásticas de 1000 ml.

b. Instrumentos

Balanza analítica.

Cronometro manual

Multi parámetros (PH, TDS, CONDUCT)

c. Reactivos Químicos

Hipoclorito de sodio al 4% destilada.

Ácido nítrico diluido.

Kit de prueba de dureza.

2.2.2. Materiales de Recolección de Datos

Cuadernillo para registro de toda la información.

Se trabajo en Laptop (office) de mi propiedad.

2.3. METODOLOGÍA

2.3.1. Tipo y nivel de investigación.

A. **Enfoque**: Cuantitativo, se trabajó con un modelo para evaluar mediante datos estadísticos, la calidad del agua subterránea del pozo del tubular Punto 1 Sector 2, Mochumí, luego de la aplicación de cuatro ensayos al sistema de tratamientos para la remoción de arsénico mediante adsorción física.

B. **Tipo**: Aplicada, se planteó un problema determinado, conocido, y ensayado anteriormente, con variables ya establecidas, es una investigación que se efectuó con conocimientos aplicados a la calidad del agua subterránea del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, Mochumí. luego de la aplicación de cuatro ensayos al sistema de tratamientos para la remoción de arsénico mediante adsorción física.

C. **Nivel**: Explicativa, se comparó los datos estadísticos de los parámetros de calidad evaluados del agua subterránea del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, Mochumí, luego de la aplicación de cuatro ensayos al sistema de tratamientos para la remoción de arsénico mediante adsorción física.

2.3.2. Diseño de investigación.

Experimental: Con una investigación metódica y práctica, donde la variable dependiente (concentración de arsénico) fue trabajada con la aplicación de una variable independiente (sistema de remoción de arsénico mediante adsorción física). Se aplico la experimentación para poder evaluar el problema, es decir, investigar, evaluar y luego comparar resultados de la calidad del agua subterránea del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, Mochumí, luego de la aplicación de cuatro ensayos en el sistema de tratamientos para la remoción de arsénico mediante adsorción física.

2.3.3. Población y muestra.

2.3.3.1. Población.

Las aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector2, del distrito de Mochumí, Lambayeque.

2.3.3.2. Muestra.

Los 18 litros de aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad: Punto1 Sector 2, del distrito de Mochumí, Lambayeque.

2.3.3.3. Las Variables de Operación

Las variables fueron las siguientes:

Variable independiente: Sistema de tratamiento para la remoción de arsénico.

Variable dependiente: Concentración de arsénico en las aguas subterráneas.

2.3.4. Técnicas de Recolección de Datos.

2.3.4.1. Experimentación.

Se ejecuto la investigación experimental, utilizando un diseño experimental con una variable independiente (sistema de tratamiento para la remoción de arsénico). La experimentación consistió en observar, evaluar y anotar en un cuadernillo de evaluación, todos los valores de cada parámetro indicado correspondientes a la variable dependiente (concentración de arsénico).

2.3.4.2. Elaboración de instrumentos.

Se consideró como único instrumento de estudio el cuadernillo de evaluación, donde se planteó, anoto y una serie de pasos, intentos, métodos o técnicas prácticas con la intención de cumplir el objetivo de este proyecto de investigación.

2.3.5. Procedimientos

2.3.5.1. Acciones Iniciales previas.

Con una total revisión bibliográfica (internet), se llega a entender y poder determinar la magnitud del problema y también llegar a establecer todos los posibles datos de operación para el futuro desarrollo del sistema de tratamiento.

Concentración de arsénico inicial: del agua subterránea se tomó la muestra inicial que arrojo una concentración de 0.024 mg/l de arsénico manteniéndose esta concentración como dato constante.

Temperatura: estuvo entre 20 y 25 ºC, la temperatura no tiene influencia alguna en el desarrollo del sistema de tratamiento.

Concentración del Oxidante: La concentración del hipoclorito de sodio (lejía) utilizada como agente oxidante fue al 4% en cada ensayo de experimento cuya función primordial es la oxidación del arsénico (+3) a arsénico (+5) el cual es más fácil su remoción.

Ph: característica física controlada con el equipo multi parámetros, que según la bibliografía para aguas subterráneas el rango es de 6.5 a 8.5 y el valor promedio encontrado fue entre 8.2 a 8.4.

Conductividad: característica del agua subterránea, en este pozo tubular sobrepasa los límites máximos permisibles en un 75%, el límite es 1500 Us/cm. y lo que se encontró fueron valores sobre los 2300 Us/cm.

Solidos totales disueltos: los valores encontrados están sobre los límites máximos permisibles, estas aguas contienen cantidades de 1200 mg/L y el máximo permisible para este parámetro es de 1000 mg/L.

Material mineral: El material mineral natural de hierro granulado utilizado para este proyecto de investigación, fue encontrado y recolectado en forma de roca natural de 3 minas(canteras) ubicadas en nuestra región Lambayeque, luego este mineral se caracterizado para el análisis o ensayos en su composición química de elementos básicos y óxidos, estos análisis fueron realizados en la ciudad de Lima por el Laboratorio de ensayo de minerales CERTIMIN ubicado en San Juan de Lurigancho. Los resultados de los ensayos fueron muy importantes para mi proyecto, tanto en concentración de Hierro (Fe) o como en Oxido Férrico (Fe_2O_3), los cuales fueron determinantes en la eficiencia como material adsorbente natural del arsénico. Este mineral fue caracterizado y evaluado en las columnas de adsorción diseñas para este sistema de remoción, los resultados fueron muy interesantes y satisfactorios generando un interés para hacer estudios más profundos y específicos en el sistema de remoción de arsénico con el uso de este nuevo mineral encontrado en la región. La tabla N*5 se muestra un consolidado de los porcentajes de hierro (Fe) y de oxido férrico (Fe_2O_3) encontrados y determinados por un análisis químico en laboratorio acreditado.

Tabla N*5

Resultados de análisis de Fe y Fe_2O_3 de las Muestras de Mineral de Hierro

MUESTRA DE MINERAL	Fe %	Fe_2O_3 %
MINERAL MOCUPE	57.91	82.79
MINERAL CAYALTI	43.53	62.24

Nota. Los resultados de los análisis de las muestras de las 2 Minas de la Región Lambayeque

2.3.6. Diseño y Construcción de la columna de adsorción

A.- La Carga Hidráulica.

También llamada altura o nivel piezométrico, medida que determina la presión de un líquido por arriba de un datum geodésico, este fluye a través de una columna, generando un gradiente hidráulico entre dos puntos. Es una altura de superficie liquida, expresada en unidades de longitud.

B.- Diámetro del Lecho Fijo

Tener una relación entre el diámetro (10 cm.) y altura (60 cm.) de la columna es importante porque permiten un paso fluido del adsorbato que esta disuelto en la fase liquida y el absorbente que se encuentra en la fase solida dispuesto en una gradiente de altura en la columna, donde la altura del lecho se mantiene constante, es mejor tener una mayor proporción entre la altura del lecho (Z) y el diámetro del lecho (D), ya que el porcentaje de uso del adsorbente aumenta con ésta, en una proporción Z/D entre 1:1 a 3:1

C.- Altura del lecho.

Para este proyecto la altura de lecho fijo fue evaluada experimentalmente, primero que se consideró que una cantidad en peso del mineral generaba una gradiente de altura en la columna, luego con varios ensayos, se evaluó la cantidad máxima de remoción de arsénico que podía reducir cada ensayo en especial en un determinado ensayo.

D.- Altura De La Columna

Para esta investigación las columnas tienen una altura de 60 cm., suficiente para almacenar al lecho o cama (mineral) y la mayor cantidad de agua que pueda fluir en el tratamiento, en sistemas que funcionan con flujo descendente, la altura de la columna debe tener un 15 % extra.

E.- Consideraciones en las Columnas Construidas

Las pruebas o ensayos ejecutados en el sistema de tratamiento a nivel piloto fueron realizados en columnas construidas con fibra de vidrio con medidas de 10 cm de diámetro y 60 cm de altura con un volumen total 5 litros. Como se muestra en la figura N*15

Todos los accesorios utilizados en el diseño del sistema de tratamiento son tubería plástica de agua y llaves de paso plástica de ½ pulgada, tanto a la entrada como a la salida de cada columna.

Para la caída de agua a la columna de adsorción se requirió de un balde de 15 litros con medida volumétrica, elevado a una altura determinada y equipada con una llave de paso de ½ pulgadas que conservo el flujo de ingreso y caudal de salida.

Los extremos de cada columna son de forma de domo con bridas acondicionas, cuyos empalmes son ajustados con 12 pernos distribuidos correspondientemente a cada brida, hechas del mismo material. Para el diseño y construcción de estas columnas de fibra de vidrio se consideró principios básicos: carga hidráulica, caudal, altura y diámetro de columna. La adsorción física y filtración del arsénico fueron realizados en la misma columna.

La dosificación del flujo a la columna fue muy lenta con una altura constante del balde alimentador, la caída del flujo fue mediante un aspersor tipo ducha para abarcar la mayor área de contacto con la superficie de mineral, esto ocasionó lentitud en la experimentación, se necesitó estar regulando frecuentemente el flujo de agua para que no rebose en la columna.

2.3.7. Procedimiento del Sistema de Tratamiento

La investigación tuvo un carácter experimental, teniendo como población las aguas subterráneas del pozo tubular del distrito de Mochumí, donde se tomaron las muestras madre iniciales tal como se muestran en las figuras N*13 y 14. Los trabajos, caracterizaciones, ensayos y los análisis básicos, tanto de la muestra madre, como de las muestras resultantes después del tratamiento con el material mineral granulado también caracterizado (figura N*16), fue en un área o zona acondicionada y específica para ejecución y culminación de todos los trabajos de este proyecto de investigación. Los análisis fueron realizados y certificados por un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad - INACAL que certificaron la presencia de arsénico en el pozo tubular ubicado en el distrito de Mochumí.

Se tomo una muestra (bidón plástico) de 18 litros de agua del pozo subterráneo del distrito de Mochumí que abastece a dicha comunidad conjuntamente con el apoyo de la junta directiva, lavando el recipiente plástico por 3 veces con la misma agua y se tapó el bidón herméticamente, en el caso del material mineral natural se recogió de un promedio de 40 kilogramos de las 3 minas de la región Lambayeque, luego se sometió a un tratamiento de molienda manual, el material mineral molido utilizado en cada ensayo fue en cantidades diferentes. Se caracterizaron 4 ensayos de 10 litros cada una con agua contaminada con arsénico en baldes plásticos, a estas 4 muestra se agregó 10 ml. de hipoclorito de sodio (4%) para su oxidación respectiva y se procedió a realizar los 4 ensayos consecutivos en el sistema para remoción de arsénico, las 4 muestras resultantes del sistema y la muestra madre se esterilizaron con ácido nítrico diluido, luego se acondicionaron en sus envases plásticos y se codificaron cada una de ellas. Todas estas muestras

fueron evaluadas básicamente antes y después de cada tratamiento anotando los valores determinados de cada parámetro en el cuadernillo de evaluación.

El balde plástico con cada una de las muestras de agua caracterizadas(oxidación), se posiciono en altura referente, se abrió la llave de paso del sistema, pasando esta agua inmediatamente por el sistema de tratamiento donde se anotó el tiempo de residencia, tal como se muestran en la figura N*17 y 18. Cada columna tiene un diámetro de 10 cm y una altura de 60 cm. El material mineral de hierro granulado correspondiente a cada ensayo (en promedio 25 cm. de altura de mineral), al sistema también se le agrego en el fondo una cantidad de arena de playa (5 cm. altura) lavada previamente siendo el mismo volumen para los 4 ensayos realizados, cuyo objetivo fue filtrar algún material contaminante precipitado y que sea retenido por esta arena fina. Se esperó los minutos necesarios los cuales fueron controlados con un cronometro, el agua resultante tratada, se recibió en otro balde, para luegoseparar yrecoger la muestra para su análisis respectivo en un envase plástico transparente con una volumen de 250 ml. de capacidad, previamente enjuagadas por 3 veces, la muestra de agua resultante se esterilizado con ácido nítrico diluido para su preservación y se codifico cada una de ellas. Después de concluir los 4 ensayos, estas muestras resultantes conjuntamente con la muestra madre inicial fueron colocadas en un cooler plástico con refrigeración adecuada. Lo muestra las figura N*21.

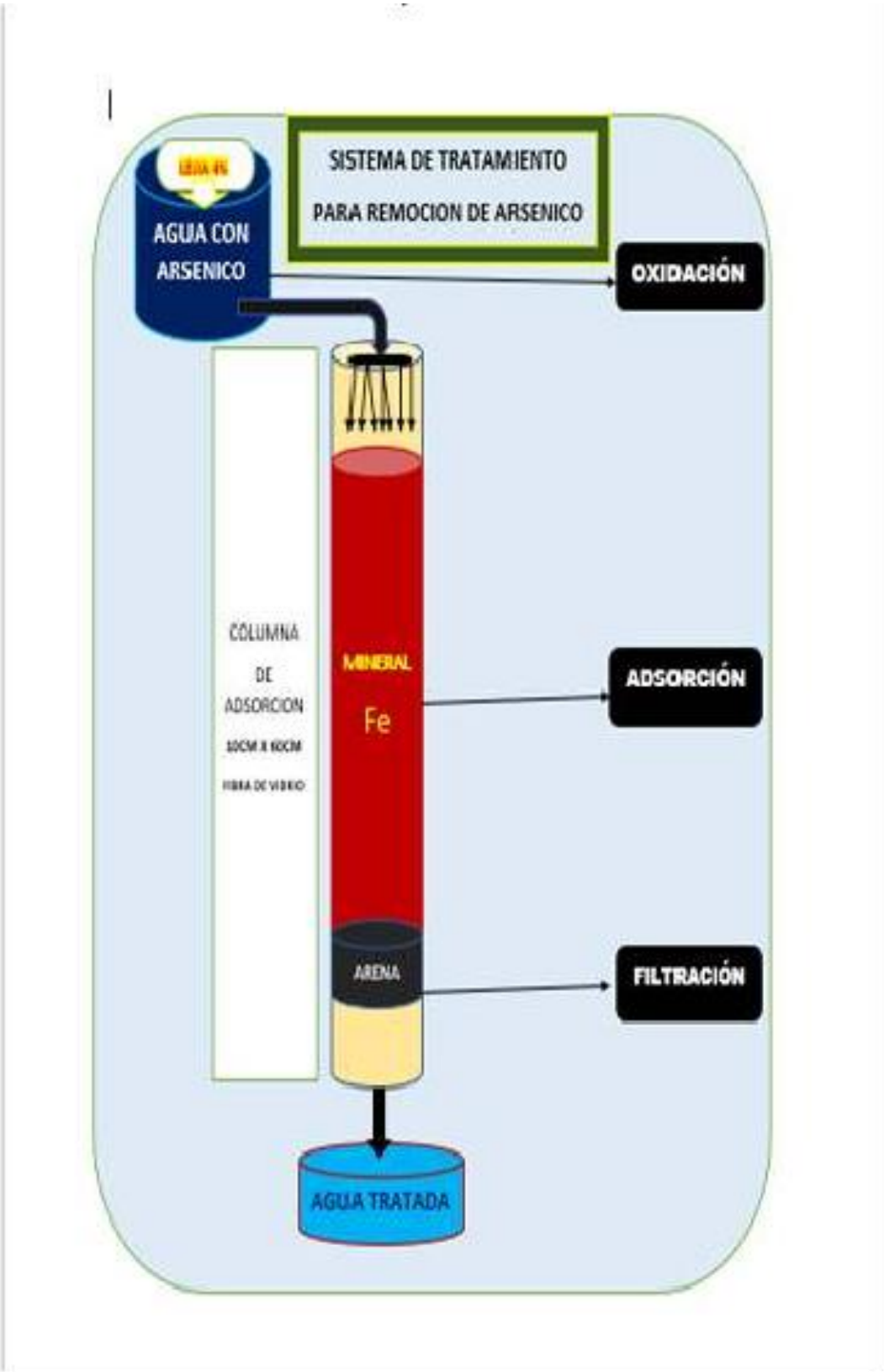
Todas estas muestras, contenidas en el cooler fueron enviadas a Cajamarca donde se encuentra el Laboratorio Regional del Agua, laboratorio de ensayo acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA con registro N*LE-084, para la determinación de concentración de arsénico y concentración de otros metales que puedan encontrarse en estas aguas subterráneas del distrito de Mochumí.

Los resultados de todos los análisis de calidad de agua emitido por el laboratorio de Cajamarca tuvieron un tiempo de espera de entre 15 a 20 días hábiles.

El Diseño del Sistema de Tratamiento de Remoción de Arsénico se muestran en la figura N*12.

Figura 12

Diseño del Sistema para Remoción de Arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular de la Comunidad PUNTO 1SECTOR 2, distrito de Mochumi – Lambayeque.



Nota: Elaboración propia.

2.3.8. Evidencias del Proyecto de Investigación

Figura 13 y 14

Interior de la Caseta, Salida de Agua del Pozo Tubular y los Envases (Bidones Plásticos) de Recojo de Muestras de Aguas.

Figura 15

Las 2 Columnas de Adsorción construidas con Fibra de Vidrio con una Altura de 60 cm., un Diámetro de 10 cm. y con Cabezales tipo Brida de 12 Pernos tanto para la Entrada y Salida del flujo de Agua.

Figura 16

Muestra de Mineral de Hierro Molido de forma Manual

Figura 17 y 18
Desarrollo Practico del Sistema para remoción de Arsénico de las Aguas Subterráneas de Mochumí.

Figura 19 y 20

Instrumentos, Equipos y Materiales utilizados para los Análisis básicos en el Proyecto de Investigación.

Figura 21

Muestras Resultantes de la Pruebas Desarrolladas en el Sistema de Tratamiento selladas y codificadas listas para ser enviadas al laboratorio Acreditado en Cajamarca

2.3.9. Tratamientos en Estudio.

Table N*6

Codificaciónde los 4 Tratamientos Realizados en el Proyecto

Código	Tratamiento
T1	MINERAL + ARENA
T2	MINERAL + ARENA
T3	MINERAL + ARENA
T4	MINERAL + ARENA

Nota: Elaboración propia

2.4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

Se diseño un sistema para remoción de arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular, donde se realizó cuatro ensayos consecutivos.

2.4.1. Manejo del experimento.

A. Obtención de la muestra.

La muestra madre de agua subterránea fue tomada del pozo tubular con apoyo del presidente del JASS de la Comunidad Punto 1 Sector 2, Mochumí, Lambayeque y con autorización del alcalde de la municipalidad del distrito de Mochumí, el cual, nos permitió hacer los estudios correspondientes al agua subterránea del pozo tubular. Se recolectó en total, 72 litros de agua, y se determinó los siguientes parámetros con los instrumentos, equipos y materiales básicos mostrados en las figuras N*19 y 20. Los datos tomados son mostrados en la tabla N*7 siguiente:

Tabla N*7

Parámetros Iniciales tomados de la Muestra de Agua Subterránea

Parámetros	LMP	Unidade	Valor
Arsénico (Ar)	**0.01**	**mg/L**	**0.024**
Hierro (Fe)	**0.3**	**mg/L**	**< LCM**
Temperatura	**25**	***C**	**23.9**
PH A 25 *C	**6.5 a**	**ph**	**7.9**
Conductividad A 25	**1500**	**Us/cm**	**2950**
Solidos Tot.	**1000**	**mg/L**	**1450**
Dureza Total	**500**	**mg/L**	**390**

B. Construcción de filtros.

Se trabajó con 2 columnas de adsorción construidos con los siguientes materiales:

Tabla N*8

MaterialesComponentes delasColumnasdeAdsorción

	T 1		T 2		T 3		T 4	
Materiales	**P eso (r)**	**Altura (Cm)**	**Peso (Gr)**	**Altura (Cm)**	**Peso (Gr)**	**Altura (Cm)**	**Peso (Gr)**	**Altura (Cm)**
Mineral	**2600**	**25**	**2500**	**25**	**2100**	**20**	**2900**	**30**
Arena	**500**	**5**	**500**	**5**	**500**	**5**	**500**	**5**
Piedra	**700**	**10**	**700**	**10**	**700**	**10**	**700**	**10**
Algodón	**15**	**5**	**15**	**5**	**15**	**5**	**15**	**4**

Nota: Elaboración propia

C. Filtración de Agua en las Columnas de Adsorción

Luego de diseñar y construir las columnas de adsorción, se procedió a filtrar 10 litros de agua subterránea caracterizada para cada uno de los cuatro ensayos realizados, con un total de 40 litros filtrados.

D. Análisis de Muestras.

Las muestras de agua resultantes fueron recogidas, esterilizadas, codificadas y enviadas para proceder ser analizadas por el LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA, con acreditación INACAL-DA con registro N* LE-084, que pertenece al Gobierno Regional de Cajamarca, el cual otorgó mediante un Informe de Ensayo correspondiente, los resultados certificados de la calidad de agua de las 5 muestras.

E. Resultados de la Evaluación del Agua.

Todos los resultados certificados tanto de la muestra madre inicial de agua subterránea del pozo tubular de la Comunidad: Punto 1 Sector 2, de Distrito Mochumí, Lambayeque, como de las muestras resultantes después de realizarse los cuatro ensayos en el sistema de remoción desarrollado mediante adsorción física, utilizando material mineral, conjuntamente con los datos de los parámetros básicos tomados se muestran en la siguiente tabla N*9.

Tabla N*9

ParámetrosResultantesdespuésdecada TratamientoRealizado

Parámetros	Unidades	T1	T2	T3	T4
Arsénico (Ar)	**Mg/L**	**0.012**	**0.010**	**0.006**	**0.008**
Hierro (Fe)	**Mg/L**	**0.027**	**0.025**	**0.165**	**0.063**
Temperatura	***C**	**25.8**	**26**	**20.7**	**20.3**
Ph	**Ph**	**8.3**	**8.4**	**8.2**	**8.3**
Conductividad	**Us/Cm**	**3030**	**2810**	**2340**	**2540**
Sol. Tot. Disueltos	**Mg/L**	**1490**	**1390**	**1210**	**1250**
Dureza Total	**Mg/L**	**510**	**380**	**410**	**400**

Nota. Parámetros Resultantes después de los Tratamientos en Especial los 4 Datos de la Concentración de Arsénico que fue analizado por Laboratorio Acreditado

F. Los Datos Estadísticos.

El procesamiento y análisis de los datos estadísticos del presente proyecto de investigación, se aplicó la prueba de Shapiro – Wilk, esta prueba se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos y plantea como Hipótesis Nula, una muestra X1,…,Xn, proveniente de una población normalmente distribuida. Es considerada con una de las pruebas más fuertes para el contraste de normalidad. Los análisis o contraste de normalidad tienen como objetivo analizar cuanto defiere la distribución de los datos observados respecto a los esperados si procediesen de una distribución normal con la misma media y desviación estándar.

El estadístico de la prueba es:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$

donde

- $x_{(i)}$ (con el subíndice i entre paréntesis) es el número que ocupa la i-ésima posición en la muestra (con la muestra ordenada de menor a mayor)
- $\bar{x} = \frac{x_1 + \cdots + x_n}{n}$ es la media muestral
- las variables a_i se calculan[2]

$$(a_1, \ldots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

donde

$$m = (m_1, \ldots, m_n)^T$$

Siendo m1,…,mn , los valores medios del estadístico ordenado de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas muestreadas de distribuciones normales y ***V*** denota la matriz de covarianza de ese estadístico de orden. La Hipótesis Nula se rechazará si ***W*** es demasiado pequeña. El valor de ***W*** puede oscilar entre 0 y 1.

INTERPRETACIÓN: Siendo la Hipótesis Nula que la población esta distribuida normalmente.

Si ***p*** -valor es menor a alfa (nivel de significancia) entonces la Hipótesis Nula es rechazada

porque los datos no vienen de una distribución normal.

Si ***p*** -valor es mayor a alfa (nivel de significancia) entonces la Hipótesis Nula ***no*** es rechazada.

Se utiliza esta prueba de normalidad por tener un tamaño de muestra (n , gl) de máximo es 30 elementos, donde se puede contrastar su normalidad, se calcula la media y la varianza muestral, S2 y se ordena las observaciones de menor a mayor.

G. Análisis de los Resultados

Tener la alegría, satisfacción y orgullo de haber terminado con mucho éxito el presente proyecto de investigación que viene a ser mi tesis de pregrado, por haber encontrado la solución a una problemática socio ambiental de mucha gravedad, existente desde el año 2016 en toda la zona norte de nuestra región Lambayeque en donde autoridades locales, municipales, regionales y también sanitarias no le dan la verdadera importancia para encontrar soluciones inmediatas en el tema de la contaminación de las aguas subterráneas de muchos pozos tubulares en distritos como Mochumí, Pacora, Morrope, pertenecientes a la zona norte de Lambayeque. Me tocó vivir esta triste experiencia, considerando que realice el estudio de contaminación por arsénico en este pozo tubular de Mochumí, donde todos los pobladores pertenecientes en promedio a más de 110 familias viven en esta Comunidad Punto 1 Sector 2 y son dependientes del agua de este pozo tubular con aguas contaminadas desde noviembre del 2020.

La distribución del agua subterránea del pozo tubular fue clausurado por DIGESA y la comunidad quedo sin este preciado recurso hídrico a partir de esa disposición. Obtener estos resultados positivos y certificados demuestran que la solución a esta grave situación, está en nuestras manos y que podemos ayudar a todas estas

familias de los distritos en mención, de manera que podríamos brindarles un agua de calidad apta para su consumo diario.

Esta problemática de contaminación con arsenico se va radicalizar aún más en el futuro en todo el resto de distritos de esta zona norte de Lambayeque.

Como profesional de la UNPRG, en especial de la FIQIA es momento de tomar cartas en este asunto y buscar estrategias para dar pronta solución a este grave problema de contaminación.

La solución a este problema del arsénico es sencilla, practico y con gastos de operación manejables, quedo demostrado que la aplicación del Sistema para Remoción de Arsénico a las aguas subterráneas del pozo tubular tuvo el éxito que se refleja en el presente proyecto de investigación.

CAPITULO III

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis Estadísticos de las Variables de Estudio.

Para el presente proyecto de investigación se aplicó la Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk, por tener un tamaño de muestra menor de 30.

Tabla 10
DatosdelAnálisisEstadístico

Variables De Estudio	Estadístico	Gl	Sig.
Arsénico	**0,993**	**4**	**0,972**
Hierro	**0,807**	**4**	**0,115**
Temperatura	**0,776**	**4**	**0,066**
Ph	**0,945**	**4**	**0,683**
Conductividad	**0,981**	**4**	**0,910**
Sol. Tot. Disueltos	**0,933**	**4**	**0,610**

H0 : Los datos siguen una distribución normal**.**

gl : grado de libertad ó n **< 30**

H1 : Los datos no siguen una distribución normal.

sig. : significancia ó p **> 0.05**

Con un nivel de significancia del **0.05 < sig.** no se rechaza la hipótesis nula por lo que se concluye que las diferentes variables en estudio provienen de una distribución normal por lo tanto se utilizaran pruebas paramétricas para el estudio.

3.1.1. Análisis Estadísticos Descriptivo

Tabla N*11.

Datos Estadísticos Descriptivos de las Variables de Estudio

VARIABLE DE ESTUDIO	DESCRIPCION	ESTADISTICO	ERROR STANDAR
a. Arsénico	Media	0.00900	0.001291
	95% de intervalo LM INF	0.00489	
	Confianza para la media LM SUP	0.1311	
	Media recortada al 5%	0.00900	
	Mediana	0.00900	
	Varianza	0.000	
	Desviación estándar	0.002582	
	Mínimo	0.006	
	Máximo	0.012	
	Rango	0.006	
	Rango Inter cuartil	0.005	
	Asimetría	0,000	1,014
	Curtosis	-1,200	2,619
b. Hierro	Media	0.07000	0.032484
	95% de intervalo LM INF	-0.03454	
	Confianza para la media LM SUP	0.17454	
	Media recortada al 5%	0.06722	
	Mediana	0.04500	
	Varianza	0.004	
	Desviación estándar	0.065696	
	Mínimo	0.025	
	Máximo	0.165	
	Rango	0.140	
	Rango Inter cuartil	0.114	
	Asimetría	1,614	1,014
	curtosis	2,421	2,619
c. Temperatura	Media	23.2000	1.56152
	95% de intervalo de LIM INF	18.2306	

	Confianza para la media LIM SUP	28.1694	
	Media recortada al 5%	23.2056	
	Mediana	23.5000	
	Varianza	9,753	
	Desviación estándar	3.12303	
	Mínimo	20.30	
	Máximo	26	
	Rango	5.70	
	Rango inter cuartil	5.55	
	Asimetría	-0.011	1,014
	curtosis	-5,898	2,619
d. Ph	Media	8.3000	0.04082
	95% de intervalo de LIM INF	8.1701	
	Confianza para la media LIM SUP	8.4299	
	Media recortada al 5%	8.3000	
	Mediana	8.3000	
	Varianza	0.007	
	Desviación estándar	0.08165	
	Mínimo	8.20	
	Máximo	8.40	
	Rango	0.20	
	Rango inter cuartil	0.15	
	Asimetría	0.000	1,014
	Curtosis	1,500	2,619
e. Conductividad	Media	2680.00	151.272
	95% de intervalo de LIM INF	2,198.58	
	Confianza para la media LIM SUP	3,161.42	
	Media recortada al 5%	2,679.44	
	Mediana	2,675.00	
	Varianza	91533.333	
	Desviación estándar	302.545	
	Mínimo	2,340	
	Máximo	3,030	
	Rango	690	

	Rango inter cuartil	585	
	Asimetría	0.073	1,014
	Curtosis	-1,947	2,619
f. Sol. Tot. Disueltos	Media	1,335.00	64.485
	95% de intervalo de LIM INF	1,129.78	
	Confianza para la media LIM SUP	1,540.22	
	Media recortada al 5%	1,333.33	
	Mediana	1,320.00	
	Varianza	16633.333	
	Desviación estándar	128.970	
	Mínimo	1,210	
	Máximo	1490	
	Rango	280	
	Rango inter cuartil	245	
	Asimetría	0.411	1,014
	Curtosis	-2,865	2,619

Nota: Elaboración propia

3.1.2. Prueba de hipótesis de medias

Esta hipótesis es la comprobación de que los valores resultantes de las muestras de las aguas tratadas son iguales o menores a los valores máximos permisibles ya determinados.

A.- Estadísticas para las muestras: ARSÉNICO

Tabla N*12.

Estadística Descriptiva del Arsénico

VARIABLE	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESV. ERROR PROMEDIO
Arsénico	**4**	**0.00900**	**0.002582**	**0.001291**

Fuente: Elaboración propia

En la TABLA N*12, se muestra que el promedio de Arsénico que se encuentra en las cuatro muestras de las aguas tratadas es de 0.009 mg/L con una desviación estándar de 0.002582.

A1.- Pruebas para las muestras: ARSÉNICO.

VALOR DE PRUEBA = 0.01 mg/L.

Tabla N*13.

Comprobación de la Estadística para el Arsénico

VARIABLE DE ESTUDIO	t	gl (N-1)	Sig.	DIFERENCIA DE MEDIAS	DIFERENC INF 95% INTERVAL DE CONFIANZ	DIFERENC SUP 95% INTERVAL DE CONFIANZ
Arsénico	**-0,775**	**3**	**0.495**	**-0.001000**	**-0.00511**	**0.00311**

Fuente: Elaboración propia

H0 : La media de la concentración de arsénico que hay en las muestras de las aguas tratadas es igual o menor que el valor de prueba estándar (0.010 mg/L).

H1 : La media de la concentración de arsénico que hay en las muestras de las aguas tratadas no es igual al valor de prueba estándar.

INTERPRETACIÓN: Con un nivel de significancia de **sig.> 0.05** no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que las medias de la concentración de arsénico son igual o menor al valor de prueba (LMP), en las cuatro muestras de aguas tratadas.

B.- Estadísticas para las muestras: HIERRO

Tabla N*14.

Estadística Descriptiva del Hierro

VARIABLE DE ESTUDIO	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESV. ERROR PROMEDIO
Hierro	**4**	**0.0700**	**0.065696**	**0.032848**

Fuente: Elaboración propia

En la TABLA N*14, se muestra que el promedio de Hierro que se encuentra en las cuatro muestras de las aguas tratadas es de 0.0700 mg/L con una desviación estándar de 0.065696.

B1.- Pruebas para las muestras: HIERRO.

VALOR DE PRUEBA = 0.03mg/L.

Tabla N*15.

Comprobación de la Estadística para el Hierro

VARIABLE DE ESTUDIO	t	gl (N-1)	Sig.	DIFERENCIAS DE MEDIAS	DIFERENC INF 95% INTERVAL DE CONFIANZ	DIFERENC SUP 95% INTERVAL DE CONFIANZ
Hierro	**-7,002**	**3**	**0.06**	**-0.23000**	**-0.33454**	**-0.12546**

Nota: Elaboración propia

H0: La media de la concentración de hierro que hay en las muestras de las aguas tratadas es igual o menor que el valor de prueba estándar (0.3 mg/L).

H1: La media de la concentración de hierro que hay en las muestras de las aguas tratadas no es igual al valor de prueba estándar.

INTERPRETACIÓN: Con un nivel de significancia de sig.**> 0.05** no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que las medias de la concentración de hierro son igual o menor al valor de prueba (LMP), en las cuatro muestras de aguas tratadas.

C.- Estadística para las muestras: TEMPERATURA

Tabla N*16

Estadística Descriptiva de la Temperatura

VARIABLE DE ESTUDIO	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESV. ERROR PROMEDIO
Temperatura	**4**	**23.200**	**3.12303**	**1.56125**

Fuente: Elaboración propia

En la TABLA N*16, se muestra que el promedio de la temperatura que se encuentra en las cuatro muestras de las aguas tratadas es de 23.200 *C con una desviación estándar 3.12303.

C1.- Pruebas para las muestras: TEMPERATURA

VALOR DE PRUEBA = 25 *C

Tabla N*17.

Comprobación de la estadística para la temperatura

VARIABLE DE ESTUDIO	t	gl (N-1)	Sig.	DIFERENCIAS DE MEDIAS	DIFERENC INF 95% INTERVAL DE CONFIANZ	DIFERENC SUP 95% INTERVAL DE CONFIANZ
Temperatura	**-1,153**	**3**	**0.333**	**-1.8000**	**-6.7694**	**3.1694**

Fuente: Elaboración propia

H0 : La temperatura media que hay en las muestras de las aguas tratadas es igual al valor de prueba estándar (25 *C).

H1 : La temperatura media que hay en las muestras de las aguas tratadas no es igual al valor de prueba estándar.

INTERPRETACIÓN: Con un nivel de significancia de sig.**> 0.05** no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que las medias de la temperatura son igual al valor de prueba, en las cuatro muestras de aguas tratadas.

D.- Estadística para las muestras: pH

Tabla N*18.

Estadística Descriptiva del pH

VARIABLE DE ESTUDIO	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESV. ERROR PROMEDIO
Ph	**4**	**8.300**	**0.08165**	**0.04082**

Nota: Elaboración propia

En la TABLA N*18, se muestra que el promedio del pH que se encuentra en las cuatro muestras de las aguas tratadas es de 8.300 con una desviación estándar 0.08165.

D1.- Pruebas para las muestras: PH

VALOR DE PRUEBA = 8.5

Tabla N*19

.

Comprobación de la Estadística para el ph

VARIABLE DE ESTUDIO	t	gl (N-1)	Sig.	DIFERENCIAS DE MEDIAS	DIFERENC INF 95% INTERVAL DE CONFIANZ	DIFERENC SUP 95% INTERVAL DE CONFIANZ
Ph	**-4,899**	**3**	**0.016**	**-0.2000**	**-0.3299**	**-0.0701**

Nota: Elaboración propia

H0: La media del pH que hay en las muestras de las aguas tratadas es igual al valor de prueba estándar (8.5).

H1: La media del Ph que hay en las muestras de las aguas tratadas no es igual al valor de prueba estándar.

INTERPRETACIÓN: Con un nivel de significancia de sig.**< 0.05** se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que las medias del pH en las cuatro muestras tomadas de las aguas tratadas son diferentes.

E.- Estadística para las muestras: Conductividad

Tabla 20.

Estadística Descriptiva de la Conductividad

VARIABLE DE ESTUDIO	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESV. ERROR PROMEDIO
Conductividad	**4**	**2,680.00**	**302.545**	**151.272**

Nota: Elaboración propia

En la TABLA N*20, se muestra que el promedio de la temperatura que se encuentra en las cuatro muestras de las aguas tratadas es de 2,680 Us/cm con una desviación estándar 302.545.

E1 .- Pruebas para las muestras: CONDUCTIVIDAD

VALOR DE PRUEBA = 1500 Us/cm.

Tabla N*21

Comprobación de la Estadística para la Conductividad

VARIABLE DE ESTUDIO	t	gl (N-1)	Sig.	DIFERENCIAS DE MEDIAS	DIFERENC INF 95% INTERVAL DE CONFIANZ	DIFERENC SUP 95% INTERVAL DE CONFIANZ
Conductividad	**7,800**	**3**	**0.004**	**1,180.00**	**698.58**	**1,661.42**

Nota: Elaboración propia

H0: La media de la conductividad que hay en las muestras de las aguas tratadas es igual al valor de prueba estándar (1500 Us/cm).

H1: La media de la conductividad que hay en las muestras de las aguas tratadas no es igual al valor de prueba estándar.

INTERPRETACIÓN: Con un nivel de significancia de sig. **< 0.05** se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que las medias de la conductividad en las cuatro muestras de aguas tratadas son diferentes.

F. Estadística para las muestras: SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD)

Tabla N*22

Estadística Descriptiva de los Solidos Totales Disueltos

VARIABLE DE ESTUDIO	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESV. ERROR PROMEDIO
STD	**4**	**1,335.00**	**128.970**	**64.485**

Nota: Elaboración propia

En la TABLA N*22, se muestra que el promedio de la temperatura que se encuentra en las cuatro muestras de las aguas tratadas es de 1,335 mg/L con una desviación estándar 128.970.

F1.- Pruebas para las muestras: STD

VALOR DE PRUEBA = 1000 mg/L.

Tabla N*23

Comprobación de la Estadística para los S T D

VARIABLE DE ESTUDIO	t	gl (N-1)	Sig.	DIFERENCIAS DE MEDIAS	DIFERENC INF 95% INTERVAL DE CONFIANZ	DIFERENC SUP 95% INTERVAL DE CONFIANZ
S T D	**5,195**	**3**	**0.014**	**335.00**	**129.78**	**540.22**

Nota: Elaboración propia

H0: La media de la conductividad que hay en las muestras de las aguas tratadas es igual al valor de prueba estándar (1500 Us/cm).

H1: La media de la conductividad que hay en las muestras de las aguas tratadas no es igual al valor de prueba estándar.

INTERPRETACIÓN: Con un nivel de significancia de **sig. < 0.05** se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que las medias de la concentración de STD en las cuatro muestras de aguas tratadas son diferentes.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Se logró cumplir el objetivo trazado en esta investigación, con la aplicación efectiva del sistema para remoción del arsénico de las aguas subterráneas del pozo tubular ubicado en Mochumí.

Se concluyó que este material mineral natural con alta concentración de hierro, puede ser utilizado como material absorbente para la remoción de arsénico.

Se deben realizar investigaciones más específicas en búsqueda de nuevos materiales adsorbentes naturales en nuestra Región Lambayeque.

El material mineral natural de hierro usado como adsorbente en este trabajo de investigación fue encontrado y recogido de tres minas ubicadas en nuestra Region.

La investigación determinó índices por debajo de los límites máximos permisibles de contenido de arsénico que establece el reglamento de la calidad de agua para el consumo humano, DS N° 031-2010 – SA.

Se obtuvieron resultados, donde 2 de las 4 muestras mostraron una eficiencia de remoción en porcentaje entre el 67% y 75%.

La metodología desarrollada en esta investigación experimental es simple y básica, también muy económica.

Estos resultados fueron certificados por un laboratorio de agua acreditado por INACAL.

Se obtuvieron resultados con otros métodos de análisis cuantitativos que fueron realizados en los laboratorios de la FIQIA - UNPRG, utilizando un test colorimétrico de la marca MQuant®, para determinar la concentración de arsénico, donde de después de realizar los 5 ensayos dio como resultado único estándar de 0.005 mg/L. de arsénico.

Se trabajo con zeolita como absorbente, donde el resultado de la muestra resultante informa que hay un mínimo porcentaje de remoción de arsénico e indica un 15%.

Se concluye que este proyecto de investigación debe ser el inicio de estudios más profundos y puntuales para encontrar la solución al problema del arsénico presente en la zona norte de nuestra Región.

La UNPRG, en especial nuestra facultad la FIQIA con sus novedosos laboratorios debe convertirse en el principal centro de investigación de la región Lambayeque.

CAPITULO V

RECOMENDACIONES

Se recomienda que en estos proyectos de investigación los resultados de los análisis de las muestras de aguas, deben realizarse en laboratorios certificados y acreditados por INACAL.

Se recomienda tener control y cuidado con el tiempo de contacto entre el lecho fijo (el mineral de hierro) y el agua de ingreso conteniendo el contaminante debido que por ser una adsorción física necesita de un tiempo necesario para que este fenómeno sea eficiente y lograr la mayor remoción de arsénico.

Se recomienda realizar ensayos complementarios para poder determinar eliminación de aniones o cationes también presentes en estas aguas subterráneas, esto queda demostrado en su elevada conductividad y alta cantidad de solidos totales disueltos.

Se recomiendo investigar y evaluar nuevos materiales minerales de hierro que se podrían encontrar en otras zonas de nuestra región Lambayeque o en otras regiones del Perú.

Se recomienda que deben realizarse estudios más profundos y específicos, en referencia a los minerales de hierro, teniendo como base este proyecto, en la adsorción de arsénico en agua de consumo humano.

Se recomienda escalar este proyecto piloto de investigación por tener resultados eficientes en cuanto a la remoción de arsénico utilizando materiales minerales adsorbentes propios de la región Lambayeque.

Se debe diseñar y construir filtros con este sistema de remoción desarrollado para las comunidades rurales que tienen problema de contaminación de aguas, con filtros intradomiciliarios (1 familia) y comunitarios (5 a 8 familias) y poder ayudar a estas comunidades ofreciéndoles agua de calidad apta para el consumo diario de sus pobladores.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, F. (2015). *Efecto del proceso de coagulación con sulfato férrico en la remoción de arsénico del agua de río Rímac, Aris Industrial SA, Lima-2014* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Andina (29 de abril de 2019). Lambayeque: detectan alto nivel de arsénico en pozos de Pacora.

Andina. Recuperado de: https://andina.pe/agencia/noticia-lambayeque-detectan-alto- nivel-arsenico-pozos-pacora-750031.aspx

Avilés, M.; Garrido, S.E.; Nájera, M.C. y De la Paz, J.S. (2011). Remoción de arsénico del agua de consumo humano con filtros de clavos de hierro, fibra comercial, grava y arena. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales,* *4*(1), 27-35. Recuperado de: http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1822/OT_091.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carrillo, F.R.; Soria, M.D.J.; Martínez, A.; Galindo, A.; y Picazo, N. (2014). Adsorción de Cromo y Arsénico en Óxidos de Hierro. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila,* *6*(12), 1-4. Recuperado de: http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%2012/1.pdf

Castro, U. y Mollocondo, M.N. (2015). *Aplicación tecnológica del óxido de hierro en lecho fijo para la reducción de arsénico de aguas superficiales provenientes del rio Tambo a nivel laboratorio* (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú.

Ccencho, S. (2018). *Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio – 2018* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Choquejahua, Y. (2018). *Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasas de granos de cebada (Hordeum vulgare L.) y avena (Avena sativa L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.

Cubillas, G.P. (2015). *Estudio experimental para adsorción de arsénico con lecho de arena verde mediante prueba rápida en una columna a pequeña escala (RSSCT)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Fiestas, M.S. y Millones, A.L. (2019). *Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

Goicochea, A.S. y Ruiz J.J. (2019). *Adsorción de arsénico disuelto en agua subterránea en el distrito de Mórrope (Lambayeque) utilizando residuos sólidos de café (afrecho)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

La República (29 de abril de 2019). Lambayeque: presencia de agua contaminada con arsénico persiste desde 2016 [VIDEO]. *La República*. Recuperado

ANEXOS

Figura 22

Resultado del Informe de Ensayo de Muestras Analizadas de las Aguas Subterráneas con Arsénico realizados por el Gobierno Regional de Lambayeque donde se encuentra este contaminante Arsénico.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INACAL

INFORME DE ENSAYO N° IE 1120665

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			Reservorio La Pirelda	Reservorio Tripo	Reservorio Pueblo 1 Sector 1	Reservorio Aguas Grandes	Reservorio Miramapa	-
Código Laboratorio			1120665-01	1120665-02	1120665-03	1120665-04	1120665-05	-
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	-
Descripción			Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	-
Localización de la Muestra			Distrito Tucume	Distrito Mochumi	Distrito Mochumi	Distrito de Monsefu	Distrito de Monsefu	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	0.047	<LCM	<LCM	<LCM	0.054	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	0.024	<LCM	<LCM	-
Boro (B)	mg/L	0.026	0.335	0.423	0.381	1.083	1.274	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.061	0.041	0.019	0.037	0.021	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	127.4	59.87	85.56	136.0	70.01	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Potasio (K)	mg/L	0.001	0.190	0.140	0.079	0.432	0.218	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.008	0.007	0.018	0.014	0.013	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	58.79	22.06	36.18	28.29	18.24	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.244	0.209	0.003	0.180	0.141	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.006	0.016	0.002	0.003	0.011	-
Sodio (Na)	mg/L	0.055	310.2	304.9	373.4	301.7	307.5	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Fósforo (P)	mg/L	0.034	0.186	0.172	0.055	0.083	0.125	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Azufre (S)	mg/L	0.091	162.1	127.2	102.0	146.0	140.4	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	17.57	18.87	18.46	15.53	14.81	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	1.192	0.606	1.053	1.010	0.567	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Talio (Tl)	mg/L	0.008	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.060	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	0.016	0.015	<LCM	0.020	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-

Cajamarca, 30 de Noviembre de 2020.

Página 2 de

Figura 23

Resultado de un Segundo Informe de Ensayo de Muestras Analizadas de las Aguas Subterráneas con Arsénico realizados por el Gobierno Regional de Lambayeque donde se encuentra este contaminante el Arsénico.

L&M

LABORATORIO LOAYZA MURAYARI S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-GA CON REGISTRO No LE-148

INACAL

INFORME DE ENSAYO N° 94-032021

Pág. 2 de 7

Código de Laboratorio		[illegible]
Código de Cliente		Punto 1 (Pozo 2)
Tipo de Ensayo		Agua de Pozo
Fecha de Muestreo		15/03/2021
Hora de Muestreo		05:20:00 a.m.
ENSAYOS		MICROBIOLOGICOS
Parámetro	Unidad	Resultados
Coliformes totales	NMP/100mL	4.5
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8
E. coli	NMP/100mL	<1.8
Bacterias heterotróficas	UFC/mL	12 bacterias
ENSAYOS		PARASITOLOGICOS
Parámetro	Unidad	Resultados
Helmintos y protozoarios*	N° Org/L	<1
ENSAYOS		HIDROBIOLOGICO
Parámetro	Unidad	Resultados
Organismos de vida libre*	Org/L	<1
ENSAYOS		FISICOQUIMICOS
Parámetro	Unidad	Resultados
Olor*	NLO	<1
Sabor*	NLS	<1
Color*	UC	<5
Turbidez	NTU	0.30
pH (en campo)	Unid pH	7.91
Conductividad (en campo)	µS/cm	[illegible]
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	1208.8
Fosforo (P)*	mg/L	1.345
Nitrato (NO3)*	mg/L	[illegible]
Nitrito (NO2)*	mg/L	<LCM
Bromuro (Br)*	mg/L	<LCM
Nitrato (NO3)*	mg/L	5.905
Sulfato (SO4)*	mg/L	285.40
Fosfato (PO4)*	mg/L	<LCM
Dureza Total*	mg CaCO3/L	306.40
Cianuro Total*	mg/L	<LCM
Cloro residual (Libre)*	mg/L	<0.05
Plata (Ag)*	mg/L	<LCM
Aluminio (Al)*	mg/L	<LCM
Arsénico (As)*	mg/L	0.026
Bario (Ba)*	mg/L	[illegible]
Berilio (Be)*	mg/L	0.016
Bismuto (Bi)*	mg/L	<LCM
Calcio (Ca)*	mg/L	<LCM
		71.30

Carretera Vía Evitamiento N° 7 Km. 637 L.T.F. - 02 Piso 2 - Huanchaco, Trujillo La Libertad

Celular: 948324661 - Teléfono: 044-286963

Email: laboratorioloayzam@gmail.com - web: www.laboratorioloayza.com

Código: SGC LMT-F-02/01

Versión: 02

Fecha de entrada en vigencia: 12/03/2021

N° 94-032021-MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUACHACO/LM

Figura 24

Resultados certificados del primer ensayo utilizando el sistema de tratamiento de remoción de arsénico desarrollado en el proyecto.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú

INFORME DE ENSAYO N° IE 0721558

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			0721558-01	0721558-02	0721558-03	-	-	-
Matriz			Natural	Natural	Natural	-	-	-
Descripción			Subterránea	Subterránea	Subterránea	-	-	-
Localización de la Muestra			Pozo Sector 1 Punto 2 Mashuni	Pozo Sector 1 Punto 2 Mashuni	Pozo Sector 1 Punto 2 Mashuni	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0140	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.035	0.769	0.045	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.034	0.022	0.090	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	0.365	0.369	0.380	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.036	0.036	0.049	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	92.37	135.7	146.9	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	0.002	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	<LCM	0.164	0.027	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	0.362	34.79	35.22	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0020	0.018	0.019	0.020	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0120	40.84	38.24	38.19	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	<LCM	0.008	0.010	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	0.002	0.003	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0500	425.2	369.7	376.0	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.0090	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	<LCM	0.081	0.182	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0810	119.2	118.3	124.3	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	13.01	14.86	12.23	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0020	1.226	0.526	0.631	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	0.019	<LCM	-	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-

Cajamarca, 06 de agosto de 2021

V°B° OOC

Página 2 de 3

Figura 25

Resultados certificados del segundo ensayo utilizando el sistema de tratamiento de remoción de arsénico desarrollado en el proyecto

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INACAL

INFORME DE ENSAYO N° IE 0921667

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			MD	M01	M41	M410	-	-
Código Laboratorio			0921667-01	0921667-02	0921667-03	0921667-04	-	-
Matriz			Natural	Natural	Natural	Natural	-	-
Descripción			Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea	-	-
Localización de la Muestra			[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.030	0.031	0.052	0.050	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.015	0.012	0.006	0.008	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0250	0.310	0.324	0.306	0.305	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.016	0.019	0.021	0.016	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0150	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	86.75	102.2	108.6	110.7	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	<LCM	0.025	0.165	0.063	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	0.192	3.376	4.208	3.783	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.015	0.016	0.016	0.016	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	34.11	31.97	27.98	27.61	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	<LCM	0.051	0.078	0.039	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	0.003	0.004	0.003	0.003	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	399.5	404.5	359.1	363.6	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0140	<LCM	0.113	0.162	0.157	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	131.3	137.4	130.5	132.0	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Sílice (Si)	mg/L	0.1040	11.14	11.23	10.78	10.54	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.054	0.909	0.786	0.787	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.023	0.020	0.015	0.018	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0140	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Sílice (SiO2)	mg/L	0.2228	23.83	24.02	23.02	22.55	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito se mantiene (traza)

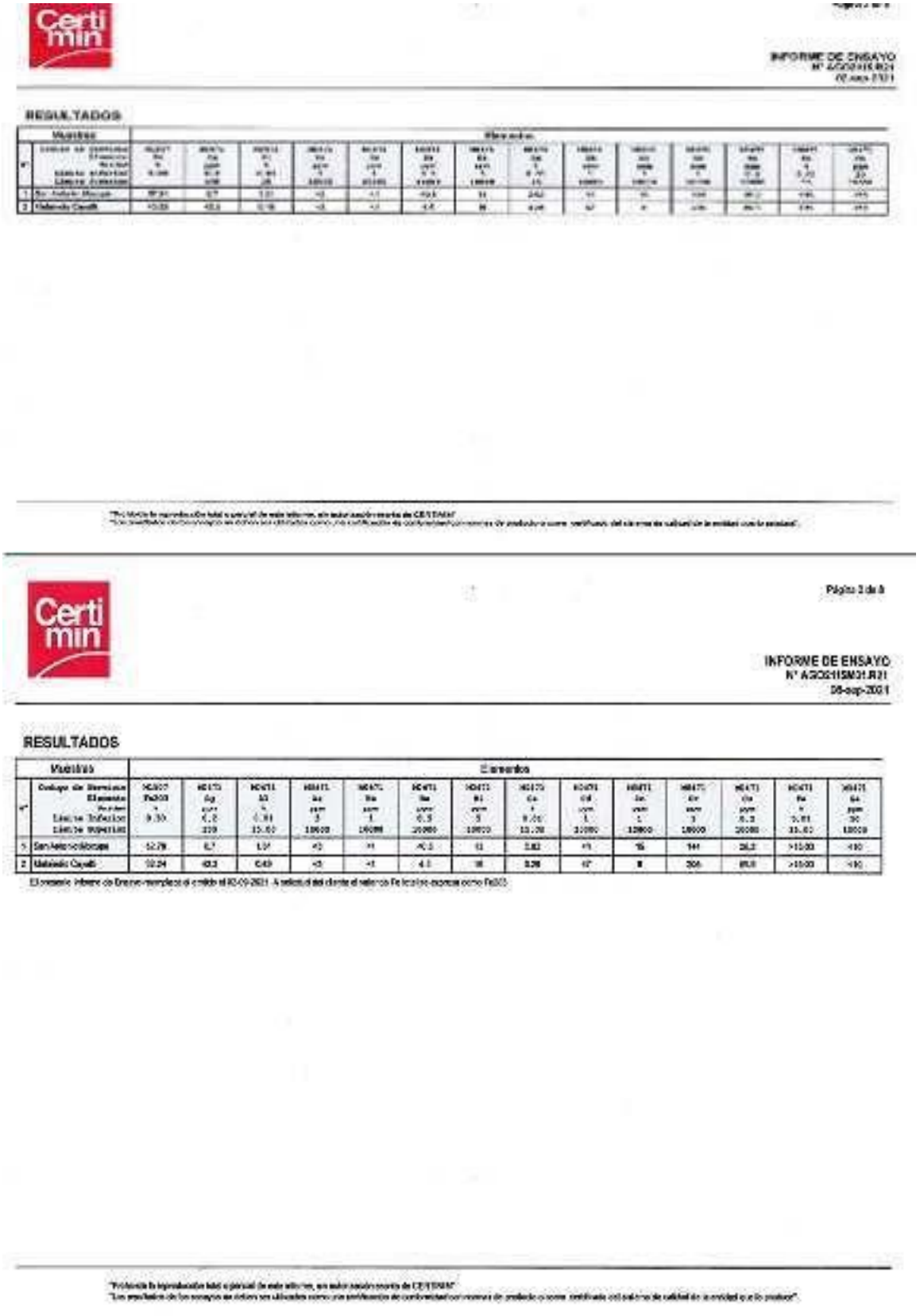
Cajamarca, 22 de septiembre de 2021

V°B° GDC

Página 2 de 3

Figura 26

Resultados certificados del análisis del mineral nativo de hierro y óxido de hierro III utilizados como adsorbente en el proyecto



Certi min

INFORME DE ENSAYO
N° AGO21ISM01.R21
06-sep-2021

RESULTADOS

Muestras	Elementos													
N°	Código de Elemento / Elemento / Unidad / Límite Inferior / Límite Superior	MS01 Fe_2O_3 % 9.30	MS01 Ag ppm 4.2 229	MS01 Al % 0.91 15.00	MS01 As ppm 3 10000	MS01 Ba ppm 1 10000	MS01 Be ppm 0.5 10000	MS01 Bi ppm 5 10000	MS01 Ca % 0.01 15.00	MS01 Cd ppm 1 10000	MS01 Co ppm 1 10000	MS01 Cr ppm 1 10000	MS01 Cu ppm 1 10000	MS01 Fe % 0.01 15.00	MS01 Ga ppm 10 10000
1	San Antonio Mayaje	12.78	6.7	1.17	<5	<1	<0.5	11	0.82	<1	16	144	26.2	>15.00	<10
2	Hidronido Cayalá	10.24	40.3	0.49	<5	<1	4.1	18	0.28	47	8	206	85.0	>15.00	<10

El presente informe de Ensayo reemplaza el emitido el 02-09-2021. A solicitud del cliente el valor de Fe lo sólo expresa como Fe_2O_3

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN"
"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad y de los productos".