



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR OXIDACIÓN SOLAR DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL CENTRO POBLADO CRUZ DE MEDANO, LAMBAYEQUE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bryan Ruben's Ramos Dávila

Asesor:

M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

A mis padres, Rubén y Zoila por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por crear una persona con valores, principios, metas, objetivos y sueños, los mismos que poco a poco verán cumplirse.

A mis hermanos, Joswar y Randy, quien se encuentra lejos; quienes con sus palabras de aliento y felicitaciones no me dejaban decaer, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

A mi Mamalila, que siempre creyó en mí y lo sigue haciendo; fue una de las mayores fuentes de energía que me brindó su apoyo incondicional en momentos difíciles.

A mis tíos Peter y Edim, que fueron unos de los pilares para ser parte de esta linda profesión, un abrazo al cielo queridos tíos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme cumplir mis objetivos trazados bajo su bendición.
A mis padres Rubén y Zoila por acompañarme en todo el proceso universitario y por
brindarme su apoyo incondicional
A mis profesores por transmitirme sus conocimientos a lo largo de mi estancia en las aulas,
que permitieron mi desarrollo profesional.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Objetivos.....	13
1.4. Hipótesis.....	13
1.5. Marco Teórico.....	14
1.5.1. Antecedentes del estudio.....	14
1.5.2. Bases teóricas.....	19
1.6. Justificación.....	28
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	30
2.1. Tipo de investigación.....	30
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	30
2.3. Materiales, instrumentos y métodos.....	31
2.4. Procedimiento.....	34
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	39
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	48
4.1. Discusión.....	48
4.2. Conclusiones.....	50
REFERENCIAS.....	51
ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo.....	32
Tabla 2. Ficha de recolección de datos.....	34
Tabla 3. Análisis del agua subterránea obtenida de C.P. Cruz de Medano y comparativo con el Limite Máximo Permisible	40
Tabla 4. Concentración final de arsénico desde el T1 al T4.....	41
Tabla 5. Concentración final de arsénico desde el T5 al T8	42
Tabla 6. Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de oxidación solar del T1 al T4.....	43
Tabla 7. Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de oxidación solar del T5 al T8	44
Tabla 8. Prueba de homogeneidad de varianzas	45
Tabla 9. Prueba de comparaciones de medias para 3 o más grupos	45
Tabla 10. Prueba de tukey para encontrar el tratamiento que tenga mayor remoción de arsénico de aguas provenientes del centro poblado Cruz del Medano	46
Tabla 11. Prueba de hipótesis para diferencias promedios entre los dos tipos de lana de acero (gramos)	46
Tabla 12. Prueba de hipótesis para diferencias promedios entre las dos diferentes concentraciones de ácido cítrico (%).....	47
Tabla 13. Prueba de hipótesis para diferencias promedios entre los dos tipos exposición solar (horas).....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio básico de oxidación solar	28
Figura 2. Mapa de los puntos de muestreo	31
Figura 3. Diagrama de bloques de la aplicación de tratamientos	36
Figura 4. Esquema de funcionamiento del método de Radiación solar.....	37
Figura 5. Comparativo con los Límites Máximos Permisibles	39
Figura 6. Concentración final de arsénico desde el T1 al T4	40
Figura 7. Concentración final de arsénico desde el T5 al T8	41
Figura 8. Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de oxidación solar del T1 al T4.....	42
Figura 9. Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de oxidación solar del T5 al T8	43

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación de la eficiencia de remoción de arsénico	38
--------------------------------------------------------------------------	----

RESUMEN

Las concentraciones de arsénico superiores a lo establecido, es considerado como un problema para la salud pública, este problema lo tiene el centro poblado Cruz de Medano, distrito de Mórrope, Provincia y departamento de Lambayeque, en donde carecen de agua potable, y en su lugar se hace uso de agua subterránea la misma que es extraída de los pozos que tienen, es por ello que este trabajo de investigación se enfocó en determinar la remoción de arsénico por oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque, utilizando alambre de hierro, ácido cítrico y la exposición a la radiación solar. La parte experimental en campo se realizó en el mismo centro poblado, encontrando una concentración inicial de 0.1154 mg As/L, en la cual, para cada tratamiento de un litro de agua recolectada, se añadió distintas cantidades y concentraciones de las variables indicadas para la reducción. Las muestras tratadas fueron preservadas y luego enviadas para el respectivo análisis al laboratorio certificado ENVIROTEST S.A.C, lográndose una reducción de 97.11% del arsénico inicial, en donde se concluye que el agua tratada con el método planteado, indica y cumple como una alternativa que puede aplicarse para la descontaminación de aguas para consumo humano en zonas con la misma problemática.

Palabras clave: arsénico, ácido cítrico, radiación solar.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La presencia de Arsénico en aguas subterráneas destinadas para consumo humano se ha convertido en uno de los problemas que afecta a poblaciones enteras de distintas partes del mundo, sobre todo en aquellas consideradas de bajo nivel económico (CIMAV, 2013). El problema radica en que, debido a factores naturales y a las mismas actividades humanas, las concentraciones de arsénico en estas aguas sobrepasan considerablemente el límite de 0.01 mg/L establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019).

Este problema se ha percibido en gran dimensión en zonas que pertenecen a países como India, China, Nepal, Vietnam, Hungría, Rumania, Taiwán, EE.UU y Bangladesh, siendo estos dos últimos donde se han dado un gran número de estudios complejos referentes al tema (Fendorf, 2009). Por otro lado, en América Latina se han observado casos muy relevantes dentro de Argentina, Chile y México; en este último país, por ejemplo, se encontró que de los 36 pozos subterráneos que abastecían de agua para consumo a la población del estado de Colima, el 80.5% tenían concentraciones de arsénico que superaban lo aceptable (Mendoza *et al.*, 2017). En países como Japón, Argentina, Nueva Zelanda, EE.UU., Dominica, Islandia, Kamchatka y Francia, el origen del problema que se da por la presencia de altas concentraciones de arsénico en el agua subterránea está directamente relacionado con procesos hidrotermales; mientras que los casos de Chile, Ghana, Tailandia y Grecia están relacionados a depósitos minerales y a la presencia de actividad minera (Lillo, 2008).

Casos como los mencionados se replican en más partes del mundo convirtiéndose en una situación potencialmente peligrosa debido a que la ingesta prolongada de arsénico a través del agua y otros medios trae consecuencias críticas en la salud humana. (Medina *et al.*,2018) manifiesta que se verían afectados varios sistemas como el digestivo, cardiovascular, inmunológico, entre otros; pero principalmente afectaciones a la piel. Esta información es avalada por el organismo científico International Agency for Research on Cancer (IARC), quien considera al arsénico como un agente cancerígeno para los humanos basándose en estudios que demuestran que el cáncer de piel está relacionado con pacientes que ingirieron arsénico a través del agua (Galetovic y Fernicola, 2003).

El Perú no es ajeno a esta problemática, diversas investigaciones han demostrado que el agua de consumo proveniente de aguas subterráneas en regiones como Apurímac, Lima, Puno, Ayacucho, Lambayeque y otras, contienen concentraciones de arsénico elevadas que pueden perjudicar a la población. Entre ellas, la Laguna Aricota ubicado en Moquegua presenta este problema que pudo haberse originado debido a que los ríos afluentes de esta laguna pasan por el volcán Yucamane lo que provoca una contaminación natural de arsénico; a pesar de ello la población de la ciudad de Ilo usa el agua de la laguna en mención para fines domésticos e industriales (ANA, 2014). En el 2012 cuando un grupo de investigadores peruanos y norteamericanos, analizaron 151 muestras provenientes de ríos, tuberías de agua potable y caños municipales de Lima, Juliaca, La Oroya y Puno, demostraron que el agua recogida directamente de las tuberías de agua potable, obtuvo 10 mg/L de concentración de arsénico, cantidad que excedía los límites de arsénico establecidos por la OMS para el agua potable (El Comercio, 2014).

En la actualidad, este problema persiste como en el caso de Lambayeque, que en el último año ha sido punto de preocupación debido a que la población del distrito de Mórrope, quienes se abastecían de agua proveniente de pozos subterráneos, venían consumiendo agua con contenido de arsénico muy por encima del límite permitido por el D.S. N° 031-2010-S.A. (Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud [CENSOPAS], 2018). Dicho informe indicaba que el gran porcentaje de pozos ubicados en el distrito en mención estaban contaminados con arsénico e incluso con plomo; ello conllevó a que en Mayo del mismo año la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) declarara en estado de emergencia a los caseríos que comprenden el distrito de Mórrope, los cuales son Arbolsol, Carrizal, Casa Blanca, Fanupe Barrio Nuevo, Lagunas, Quemazón, Santa Isabel, Tranca Fanupe, Tranca Sasape y Cruz del Medano; este último de especial consideración debido a que alberga a la gran parte de personas afectadas.(INDECI, 2018)

Posterior a ello, el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) en conjunto con las autoridades involucradas en este problema, emitieron un informe técnico que mencionaba principalmente a la distribución de agua potable a través de cisternas y la sensibilización a la población como las primeras medidas adoptadas para evitar que la población continúe expuesta a consumir agua con contenido de arsénico; adicionalmente en este informe se detalla que se tienen como opciones de solución la colocación de filtros para eliminación de arsénico en los pozos subterráneos, la construcción de una planta de tratamiento, el abastecerse de agua potable traída de Chiclayo y la extracción de agua del pozo de la Playa de San Pedro

de Mórrope, todas ellas involucran contar con un presupuesto aproximadamente de 8 millones de soles. (COEN, 2019).

Una declaratoria de emergencia se ha extendido en más de 7 oportunidades, debido a que aún no se implementa una solución para este problema de arsénico en el agua, esto debido a que a la fecha no se cuenta con el presupuesto necesario para la ejecución de proyectos que permitan dar solución a este problema; mientras tanto, la población sigue siendo abastecida de agua por camiones cisternas en determinados días, lo cual genera en la población una incomodidad que los lleva a seguir utilizando el agua de los pozos subterráneos, como es el caso del Caserío Cruz del Medano. En este lugar que cuenta con la mayor cantidad de población, se sigue empleando el agua que llega a sus caños y también del pozo antiguo que se encuentra en su plaza central, a pesar de tener conocimiento de la contaminación que existe y los efectos que tendría para su salud (COEN, 2016).

Esta problemática demanda que se apliquen con urgencia tratamientos necesarios para reducir las concentraciones de este metal en el agua; sin embargo, como se puede observar estos tienden a ser costosos y solo se aplican en determinadas zonas; por ello se plantea realizar el proyecto “Remoción de arsénico por oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque” a fin de que sea un alternativa efectiva, rápida y accesible para la población.

1.2. Formulación del problema

1.1.1. Problema General

¿Cuál es la remoción de arsénico por oxidación solar en las aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la remoción de arsénico por oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad óptima de la lana de acero para la oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque.
- Determinar la cantidad óptima de ácido cítrico para la oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque.
- Determinar la cantidad de tiempo óptima de exposición solar para la oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- La remoción de arsénico por oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque es alta.

1.4.2. Hipótesis específicos

- La cantidad óptima de la lana de acero para la oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque son 2 gramos.
- La cantidad óptima de ácido cítrico para la oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque es de 6% (1 mL).

- La cantidad óptima de tiempo en horas de exposición solar para la oxidación solar de aguas subterráneas del centro poblado Cruz del Medano, Lambayeque es de 6 horas.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Antecedentes del estudio

La presente investigación se basa en otras investigaciones realizadas sobre tratamientos para la eliminación de arsénico en el agua por oxidación solar u otras técnicas:

Fiestas y Millones (2019), investigo sobre la 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 (Perú), para ello utilizo tres concentraciones de carbón activado de cáscara de coco (2, 4 y 6 g/L) en tres tiempos (1, 2 y 3 horas). El autor concluye que el porcentaje de remoción más alto fue de 72% con la aplicación de 6 g de carbón activado por Litro de agua en 3 horas de contacto; así mismo que el factor concentración de carbón activado influye más sobre la remoción que el tiempo. Esta investigación concluye que en la zona de Mórrope existe agua subterránea con niveles altos de arsénico que necesitan de tratamientos de remoción.

Goicochea y Ruiz (2019) investigo sobre la Adsorción de arsénico disuelto en agua subterránea utilizando residuos sólidos de café (afrecho) en el distrito de Mórrope (Lambayeque, Perú), para ello aplicó 7 diferentes dosis de residuos sólidos de café previamente pasados por un tratamiento térmico, el autor

concluye que la mejor dosis para la adsorción de arsénico fue de 12 g. por litro de agua contaminada; lo cual adsorbió 0.09 mg/L equivalente al 36% del arsénico total contenido en el agua. A pesar de haber tenido valores de remoción de arsénico bajos, la optimización de este método puede traer mejor resultados. Este antecedente refleja el interés de encontrar tratamientos de remoción de arsénico accesibles para la población de Mórrope.

Campodónico (2019), realizo un estudio sobre el diagnóstico del estado de la concentración de arsénico en las aguas de consumo humano del centro poblado cruz de Medano en Mórrope (Lima, Perú), mediante el uso de recolección de datos: observación, encuesta y un análisis de espectrometría para la obtención del nivel de arsénico en el agua que es destinada para el consumo humano. La autora concluye que la población comprende la problemática, pero no asimila los distintos peligros que les pueda ocasionar; además, en el análisis que realizó, el agua presenta una concentración de 0.08 mgAs/L, la cual excede los estándares de calidad ambiental (ECA) respecto al arsénico.

Chapa (2018), realizo la investigación sobre la Oxidación Solar en la reducción de la concentración del arsénico en aguas del río Rímac – cuenca alta, de la localidad San Mateo – Huarochirí(Lima, Perú), en donde aplicó la técnica de la oxidación solar utilizando alambre de hierro, jugo de limón y un índice de radiación solar promedio de 104.28 W/m²h, el autor concluye que se logró una remoción de hasta 99.8% al aplicar 4 g de alambre de hierro y 6 mL de jugo de limón bajo un mismo índice de radiación; así mismo que si es un método eficaz para reducir arsénico y de fácil aplicación en zonas con el problema. Este

antecedente contribuye en la explicación científica del porque estos factores involucran la remoción de arsénico en aguas, información base para la presente tesis.

Cuevas y Flores (2017), realizo un estudio acerca de la Adaptación de la tecnología RAOS aplicando el calentamiento solar en las aguas del Rio Sama en la provincia de Tacna para ello. Para ello diseño y construyo un reactor tipo batch con capacidad de 14 litros con colector fotocatalítico adaptado a partir de un colector solar, utilizando así el citrato contenido en las gotas del jugo de limón para la reacción con Fe(III) en presencia de oxígeno y radiación solar. En donde el autor concluyo que la óptima remoción de arsénico fue la combinación de 16.8 mg/L de hierro, 16.8 gotas de jugo de limón y tiempo de residencia de 170 minutos, reduciendo considerablemente el arsénico de 0.37 mg/L a 0.01mg/L, cuyo valor se encuentro de acuerdo a los Limites Máximos Permisibles.

Zapana (2016), realizo el estudio de remoción de arsénico del agua del río Sama – Tacna, empleando Fe y ácido cítrico (Tacna, Perú), en donde evaluó la remoción de arsénico al aplicar diferentes concentraciones de Hierro, gotas de ácido cítrico y tiempos de residencia, el autor concluye que los mejores resultados se dieron al aplicar 1.8 mgFe/L, 0.8 gotas de ácido cítrico en un tiempo de residencia de 240 minutos, logrando remover hasta en un 96.9% de arsénico, estando los valores resultantes por debajo del límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Este antecedente contribuye a

establecer los valores de hierro, ácido cítrico y tiempos de residencia que podrían ser óptimos en la remoción de arsénico planteado en la presente tesis.

Avendaño (2013) investigó sobre la Remoción de arsénico del río Sama utilizando la metodología de hierro cerivalente (Tacna, Perú), para ello aplico diferentes cantidades de hierro (g) y limón (gotas), manteniendo constante el tiempo de radiación solar y el tiempo de sedimentación. El autor concluye que la mayor remoción, con un 98%, se logró al aplicar una gota de limón y 2 gramos de lana de acero; así mismo que el factor cantidad de lana de acero influye más en los resultados obtenidos. Este antecedente contribuye a determinar los valores de cantidad y tipo de lana de acero que serán de estudio en la presente tesis.

Chávez y Toledo (2011), realizaron una investigación sobre la Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano (Ayacucho, Perú), en donde se aplicó el método de Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS) en aguas del río Iscahuaca – Colcabamba; trabajando con los factores, alambre de hierro (2 g a 10 g) y jugo de limón (0.5 mL a 2.0 mL). El autor concluye que al aplicar 6 g de alambre de hierro y 1.3 mL de jugo de limón por litro de agua se redujo en un 88% el arsénico total bajo una irradiación solar promedio de $586\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$; así mismo que aplicar el método RAOS puede ser eficaz en las zonas rurales a nivel familiar. Este antecedente contribuye a la determinación de la metodología RAOS que se empleará en la presente tesis.

Rimachi (2009), realizó un estudio fisicoquímico de las técnicas de remoción de arsénico en agua de consumo humano (Lima, Perú), en donde realizó la comparación entre la tecnología de remoción de arsénico bajo irradiación solar (RAOS) con un método similar que emplea luz ultravioleta, para determinar cuál de las dos fuentes de energía era más eficiente; el autor concluye que se logra un 95% de remoción de arsénico al exponerlo a 4 horas de irradiación solar, siendo este la más efectiva debido a su aplicación en zonas rurales. El uso de luz ultravioleta es también efectivo, pero su obtención es más compleja. Este antecedente contribuye como base para la determinación del método RAOS que se aplicará en esta tesis.

Carranza(2015),realizo una investigación en donde se evaluaron de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano, para la cual utilizaron clavos de hierro de una pulgada a diferentes tiempos, la concentración aproximada de la muestra que fue de 1 mg/L para cada elemento, los resultados obtenido por el método RAOS para la remoción de arsénico fueron de 81.5%, concluyendo el autor que no se logró cumplir dicha normativa que dispone el País de El salvador.

Escalera y Ormachea (2010), investigo sobre la remoción de arsénico (V) asistida por oxidación UV solar en un foto-reactor tubular de sección circular (La Paz, Bolivia) evaluó la remoción de As(V) con el método RAOS en un foto-reactor tubular de sección circular para comparar con el método convencional que refiere el uso de otros recipientes, el autor concluye que éste es más rápido en cuanto a la aparición de los flóculos de complejo Fe-citrato,

a comparación de la remoción de arsénico en un tubo de vidrio sólo y en una botella PET de 2 litros, logrando remociones mayores al 98% en todos los tratamientos. Este antecedente contribuye en la construcción de la metodología RAOS más óptima para ser aplicada en Mórrope, Lambayeque.

1.5.2. Bases teóricas

Para una mejor comprensión de la investigación se desarrolló los siguientes conceptos.

1.5.2.1. Generalidades del arsénico

A. Arsénico y su presencia en el ambiente

El arsénico es un elemento clasificado como metaloide que está distribuido por toda la corteza terrestre, por ello posee propiedades de tipo metal como de no-metálico; a pesar de ello, es considerado en su mayoría como un metal. El arsénico metálico es sólido de característico color gris acero. En el medio ambiente, el arsénico se encuentra, en su mayoría mezclado con otros elementos como el azufre, el oxígeno y el cloro. Esta combinación de metales se le conoce como arsénico inorgánico; mientras que, la combinación de arsénico con carbono e hidrógeno es arsénico orgánico (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ASTRE], 2016).

Como se menciona, este metaloide está ampliamente distribuido en la tierra y su presencia puede atribuirse a la contaminación antropológica, la cual solo causa una afección, pero de manera local. En el caso de los acuíferos, se ha encontrado altos contenidos de arsénico, el cual tiene su

origen en los procesos geoquímicos y geológicos naturales de la tierra afectando a grandes áreas; entre esos procesos tenemos formaciones volcano-sedimentarias, metasedimentos con filones mineralizados, sistemas hidrotermales actuales formaciones volcánicas, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias, distritos mineros etc. (Lillo, 2018)

El arsénico que se encuentra en estas aguas naturales esta como especie disuelta, siendo su presentación más común como oxianiones con arsénico en dos diferentes estados de oxidación, arsénico trivalente [As(III)] y arsénico pentavalente [As(V)]. En menor frecuencia lo encontramos en As(0), As(-I) y As(-II). As(V) los cuales aparecen como H_3AsO_4 y sus respectivos productos de disociación que son $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ y AsO_4^{3-} . En cuanto al As(III) aparece en el compuesto H_3AsO_3 y sus respectivos productos de disociación ($H_4AsO_3^+$, $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$ y AsO_3^{3-}). Con respecto a la movilidad y dispersión del arsénico, son en el estado As(V) y As(III) los que llegan a ser muy móviles en el medio, pero es el As(III) el considerado como el más biotóxico y lábil. Esta movilidad del arsénico y por ende su estado de oxidación están principalmente controlados por el pH y las condiciones redox. Su presencia en aguas subterráneas es porque el arsénico es un elemento diferenciador de los demás por su alta sensibilidad a moverse en los valores de pH típicos estas aguas (pH 6.5 – 8.5) (Lillo, 2018).

Las actividades antropogénicas también han originado que el arsénico se presente mayor concentración en el medio (atmósfera, agua y suelo); esto

debido a que se ha usado a este metal por mucho tiempo en las industrias para fines como conservación de la madera, el control de plagas, refinación de petróleo, tratamiento antimicrobiano animal, así como en las industrias de fundición y minería. Lo perjudicial de esto es que en estos usos industriales mencionados se ha empleado al arsénico en su forma inorgánicas considerada muy tóxica. (Huanri, 2014)

Por otro lado, también se ha observado que los alimentos pueden contener formas inorgánicas (tóxicas) de arsénico por el excesivo uso e inadecuado de productos industriales e incluido pesticidas. Por mencionar un caso, es probable que a los pollos se les esté suministrando, a través de su comida, cantidades pequeñas de pesticidas inorgánicos con contenido de arsénico, todo ello para prevenir infecciones; al ingerirlo nosotros se estaría transfiriendo este contaminante a nuestro organismo. (American Academy of Pediatrics [AAP], 2019).

B. Efectos del arsénico en la salud

El arsénico de tipo inorgánico por su naturaleza es más tóxico que el arsénico orgánico; este último por ejemplo abunda en los frutos de mar y por ser menos dañinos para la salud humana, el cuerpo los elimina fácilmente; sin embargo, eso no sucede cuando se ingiere arsénico de tipo inorgánico, al contrario, si se expone por períodos prolongados a este tipo de arsénico lo que provocaría sería una intoxicación crónica (arsenicosis), produciendo efectos que si bien pueden tardar años en manifestarse llegan a ser muy fuertes; estos incluyen lesiones en la piel,

neuropatía periférica, diabetes, enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer. (OMS. 2019)

1.5.2.2. Métodos empleados en la remoción de arsénico

A. Coagulación - floculación

Esta metodología es el más usado en plantas de tratamiento de agua para uso potable y consiste en la adición de compuestos químicos que se adsorben a la superficie de las partículas sólidas que están en suspensión en el agua para posteriormente agruparse formando flóculos de un tamaño mayor, los cuales son removidos mediante precipitación o filtración. Este tratamiento tiene como factores importantes al tipo y la dosis del coagulante, pH, el tiempo de agitación, concentración de arsénico inicial y estado de oxidación, temperatura y la presencia de otros solutos inorgánicos (Francisca y Carro, 2014).

Entre los compuestos que se han usado en este tipo de tratamiento ha sido el cloruro férrico, iones férricos y calcita gruesa, logrando con ello una eliminación del 99% de As. En otros se han empleado la estequiometría, la cinética, y oxidación del arsénico con Fe (VI) (Francisca y Carro, 2014).

B. Adsorción

La adsorción es un proceso donde una sustancia contenida en una fase líquida, al entrar en contacto con la superficie de un sólido (adsorbente) queda atrapada por fuerzas físicas o químicas. Este tratamiento es de manera superficial, por lo que cuanto mayor es la superficie del

absorbente mayor será la capacidad de acumular el material contaminante. El arsénico puede ser adsorbido en la superficie de distintos adsorbentes, siendo la más efectiva la alúmina activada, la cual está compuesta de óxidos de aluminio amorfos y cristalinos aproximados a Al_2O_3 . Se puede obtener una óptima remoción de arsénico a un pH igual a 8.2. Así mismo, la alúmina activada se puede regenerar con hidróxido de sodio y luego de ser enjuagado, neutralizado con ácido sulfúrico (Benitez *et al.*, 2012).

Los factores importantes que influyen en este tratamiento son otros iones que con afinidad al medio adsorbentes como sulfatos, fluoruros, cloruros, hierro, sílice y otros; también aniones que actúan como inhibidores, el tiempo de contacto, la contaminación del adsorbente con otras partículas o materia orgánica, el pH, el estado de oxidación del arsénico, disminución de la capacidad adsorbente del medio por las regeneraciones (Benitez *et al.*, 2012).

C. Intercambio iónico

Este tratamiento elimina contaminantes inorgánicos cargados eléctricamente como el caso del arsénico, a través del empleo de resinas de tipo especial. Su funcionalidad consiste en pasar el agua a través de una serie de cordones de resina, donde se dará el intercambio de sus contaminantes cargados por iones inocuos cargados y serán depositados en la superficie de la resina. Debido a que habrá una acumulación de iones, se requiere limpiar estas resinas con una solución que permita

recargarla con nuevos iones inocuos intercambiables (Academia Nacional de Ciencias, 2007).

Con respecto a las resinas, estas pueden ser catiónicas y aniónicas. Las resinas catiónicas se usan para intercambian cationes como radion, calcio y magnesio, en donde el ión de sodio desplaza el catión del sitio de intercambio; mientras que las resinas aniónicas eliminan aniones como arsenitas o cromatos, nitratos y arsenatos y es el ión de cloruro quien desplaza el anión del sitio de intercambio. De ambos, las resinas catiónicas tienden a ser más resistentes a la contaminación que las resinas aniónicas (Academia Nacional de Ciencias, 2007).

D. Osmosis Inversa

Este tratamiento empleado en la remoción de arsénico, consiste en ejercer presión al agua de manera forzada para que pase a través de una membrana semipermeable (construidas de poliamidas o acetato de celulosa) desde un lado más concentrado (agua a tratar), hacia el lado con menor concentración (agua tratada), quedando en la membrana retenidos los iones del arsénico. La eficiencia de este tratamiento en la remoción de As puede llegar hasta un 98%. (Benitez *et al.*, 2012).

Los factores importantes que intervienen en la ósmosis inversa son la presión, temperatura, la calidad del agua cruda, presencia de agentes oxidantes como el cloro y pH. (Benitez *et al.*, 2012).

E. Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS)

El tratamiento de Remoción de Arsénico mediante Oxidación Solar (RAOS) es un método que ha sido desarrollando en países como Brasil, Chile, México, Trinidad y Tobago y otros; donde se observa considerablemente el problema de altas concentraciones de arsénico en aguas subterráneas destinadas para consumo humano. Este método, creado inicialmente por suizos, ha sido adaptado a la realidad local y su empleo consiste básicamente en almacenar agua destinado para consumo en envases de plástico para luego adicionarle trozos de alambre (hierro) y unas gotas de jugo de limón (ácido cítrico); para que al final se deje expuesta a la luz solar por una cierta cantidad de horas. Las cantidades empleadas dependerán del volumen de agua a tratar. De esta forma, el hierro y el ácido cítrico sufrirán una oxidación; el cual generará que el hierro precipite al fondo de los envases y arrastre consigo al Arsénico, para obtener el agua esta debe ser finalmente filtrada. (Ministerio de Salud de Argentina, 2012).

La efectividad de este tratamiento se ha observado en Argentina, donde se trataron aguas de origen natural provenientes de Santiago del Estero con la incorporación de sal férrica bajo irradiación solar, dando como resultados una eficiencia de remoción de arsénico de 94%. Por otra parte, en Chile (Ciudad de Concepción) se realizaron ensayos donde se adicionó al agua con contenido de arsénico, hierro (II) como reactivo y citrato proveniente del jugo de limón; así mismo, éste fue expuesto por 4

horas a la radiación solar, teniendo como resultados una remoción del 95%. Otro caso eficaz se dio en Perú, donde se trataron aguas contaminadas con una solución de hierro (sal de Mohr) y jugo de limón obteniéndose una remoción del 95% de arsénico después de cuatro horas de exposición solar (Quijada y Toledo, 2011).

En las diferentes pruebas donde se ha empleado el método RAOS se ha conseguido que éste remueva el arsénico muy cerca al 100 %, dejando al agua libre de arsénico, clara y de buen aspecto (Ministerio de Salud de Argentina, 2012); así mismo, estos resultados dan un indicio de que el método propuesto es aplicable para la descontaminación de aguas de consumo en las zonas rurales y a nivel familiar (Quijada y Toledo, 2011).

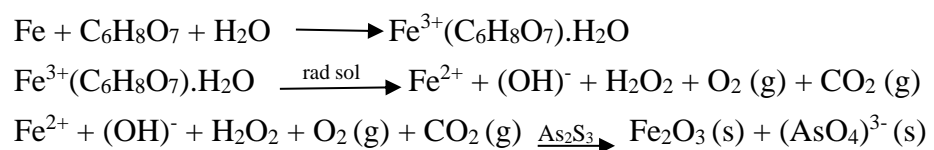
La mecánica del tratamiento empleado consiste en que el alambre de hierro al entrar en contacto con el agua se termina oxidando y atrapando al arsénico presente; como el arsénico presenta una carga negativa y el alambre de hierro una carga positiva, este atraerá al arsénico para continuamente precipitarlo; así mismo, el jugo de limón en presencia de la radiación solar ayudara a facilitar el proceso de oxidación del arsénico llevándolo a tener una mayor capacidad de adherirse a los óxidos de hierro, que luego precipitaran al fondo del recipiente. (Chapa, 2018)

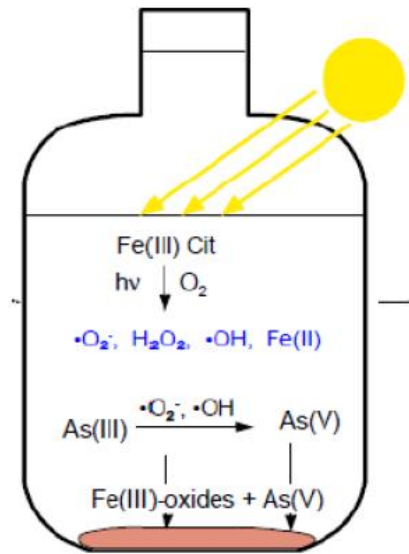
Los factores principales que intervienen en este método son el ácido cítrico, el cual es uno de los ácidos más empleados en la industria y su uso va desde la alimentación hasta la industria de los cosméticos. Este es un ácido orgánico natural obtenido principalmente de las frutas cítricas,

por acción de un hongo de nombre científico *Aspergillus niger* (Universidad de Valencia, 2016). Otro factor es el Hierro, el cual es un elemento químico metálico de característico color blanco, considerado el cuarto elemento más abundante en la tierra. El hierro en su estado puro tiende a ser muy reactivo y corrosivo, esto último sucede rápidamente cuando es expuesto al aire. Por esa razón el hierro es muy poco común encontrarlos en arroyos y ríos; por último, la radiación solar y tiempo de exposición (Sigler y Bauder, 2012).

El método de Oxidación Solar elimina el arsénico mediante dos procesos, en el primero el As (III), que solo se adsorbe débilmente al hierro (hidróxidos), se oxida al As (V) fuertemente adsorbente. En el segundo, se logra que el Fe (III) (hidróxidos) formado a partir de hierro presente se asiente en el fondo del recipiente con el As (v) adsorbido.

En este caso se dan tres reacciones la primera es, entren el hierro (alambre de hierro) y el ácido cítrico (jugo de limón), estas reaccionan y forman el citrato de hierro para luego descomponerse el hierro en ion hidróxido, en peróxido de hidrogeno, en oxido y en monóxido de carbono. El peróxido de hidrogeno es el más importante, porque este es el que va a reaccionar para descomponer al sulfuro de arsénico para formar el ion arseniato, al obtener esto precipita en forma de sal. (Chapa, 2018)





Fuente. Wegelin y Gechter (2000)

Figura 1. Principio básico de oxidación solar

1.6. Justificación

El Centro Poblado de Cruz de Médano, en Chiclayo, es una localidad que no cuenta con una planta de tratamiento de agua potable como otras ciudades; sino más bien se abastece desde hace muchos años de pozos que extraen agua subterránea y que desde el 2013, recién han pasado por un proceso único de cloración antes de ir a la red de distribución. En el 2018 este abastecimiento se vio interrumpido debido a que, a través de una investigación, determinan que este recurso tan esencial presentaba arsénico y en valores muy por encima del límite establecido en la normativa peruana y la Organización Mundial de la Salud (0.010 mg/L) convirtiéndolo en un grave problema de salud. Esta situación hasta la actualidad no ha sido resuelta del todo; por ello, ante la necesidad de buscar alternativas, recurre a la presente investigación la aplicación del método de oxidación solar para reducir la concentración de arsénico en el agua potable, con la ayuda del ácido cítrico y lana de acero añadiéndolo en botellas llenas de agua con presencia de arsénico, teniendo en cuenta que la metodología es de fácil

comprensión y que todos los materiales son de bajo costo y de fácil alcance de la población, convirtiéndolo en un tratamiento práctico desde la vivienda. De esta manera se atribuye el conocimiento científico en la remoción del arsénico en aguas.

Además, esta investigación al tratar sobre la contaminación de arsénico en aguas de consumo humano, crea conciencia respecto a lo importante que es para las personas e instituciones con competencias relacionadas al tema, y prevean con anticipación que este pueblo y todos estén recibiendo agua potable acorde a la normativa legal y que, por el contrario, no sea un peligro para la salud pública.

Por último, esta investigación puede dar inicio a la realización de otros tipos de tratamientos efectivos; así como al estudio de las causas que originan este tipo de situaciones en otras localidades del Perú.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación es experimental, puesto que se manipulará 3 variables independientes, donde se aplicarán en 8 tratamientos con distinta cantidad de insumo y tiempo de exposición solar sobre la variable dependiente, lo cual con dicho tratamiento se buscar dar una resolución de la problemática expuesta dada en el centro poblado Cruz del Medano con los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, con el fin de implementar de forma practica la técnica de solución que es el método de Radiación Solar. (Vargas, 2009)

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.1.1. Población

Toda el agua subterránea disponible en los pozos subterráneos del centro poblado de Cruz de Medano y destinados para consumo humano, ubicado en Mórrope en la provincia y departamento de Lambayeque en el mes de marzo del 2020.

2.1.2. Muestra

La muestra tiene carácter No probabilístico, por conveniencia, comprende de agua proveniente de 2 diferentes pozos ubicados en la localidad de Cruz de Medrano distrito de Mórrope, Lambayeque. Los pozos muestreados, puntos de muestreo, son: la plaza del centro poblado y la zona de distribución de agua. Por consiguiente, se extrajo 13.5 litros de agua por cada punto y se obtiene un total de 27 litros. (Otzen, 2017).

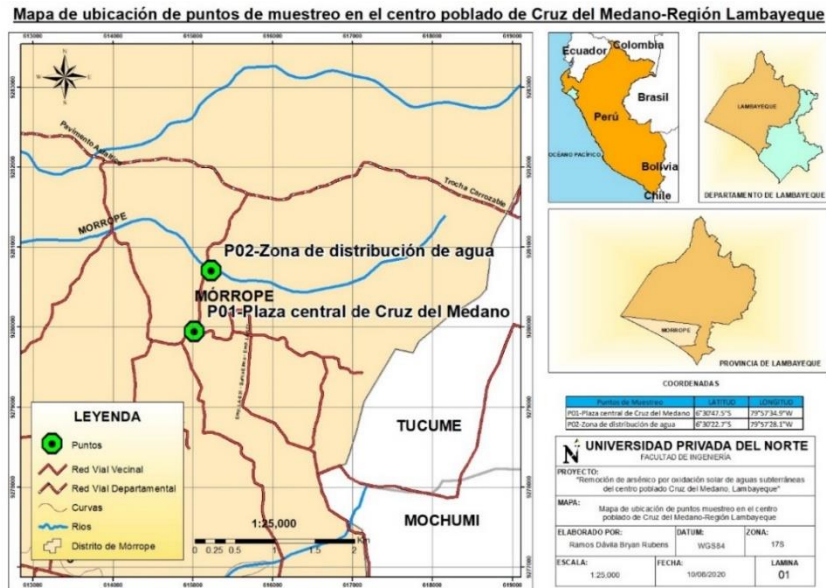


Figura 2. Mapa de los Puntos de muestreo

Tabla 1.

Coordenadas de los puntos de muestreos

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	
	X	Y
Pozo 01: Plaza central de Cruz del Médano	-6.5132	-79.9597
Pozo 02: Zona de distribución de agua	-6.5063	-79.9578

2.3. Materiales, instrumentos y métodos

2.3.1. Materiales de escritorio

- 01 Laptop HP probook 4540s
- 01 Impresora HP inalámbrica
- 01 Millar de hojas bond

2.3.2. Insumos y reactivos

- Lana de acero comercial N° 02
- Ácido Cítrico (Concentraciones de 3% y 6%)

2.3.3. Materiales de campo

- 27 Botellas de plástico transparente de capacidad de 2.5 L
- 02 Gotero de vidrio
- 01 Tela de algodón
- 03 Envase graduado de plástico de 1 L
- 01 Alicata de acero
- 01 Lija para metal N° 100
- 01 Soporte de madera para las botellas de plástico
- 02 Guantes quirúrgicos
- 01 Cooler
- 15 Ice packs

2.3.4. Equipos

- Espectrofotometría de absorción atómica con plasma de acoplamiento inductivo Modelo Agilent 720 ICP.
- Balanza analítica KERN & Sohn GmbH – versión 2.2


2.3.5. Instrumentos

A. Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos fue mediante una ficha de registro de la observación que incluye concentración de Arsénico de muestra de agua en la zona de estudio antes y después del tratamiento.

Tabla 2

Ficha de recolección de datos



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

CÓDIGO: RAOS-01

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS													
Investigación													
Especialista asesor													
Equipos y/o instrumentos										Lugar			
Fecha													
Determinación de concentraciones de arsénico en agua													
Repetición	Parámetro	Muestra inicial		Parámetro	Tratamientos aplicados								Observaciones
		T0			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
1	As inicial			As final									
2	As inicial			As final									
3	As inicial			As final									
<i>Promedio</i>													

2.3.6. Métodos

A. Análisis Físico- Químicos

Arsénico: Determinación de Metales y Oligoelementos en el Agua y en los Residuos por Plasma Acoplado Inductivamente - Espectrometría de Emisión Atómica, Método EPA 200.7; Rev. 4.4., 1994.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en el centro poblado de Cruz de Médano de la región de Lambayeque, en base a las siguientes consideraciones:

- Las aguas subterráneas del centro poblado cuyas aguas subterráneas presentaban concentraciones de arsénico superior al valor máximo admisible de 0.01 mg/L recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1993).
- Clima cálido, altos niveles de irradiación solar, aproximadamente entre 5 y 6 kW h/m².
- Interés de la población en conocer métodos alternativos para tratar las aguas contaminadas por arsénico.

2.4.2. Preparación de los insumos y materiales

Para la cantidad y concentración de insumos se estableció un rango de cantidad de Lana de acero (alambres de hierro) y de ácido cítrico a utilizar, colocados en el diseño de la presente investigación de acuerdo a Avendaño (2013).

- Se preparó dos concentraciones de 3 mg/L y 6 mg/L de ácido cítrico a partir de una concentración de 1000 mg/L de ácido cítrico, de las cuales utilizamos 1 mL.
- Se pesaron 1 y 2 gramos de lana de acero.
- En una zona despejada, se adecuó el soporte de madera para colocar las botellas de plástico con el agua a tratar.

2.4.3. Recolección de la muestra inicial

Para la recolección de la muestra inicial, se procedió a recolectar la muestra de agua de los 2 diferentes pozos, en donde se extrajo 13.5 litros de cada pozo juntando ambas cantidades; así se realizó una muestra compuesta de 27 litros para los 9 tratamientos, se utilizó 3 litros para el Tratamiento 0 (blanco), de las cuales se utilizó 500 mL para cada una de las repeticiones, sin añadir ningún insumo. Para la preservación, se añadió a cada uno, 3 mL de ácido nítrico concentrado y fue enviado en un cooler refrigerado al laboratorio ENVIROTEST (Environmental Testing Laboratory S.A.C) para su respectivo análisis de cantidad de arsénico inicial. (DIGESA, 2007)

2.4.4. Aplicación de los tratamientos

De acuerdo al diseño de la investigación se procedió a establecer los tratamientos de la siguiente manera.

En cada botella de plástico de 2.5 L se aplicó una cantidad de lana de acero y ácido cítrico y se dejó reposando de manera inclinada sobre el soporte de madera. Trascorrido las 3 primeras horas de exposición solar, se retiraron las botellas de agua que contenían los tratamientos T₁, T₃, T₅ Y T₇; al pasar las 6 horas se retiraron las botellas con los tratamientos T₂, T₄, T₆ Y T₈.

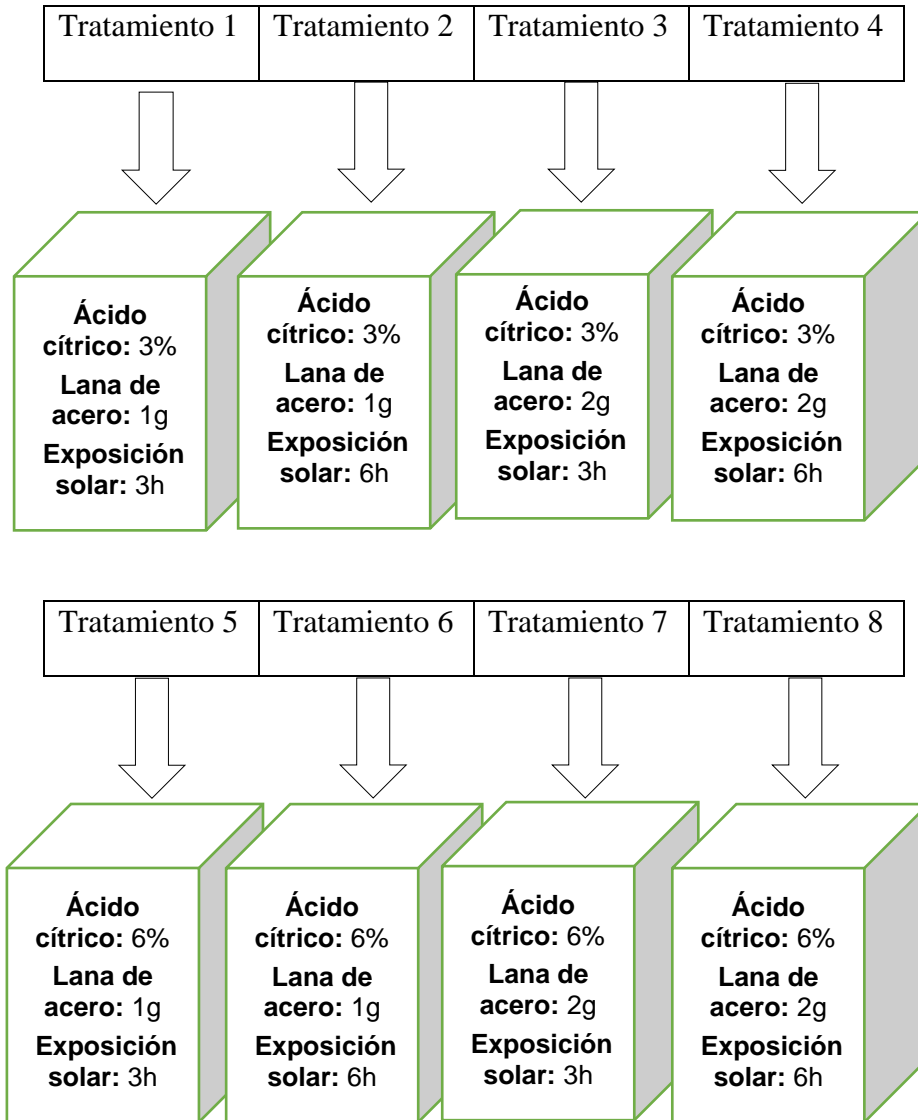


Figura 3. Diagrama de bloques de la aplicación de tratamientos

En la figura 3 se muestra el esquema de funcionamiento del método de Radiación Solar conformado por botellas de PET de 2.5 L y un soporte de madera con un ángulo de inclinación de 30°. Mediante este sistema habrá una reacción química con el ácido cítrico, la lana de acero y con el arsénico presente en el agua, se aprovechará el tiempo que estará frente a la radiación solar para optimizar la remoción de arsénico.

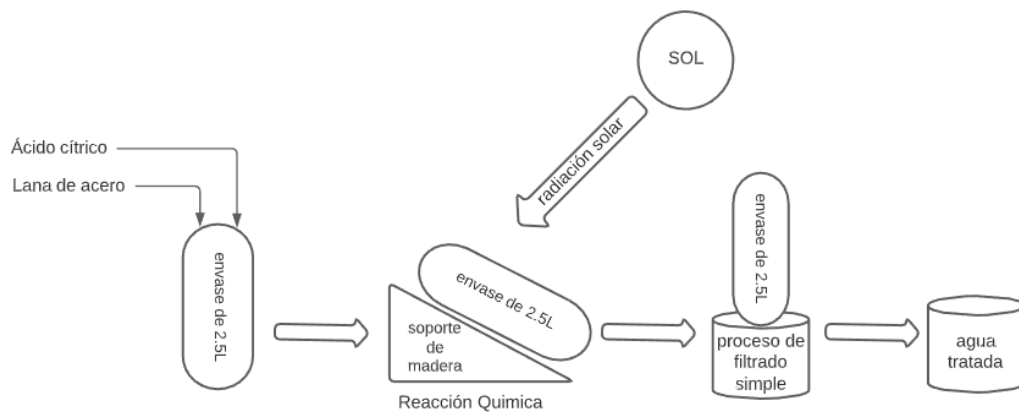


Figura 4. Esquema de funcionamiento del método de Radiación Solar

2.4.5. Recolección de las muestras de agua tratada

Todas las muestras fueron retiradas y colocadas en posición vertical dentro de la vivienda. Al día siguiente fueron filtradas, acondicionadas y traspasadas hacia el frasco, llenando solo 500 mL y añadiendo a cada uno 3 mL de ácido nítrico concentrado para su preservación; fueron enviados en un cooler refrigerado al laboratorio ENVIROTEST (Environmental Testing Laboratory S.A.C) para su respectivo análisis de arsénico residual. (DIGESA, 2007)

2.4.6. Análisis de datos

Con los resultados obtenidos de la concentración de arsénico que contenían el agua antes y después de la aplicación de los tratamientos se determinó el porcentaje de remoción del arsénico total en función al tiempo de exposición solar, a través de la siguiente fórmula:

$$E = \frac{T_0 - T_n}{T_0} \times 100 \quad (\text{ecuación 1})$$

En la ecuación 1, se determinará la eficiencia de la remoción de arsénico.

Donde:

E: Eficiencia de remoción del arsénico [%]

T_n: Concentración de arsénico tras aplicación de tratamiento n.

T₀: Concentración de arsénico inicial (sin ningún tratamiento)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Análisis de datos

Tabla 3

Análisis de arsénico del agua subterránea obtenida del centro poblado Cruz de Medano y comparativo con el Límites Máximos Permisibles.

Tipo de agua	Parámetro	Unidad	Concentración	Límites Máximos Permisibles
Agua Subterránea	Arsénico	mg/L	0.1154	0.01

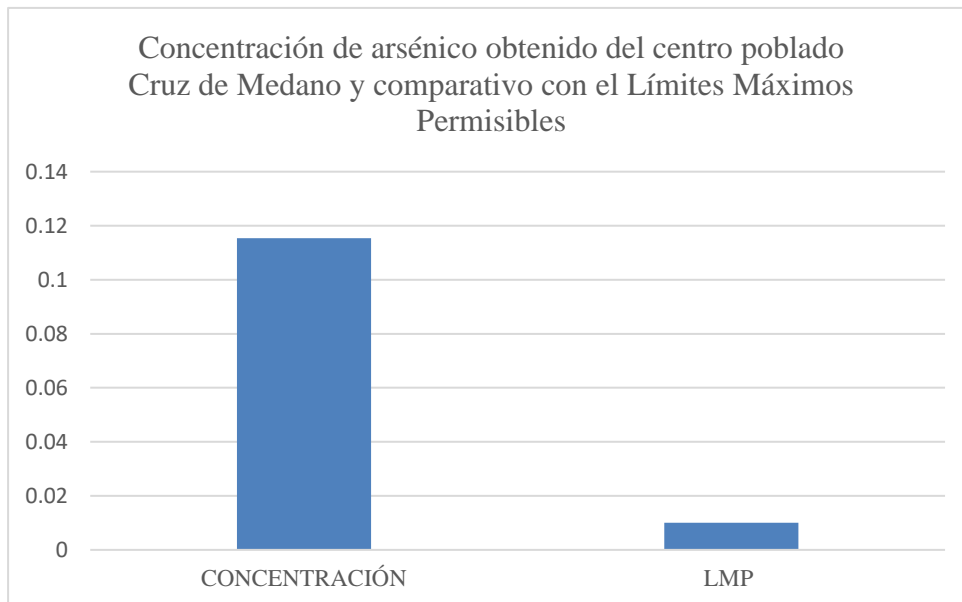


Figura 5. Comparativo con los Límites Máximos Permisibles

En la figura 5 se observa que la concentración de arsénico inicial, posee un valor por encima del 0.1 mg As/L, en donde se encuentra por encima del límite máximo permisible (Ver tabla 3) que establece el Decreto Supremo N° 031-2010-SA que es 0.01 mg As/L.

Tabla 4

Concentración final de arsénico desde el T1 al T4

Tratamientos	Variables			Concentración inicial de arsénico (mg/L)	Concentración final de arsénico (mg/L)
	Ácido cítrico (%)	Lana de acero (g)	Exposición solar (h)		
T1	3	1	3	0.1154	0.087
T2	3	1	6		0.029
T3	3	2	3		0.070
T4	3	2	6		0.022

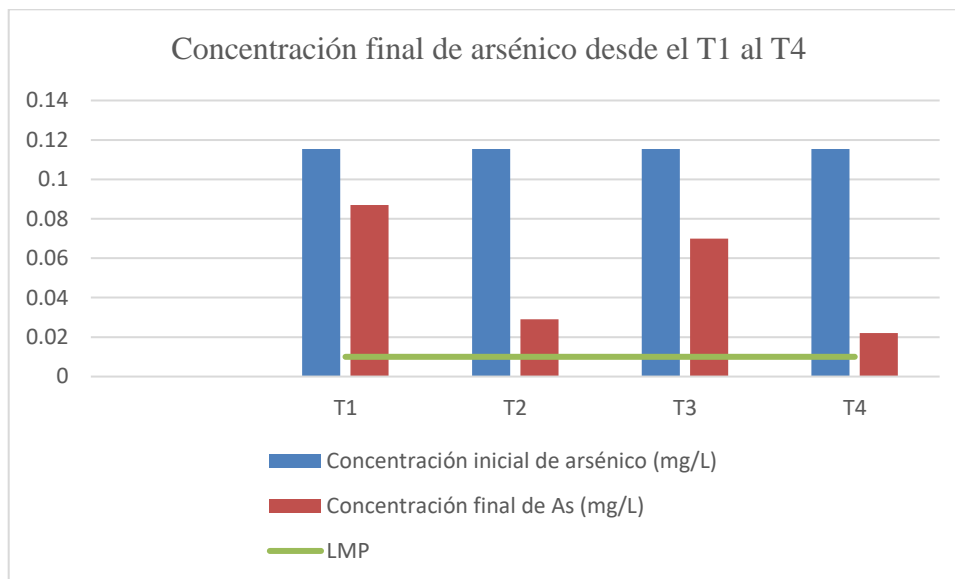


Figura 6. Concentración final de arsénico desde el T1 al T4

En la figura 6, se puede observar la reducción con respecto a la concentración inicial, donde el T2 y T4 poseen mayor reducción, pero aún se encuentra por encima del límite máximo permisible.

Tabla 5

Concentración final de arsénico desde el T5 al T8

Tratamientos	Variables			Concentración inicial de arsénico (mg/L)	Concentración final de arsénico (mg/L)
	Ácido cítrico (%)	Lana de acero (g)	Exposición solar (h)		
T5	6	1	3	0.1154	0.062
T6	6	1	6		0.009
T7	6	2	3		0.051
T8	6	2	6		0.003

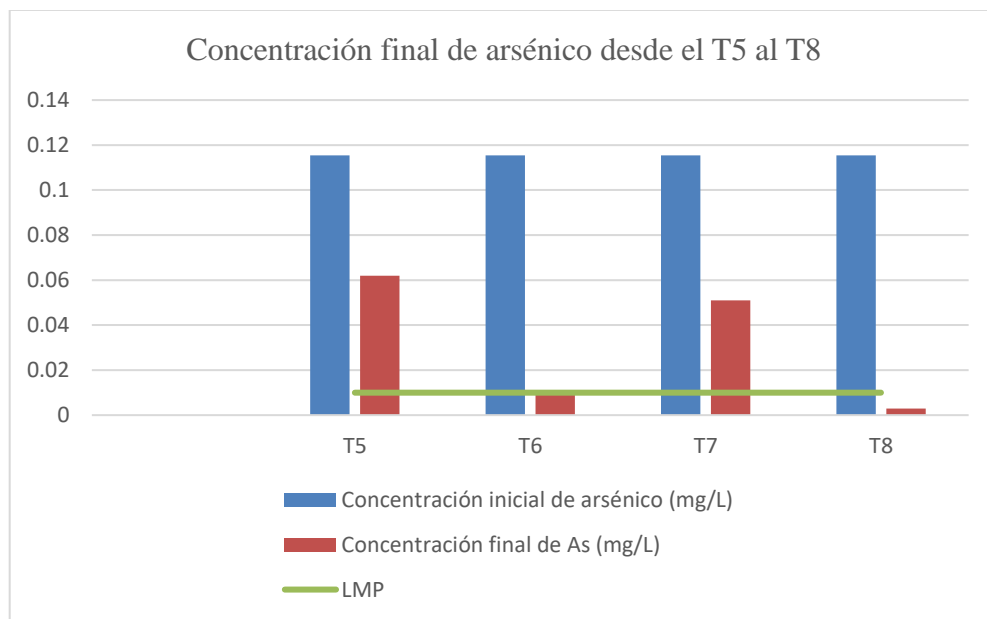


Figura 7. Concentración final de arsénico desde el T5 al T8

En la figura 7, se puede observar la reducción con respecto a la concentración inicial, donde el T6 y T8 poseen mayor reducción, dando cumplimiento al DS N° 031-2010-SA y encontrándose por debajo del límite máximo permisible.

Tabla 6

Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de Oxidación Solar del T1 al T4.

Tratamientos	Variables			% Remoción de arsénico
	Ácido cítrico (%)	Lana de acero (g)	Exposición solar (h)	
T1	3	1	3	24.90%
T2	3	1	6	75.16%
T3	3	2	3	39.05%
T4	3	2	6	80.65%

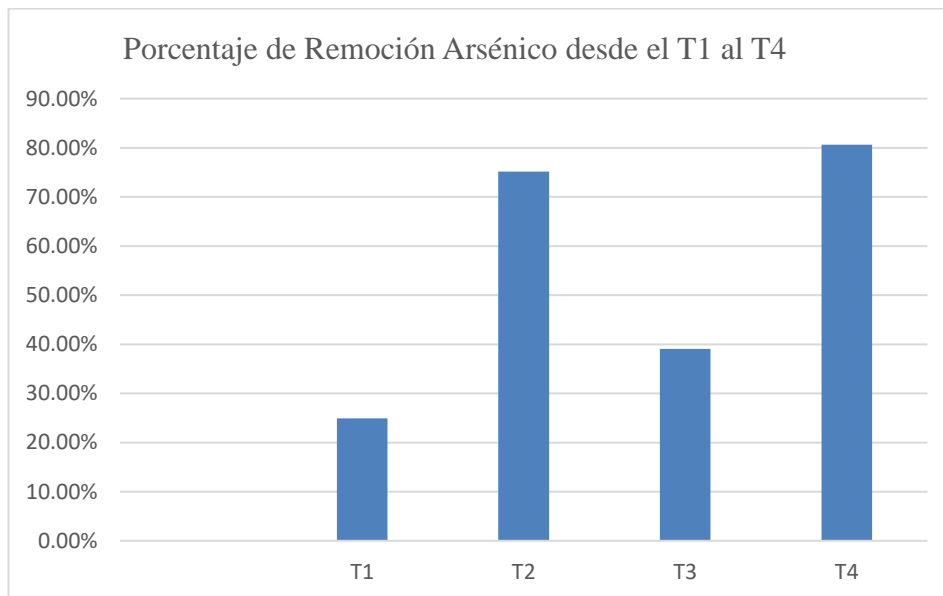


Figura 8. Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de Oxidación Solar del T1 al T4.

En la figura 8, se puede observar el resultado de la eficiencia de remoción de arsénico dado en porcentaje, en donde los Tratamientos 2 y 4 presentan una mayor remoción con 75.16% y 80.65%; los tratamientos 1 y 3 la menor con un 24.90% y 39.05%.

Tabla 7

Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de Oxidación Solar del T5 al T8.

Tratamientos	Variables			% Remoción de arsénico
	Ácido cítrico (%)	Lana de acero (g)	Exposición solar (h)	
T5	6	1	3	45.98%
T6	6	1	6	92.49%
T7	6	2	3	55.52%
T8	6	2	6	97.11%

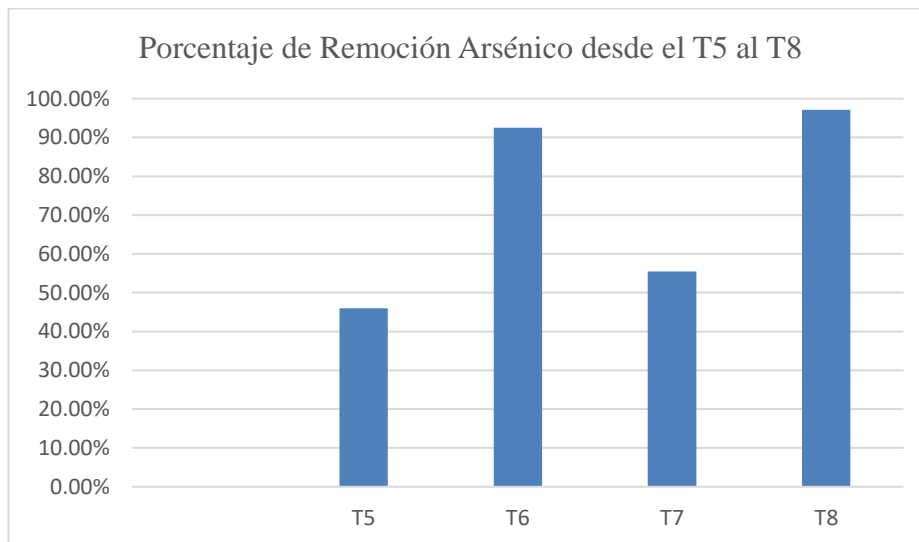


Figura 9. Porcentaje de remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de Oxidación Solar del T5 al T8.

En la figura 9, se puede observar el resultado de la eficiencia de remoción de arsénico dado en porcentaje, en donde los Tratamientos 6 y 8 presentan una mayor remoción con 92.49% y 97.11%; los tratamientos 5 y 7 la menor con un 45.98% y 55.52%.

3.2 Análisis estadístico

Objetivo General

Supuesto para la aplicación del método de la ANOVA

Tabla 8

Prueba de homogeneidad de varianzas.

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Concentración final de arsénico (mg/L)	Se basa en la media	0.250	7	16	0.965
	Se basa en la mediana	0.125	7	16	0.995
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.125	7	16	0.995
	Se basa en la media recortada	0.240	7	16	0.969

Como se puede observar en la tabla 8, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas (p-valor: $0.965 > 0.05$).

Tabla 9

Prueba de comparaciones de medias para 3 o más grupos.

ANOVA					
Concentración final de arsénico (mg/L)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.016	7	0.002	5605.471	0.000
Dentro de grupos	0.000	16	0.000		
Total	0.016	23			

Como se puede observar en la tabla 9, Sí existe diferencias significativas entre los tratamientos de remoción de arsénico de aguas provenientes del centro poblado Cruz del Medano (p-valor: $0.000 < 0.05$).

Tabla 10

Prueba de tukey para encontrar el tratamiento que tenga mayor remoción de arsénico de aguas provenientes del centro poblado Cruz del Medano.

		Concentración final de arsénico (mg/L)							
		Subconjunto para Alfa = 0.05							
Tratamientos	N	1	2	3	4	5	6	7	8
T8	3	0.00333							
T6	3		0.00900						
T4	3			0.02233					
T2	3				0.02867				
T7	3					0.05133			
T3	3						0.05667		
T5	3							0.06833	
T1	3								0.07867
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Como se puede observar en la Tabla 10, es el Tratamiento 8, que ha generado mayor remoción de arsénico de aguas provenientes del Centro poblado de Cruz del Medano, Lambayeque.

Objetivo específico 1

Tabla 11

Prueba de hipótesis para diferencias promedios entre los dos tipos de lana de acero (gramos)

	t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior
Concentración final de arsénico (mg/L)	1.181	22	0.250	-0.009636	0.035136
Se asumen varianzas iguales					

Como se puede observar en la tabla 11, no existen diferencias entre los tipos de lana de acero (Gramos) según las remociones de arsénico de aguas provenientes del Centro poblado de Cruz del Medano, Lambayeque. (p-valor: $0.25 > 0.05$)

Objetivo específico 2

Tabla 12

Prueba de hipótesis para diferencias promedios entre las dos concentraciones de ácido cítrico (%)

		t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración final de arsénico (mg/L)	Se asumen varianzas iguales	1.264	22	0.220	-0.008707	0.035874

Como se puede observar en la tabla 12, no existen diferencias entre las distintas concentraciones de ácido cítrico (%) según las remociones de arsénico de aguas provenientes del Centro poblado de Cruz del Medano, Lambayeque. (p-valor: $0.220 > 0.05$)

Objetivo específica 3

Tabla 13

Prueba de hipótesis para diferencias promedios entre los dos tipos exposición solar (horas)

		t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración final de arsénico (mg/L)	Se asumen varianzas iguales	10.839	22	0.000	0.038748	0.057085

Como se puede observar en la tabla 13, Sí existen diferencias entre los tipos de exposición solar (horas) según las remociones de arsénico de aguas provenientes del Centro poblado de Cruz del Medano, Lambayeque. (p-valor: $0.000 < 0.05$).

Siendo el tiempo de exposición solar de 6 horas, el tiempo que realiza mayor remoción de arsénico de aguas provenientes del Centro poblado de Cruz del Medano, Lambayeque.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la tabla 3 se puede observar los resultados obtenidos en el análisis de arsénico inicial realizado a la muestra estudiada (agua subterránea). Esta muestra una concentración de arsénico de 0.1154 mg As/L de agua; este último valor sobrepasa el Límite Máximo Permisible de Parámetros Químicos Inorgánicos y Orgánicos (arsénico 0.01 mg/L) establecido en el D.S. N° 031-2010-SA: Reglamento Nacional de Calidad de Agua, en el cual están los requisitos necesarios para que el agua pueda ser considerada apta para el consumo humano; y al igual que la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el incumplimiento de estas disposiciones no garantiza la inocuidad, genera riesgos sanitarios y atenta contra la protección de la salud y bienestar de la población; situación que en la actualidad se ve reflejada en la zona de estudio. Además, los resultados de los análisis obtenidos, concuerdan con lo expuesto por los autores Fiestas y Millones (2019), Goicochea y Ruiz (2019) y Campodónico (2019), quienes en sus investigaciones sobre el nivel de arsénico en las aguas de consumo humano del centro poblado cruz de Médano en Mórrope, obtuvieron valores muy cercanos, como 0.11 mg As/L, 0.25 mg As/L y 0.064 mg As/L respectivamente.

En la Tabla 4 y 5, se detalla los resultados obtenidos de la remoción de arsénico al aplicar los tratamientos de oxidación solar donde se variaron los factores de concentración de ácido cítrico, cantidad de Lana de acero y tiempo de exposición solar. Se puede observar que el mejor tratamiento (T8) logró remover el 97.11% de arsénico (véase tabla 7), tras aplicar una concentración del 6% de ácido cítrico (1 mL), 2 gramos de lana de acero, en un tiempo de exposición solar de 6 horas continuas. En otro de los

tratamientos que resulto más efectivo (T6) con una remoción del 92.49% se empleó 6% ácido cítrico, 1 gramo de lana de acero, en un tiempo de exposición de 6 horas; en ambos casos la concentración final de arsénico en el agua (0.003 mg As/L y 0.009 mg As/L) está por debajo del Límite Máximo Permisible para Arsénico dado por el D.S. N° 031-2010-SA: Reglamento Nacional de Calidad de Agua (Anexo III), como se puede observar en la figura 6. Esto concuerda con Avendaño (2013) quien en su investigación también aplicó 2 gramos de lana de acero en un tiempo de exposición de 6 horas, obteniendo un 98% de remoción. Al respecto, el autor manifiesta que la variable radiación solar (cantidad y tiempo) influye significativamente, debido a que activa la formación de radicales y favorece la principalmente la oxidación del hierro cero valente y la formación de hidróxidos en presencia de citrato para la adsorción del arsénico.

Por otro lado, Zapana también en su investigación obtuvo una mayor remoción al emplear 1.6 gramos de lana de acero, cantidad cercana a la usada en este proyecto, sobre ello manifiesta que la lana de acero responsable del proceso de oxidación retiene al arsénico, además su empleo significa una gran ventaja debido a que es de bajo costo, de fácil acceso y a su importante relación área/volumen. Además, este insumo, responsable de la oxidación, tiene como antecedentes de uso los filtros de purificación de agua.

Con respecto al ácido cítrico, se puede observar que los mejores resultados se obtuvieron con la concentración máxima planteada (6 %); sin embargo, Chávez y Toledo (2011) manifiestan que si bien esta variable actúa como catalizador en la oxidación del arsénico; el exceso de ácido cítrico puede interferir en el proceso de remoción, además de afectar la calidad del agua, como cambios en la coloración (tonalidad amarillenta) producto de la oxidación y un aumento en los sólidos en suspensión. En la experimentación no se observó ninguna de las dos últimas situaciones mencionadas.

4.2. Conclusiones

- La remoción de arsénico, tuvo una alta eficiencia, obteniéndose valores mayores del 92 % y 97 %, estos resultados indican que la metodología por oxidación solar es factible por costo, eficiencia y simplicidad.
- La cantidad de lana de acero que logro mayor remoción en la aplicación del método por oxidación solar, de las muestras analizadas de agua del centro poblado Cruz de Medano, Lambayeque, fue de 2 gramos, llegando a obtener valores por debajo del 0,01 mg As/L.
- La cantidad de ácido cítrico que logro mayor remoción en la aplicación de la oxidación solar de las muestras analizadas de agua del centro poblado Cruz de Medano, Lambayeque es de 1 mL aplicando el del 6%, llegando a obtener valores por debajo del 0,01 mg As/L.
- El tiempo óptimo de exposición solar de las muestras analizadas de agua del centro poblado Cruz de Medano, Lambayeque, fue de 6 horas, dando el mínimo con 75.16% y el máximo de 97.11%, registrándose este último con una concentración final de arsénico del 0.003 mg As/L.

REFERENCIAS

- Campodónico, M. (2019). *diagnóstico del estado actual de la concentración de arsénico en las aguas de consumo humano del centro poblado Cruz del Medano en Mórrope*. Lambayeque, Perú.
- Carranza, F. (2015). *Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano*. San Salvador, El Salvador.
- Chávez, M., Toledo, M. (2011). *Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano*. Apurímac, Perú.
- Córdova, L. (2013). *Desinfección y remoción de arsénico del agua por fotocatalisis heterogénea*. Chihuahua, México.
- Cuevas, N., Flores, N. (2017). *Adaptación de la tecnología RAOS aplicando el calentamiento solar en las aguas del rio Sama*. Tacna, Perú.
- Fiestas, M., Millones, A. (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*. Lambayeque, Perú.
- Goicochea, A., Ruiz, J. (2019). *Adsorción de arsénico disuelto en aguas subterránea en el distrito de Mórrope (Lambayeque) utilizando residuos sólidos de café (afrecho)*. Lambayeque, Perú.
- Litter, M. (2004). *Reporte de los resultados finales del proyecto Avances en tecnologías económicas solares para desinfección, descontaminación y remoción de arsénico (métodos FH y RAOS) en aguas de comunidades rurales de América Latina y el caribe*. Buenos aires, Argentina.

Llerin Chapa, T. (2018). *Oxidación solar en la reducción de la concentración del Arsénico en aguas del río Rímac- cuenca alta, de la localidad san Mateo- Huarochirí.*

Lima, Perú

Ministerio de salud (MINSA, 2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.* Lima, Perú

OMS. (1998). *Guías para la calidad del agua potable.* Ginebra, Suiza.

Rangel, E., Montañez, L. (2015). *Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos.* Coahuila, México.

Rimachi, C. (2009). *Estudio Físico Químico de las técnicas de remoción de arsénico en agua de consumo humano.* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Zapana, R. (2016). *estudio de remoción de arsénico del agua del río sama - Tacna, empleando Fe^{0} y ácido cítrico.* Tacna, Perú

ANEXOS

ANEXO 1. Ficha de recolección de datos

CÓDIGO: RAOS-01

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Investigación *REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR OXIDACIÓN SOLAR DE AGUAS SUBTERRANEAS DEL C.P. CRUZ DE MEDANO, LAMBAYEQUE*

Especialista asesor *BRYAN RAMOS DÁVILA*

Equipos y/o instrumentos *ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA* Lugar *Centro Poblado Cruz de Medano*

Fecha *26/02/21*

Determinación de concentraciones de arsénico en agua

Repetición	Parámetro	Muestra inicial T0	Parámetro	Tratamientos aplicados								Observaciones
				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
1	As inicial	0.1154	As final	0.087	0.028	0.010	0.022	0.065	0.008	0.051	0.003	NINGUNA
2	As inicial	0.1154	As final	0.087	0.029	0.011	0.023	0.062	0.009	0.052	0.004	NINGUNA
3	As inicial	0.1154	As final	0.086	0.028	0.010	0.022	0.062	0.008	0.051	0.003	NINGUNA
Promedio		0.1154		0.087	0.029	0.010	0.022	0.062	0.009	0.051	0.003	NINGUNA

ANEXO 2. Pesaje de la lana de acero



CONSTANCIA – PESO DE LANA DE ACERO

Balanza analítica KERN & Sohn GmbH – versión 2.2

PROCEDIMIENTO:

NIVELACION DE LA BALANZA

Verificar que la burbuja de aire en el indicador de nivel se encuentre centrada dentro del círculo

MANEJO DE LA BALANZA

Se enciende la balanza, esperar a que se estabilice y esperar a que el indicador de peso marque cero. Tara la balanza hasta que la lectura marque cero.

Colocamos la lana de Acero en el recipiente en el cual se va pesar, después de haber realizado los anteriores paso con seguridad. La máquina se pesara en unidades "g".

Retirar cuidadosamente el recipiente y limpiar con un pincel los platos de la balanza para seguir pesando.

I. RESULTADOS

Fecha	Repeticiones de Pesos	Unidad de medida	Medición de la lana
22-02-21	Peso #1	g	1
22-02-21	Peso #2	g	2

**La balanza sirve para determinar el peso de material de pesaje. Esta balanza ha sido diseñada como „balanza no automática”, es decir que el material de pesaje se tiene que colocar de manera manual y cuidadosa en el centro del platillo de pesaje. En cuanto se obtenga un valor de pesaje estable, se puede proceder a leer el valor indicado por la balanza.*

Atentamente;

Francisco Rongel.
Supervisor de Laboratorio

ANEXO 3. Resultados de la remoción de arsénico al aplicar el tratamiento de Oxidación Solar



**INFORME DE ENSAYO N° 212346
CON VALOR OFICIAL**

Nombre del cliente : BRYAN RUBEN'S RAMOS DÁVILA
Dirección : Calle Las Begonias 140, Urbanización Los Vifedos, comas
Solicitado por : Bryan Ruben's Ramos Dávila
Referencia : Proyecto de Tesis
Proyecto : Tratamiento de Agua
Procedencia : Lambayeque
Muestreo Realizado por : Muestreado por el cliente
Cantidad de Muestra : 27 muestras
Producto : Agua Subterránea
Fecha de Recepción : 28/02/2021
Fecha de Ensayo : 01/03/2021
Fecha de Emisión : 12/03/2021

La muestra fue recepcionadas en buenas condiciones

I. RESULTADOS

Código de laboratorio		212346-1		212346-2		212346-3	
Código de cliente		T0-R1		T0-R2		T0-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		27/02/21 - 09:00		27/02/21 - 09:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.1154	0.1154	0.1154	0.1154
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo.

Código de laboratorio		212346-4		212346-5		212346-6	
Código de cliente		T1-R1		T1-R2		T1-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.087	0.087	0.086	0.086
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-7		212346-8		212346-9	
Código de cliente		T2-R1		T2-R2		T2-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.028	0.029	0.029	0.029
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-10		212346-11		212346-12	
Código de cliente		T3 -R1		T3-R2		T3-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		Fecha y hora de muestreo		Fecha y hora de muestreo	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.070	0.071	0.070	0.070
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<=" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-13		212346-14		212346-15	
Código de cliente		T4 -R1		T4-R2		T4-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6°30' 47.5" S Long: 79°57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		Fecha y hora de muestreo		Fecha y hora de muestreo	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.022	0.023	0.022	0.022
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<=" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-16		212346-17		212346-18	
Código de cliente		T5-R1		T5-R2		T5-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.063	0.062	0.062	0.062
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-19		212346-20		212346-21	
Código de cliente		T6-R1		T6-R2		T6-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.009	0.009	0.008	0.008
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-22		212346-23		212346-24	
Código de cliente		T7-R1		T7-R2		T7-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.051	0.052	0.051	0.051
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

Código de laboratorio		212346-25		212346-26		212346-27	
Código de cliente		T8-R1		T8-R2		T8-R3	
Coordenadas		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W		Lat: 6° 30' 22.7" S Long: 79° 57' 28.1" W Lat: 6° 30' 47.5" S Long: 79° 57' 34.9" W	
Descripción de procedencia de la muestra		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua		Plaza central de cruz de Médano\EPS distribución de agua	
Tipo de Ensayo		Fecha y hora de muestreo		28/02/21 - 07:00		28/02/21 - 07:00	
Metales totales (ICP-AES)		Unidad	L.D.M	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Ag	Plata	mg/L	0.0014	---	---	---	---
Al	Aluminio	mg/L	0.0077	---	---	---	---
As	Arsénico	mg/L	0.001	0.003	0.004	0.003	0.003
B	Boro	mg/L	0.0012	---	---	---	---
Ba	Bario	mg/L	0.0004	---	---	---	---
Be	Berilio	mg/L	0.0002	---	---	---	---
Ca	Calcio	mg/L	0.0035	---	---	---	---
Cd	Cadmio	mg/L	0.00005	---	---	---	---

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango de trabajo

ANEXO 4. Reglamento Nacional de Calidad de Agua D.S. N° 031-2010-SA

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE
CALIDAD ORGANOLÉPTICA**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
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 (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero


UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS**

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F ⁻ L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

ANEXO 5. Matriz de Variables

Operacionalización de Variables

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	VALOR	
 “Remoción de arsenico por Oxidación solar de aguas subterranas del Centro Poblado Cruz del Medano, Lambayeque”	Variables Independientes	Peso de Lana de Acero	Es un conjunto de hebras conformadas por pequeños y blandos hilos de acero.	Cantidad de lana de acero aplicada	Masa	g	Cantidades de 1 g y 2 g
		Concentraci3n de 3cido C3trico	Es un 3cido org3nico, generado principalmente en frutos c3tricos y otras formas de vida. Ampliamente empleado en la industria debido a su biodegradabilidad, facil solubilidad en el agua y bajo nivel de toxicidad.	Porcentaje de 3cido c3trico aplicado	Porcentaje	%	Concentraciones de 1% y 2%
		Tiempo de exposici3n solar	Es el tiempo requerido de exposici3n a radiaci3n solar, la cual es una energ3a que se transfiere hacia distintas partes del espacio a trav3s de ondas electromagn3ticas.	Tiempo de contacto	Tiempo	h	Tiempos de 3 h y 6 h
	Variable Dependiente	Remoci3n de Ars3nico	El ars3nico es un metal que se encontra. de manera natural en el ambiente, sobre todo en las aguas subterranas destinadas para consumo humano, debido a procesos geol3gicos y tambi3n antropol3gicos. En estado inorg3nico llega a ser t3xico y da3ino para la salud humana.	Reducci3n de la concentraci3n de ars3nico	Porcentaje	%	<100

ANEXO 6. Puntos de muestreo



ANEXO 7. Aplicación del tratamiento



ANEXO 8. Llenado y preservado de las muestras con ácido nítrico

