

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“EFECTO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN SOLAR EN LA
REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y BARIO EN AGUAS DEL BALNEARIO
TERMAL TAURIPAMPA, DISTRITO DE LA UNIÓN, PROVINCIA DE
DOS DE MAYO, DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO - 2021”**

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

AUTORA: Trujillo Reynoso, Leidy Diana

ASESOR: Zacarías Ventura, Héctor Raúl

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación ambiental

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71959857

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22515329

Grado/Título: Doctor en Ciencias de la Educación

Código ORCID: 0000-0002-7210-5675

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cuba Tello, María Vanessa	Magister en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente	41273158	0000-0002- 1799-3542
2	Cámara Llanos, Erick Frank	Maestro en Ciencias de la Salud con Mención en: Salud Pública y Docencia Universitaria	44287920	0000-0001- 9180-7405
3	Fernández Escobar, Angie Tatyana	Maestro en Ciencias en Agroecología, Mención: Gestión Ambiental	77127919	0000-0002- 0666-900X

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 20:30 horas del día 26 del mes de mayo del año 2022, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** mediante la plataforma Google Meet integrado por los docentes:

- Mg. María Vanessa Cuba Tello (Presidente)
- Mg. Frank Erick Cámara Llanos (Secretario)
- Mg. Angie Tatyana Fernández Escobar (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N°962-2022-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **“EFECTO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN SOLAR EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y BARIO EN AGUAS DEL BALNEARIO TERMAL TAURIPAMPA, DISTRITO DE LA UNIÓN, PROVINCIA DE DOS DE MAYO, DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO - 2021”**, presentado por el (la) Bach. **Leidy Diana TRUJILLO REYNOSO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándola **APROBADA** por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **15** y cualitativo de **BUENO** (Art. 47)

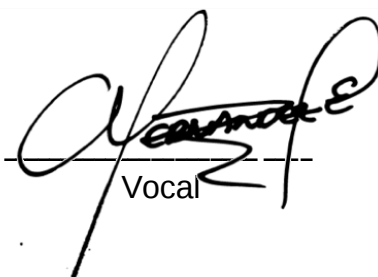
Siendo las 21:57 horas del día 26 del mes de mayo del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Presidente



Secretario



Vocal

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre, Victoria, por su esfuerzo y dedicación en forjar en mí valores, principios y la entereza para ser una persona íntegra. Y a su eterna paciencia y cariño.

A mis hermanas, a mi hermano y a mi padre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la comunidad docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada de Huánuco, por los conocimientos y enseñanzas brindadas.

A mi asesor, el Mg. Héctor Raúl Zacarías Ventura, quien con su guía y experiencia posibilitó la realización del presente estudio.

A mi familia, quienes me han apoyado en todo este proceso y por ser el pilar en el que siempre podré apoyarme.

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE IMÁGENES	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Problema General	18
1.2.2. Problemas Específicos	18
1.3. OBJETIVO GENERAL	19
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	20
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes Nacionales	24
2.1.3. Antecedentes locales	27
2.2. BASES TEÓRICAS	29
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	59

2.4 HIPÓTESIS.....	61
2.5. VARIABLES	61
2.5.1. Variable independiente	61
2.5.2. Variable dependiente.....	61
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	62
CAPÍTULO III.....	63
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
3.1.1. Enfoque.....	63
3.1. 2. Alcance o nivel.....	63
3.1. 3. Diseño	63
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	64
3.2.1. Población.....	64
3.2.1. Muestra.....	64
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	65
3.3.1. Para la recolección de datos	65
3.3.2. Consideraciones del trabajo de campo	67
3.3.3 Para la presentación de datos.....	69
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	69
CAPÍTULO IV	70
RESULTADOS	70
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	70
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	79
CAPÍTULO V	82
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS	93
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías de remoción de arsénico clasificadas de acuerdo al proceso de adsorción	35
Tabla 2 Tecnologías de remoción de arsénico clasificadas de acuerdo al proceso de coagulación/filtración/adsorción	36
Tabla 3 Propiedades físicas del Arsénico. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.....	41
Tabla 4 Propiedades físicas del bario	46
Tabla 5 Parámetros físicos – químicos para aguas superficiales para uso recreativo de contacto primario	49
Tabla 6 Parámetros inorgánicos para aguas superficiales para uso recreativo de contacto primario.....	50
Tabla 7 Parámetros microbiológicos y parasitológicos para aguas superficiales para uso recreativo de contacto primario	51
Tabla 8 Parámetros considerados en la categoría 1-A2 Poblacional y Recreacional: aguas potabilizadas con tratamiento convencional	52
Tabla 9 Interpretación de la calidad ICA-PE.....	54
Tabla 10 Características de las aguas termales del balneario termal Tauripampa	56
Tabla 11 Niveles de los parámetros químicos del agua del balneario termal Tauripampa	57
Tabla 12 Resultados descriptivos de la cantidad de Arsénico (mg/L) y Bario (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar	70
Tabla 13 Resultados descriptivos del nivel de los parámetros físicos del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar	72
Tabla 14 Resultados descriptivos de la cantidad de metales presentes (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar	74
Tabla 15 Comparación de los resultados de los parámetros químicos de la muestra madre y los parámetros químicos pos test con el D.S. N° 004-2017-MINAM.....	75

Tabla 16 Comparación de los resultados de los parámetros físicos de la muestra madre y los parámetros físicos pos test con el D.S. N° 004-2017-MINAM.....	77
Tabla 17 Prueba de normalidad para evaluar los datos recolectados del Arsénico y el Bario	78
Tabla 18 Prueba de muestra única del arsénico	79
Tabla 19 Prueba de muestra única del bario	80
Tabla 20 Comparación del efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Desinfección del agua empleando la radiación solar	30
Figura 2 Esquema del proceso de oxidación-reducción de contaminantes por luz solar.....	31
Figura 3 Proceso de remoción de arsénico por oxidación solar	32
Figura 4 Procesos de oxido-reducción con el método de oxidación solar ...	32
Figura 5 Lecho de secado de lodos	33
Figura 6 Mujer con despigmentación en las manos por envenenamiento con arsénico	34
Figura 7 Remoción biológica de bario en aguas empleando AME	37
Figura 8 Proceso de osmosis y osmosis inversa.....	38
Figura 9 Proceso de clarificación empleando coagulación – floculación	39
Figura 10 Imagen del elemento arsénico	40
Figura 11 Ciclo del arsénico en el medio ambiente, en el que el azufre sufre procesos de volatilización, precipitación y especiación	41
Figura 12	43
Figura 13 Mano con manchas y úlceras provocadas por la exposición prolongada al arsénico	44
Figura 14 Cáncer de piel en la palma de un paciente que ingirió agua contaminada con arsénico por un largo periodo	45
Figura 15 Imagen del elemento bario.....	46
Figura 16 Nitrato de bario utilizado en la fabricación de fuegos artificiales por sus características explosivas	47
Figura 17 Baños termales de Tauripampa.....	57
Figura 18 Diagrama de actividades	66
Figura 19 Resultados descriptivos de la cantidad de Arsénico (mg/L) y Bario (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar	71
Figura 20 Resultados descriptivos del nivel de los parámetros físicos del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar	73

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Reconocimiento de la naciente termal del balneario Tauripampa	119
Imagen 2 Toma de muestra para monitorear parámetros físicos.....	120
Imagen 3 Toma de muestras para analizar en el laboratorio SGS.....	120
Imagen 4 Reactivos usados para preservar las muestras.....	121
Imagen 5 Rotulado de las muestras.....	121
Imagen 6 Conservación en frío de las muestras	122
Imagen 7 Recepción de los materiales enviados por el laboratorio CERTIFICAL.....	122
Imagen 8 Gigantografía con el título del proyecto	123
Imagen 9 Monitoreo de los parámetros físicos de la naciente termal.....	123
Imagen 10 Toma de muestras para los ensayos.....	124
Imagen 11 Preparación de las muestras	124
Imagen 12 Monitoreo de parámetros físicos.....	125
Imagen 13 Preservación en frío de las muestras	125

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario de las aguas del balneario termal Tauripampa, empleando alambres de hierro, jugo de limón y radiación solar. Los ensayos se llevaron a cabo en el distrito de La Unión, provincia de Dos de Mayo, departamento de Huánuco; las muestras de agua con las que se trabajó se obtuvieron de la naciente termal del balneario Tauripampa, cuyas aguas presentan una concentración de 0.17 (mg/L) de arsénico y 1.1 (mg/L) de bario; se usó botellas transparentes nuevas de 2 L para almacenar el agua, se vertió 2 mL de jugo de limón, 12 gramos de alambre de hierro y se expuso las muestras a 6 horas de radiación solar. El proceso removió 0.116 (mg/L) de arsénico, es decir, hubo una remoción de 68.23% y 0.174 (mg/L) de bario, es decir, hubo una remoción de 15.81%. Se acentúa el efecto de remoción de arsénico y bario del proceso de oxidación solar en aguas del balneario termal Tauripampa.

Palabras Clave: radiación solar, oxidación solar, remoción, acentuar, proceso

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the solar oxidation process in the removal of arsenic and barium from the waters of the Tauripampa thermal spa, using iron wires, lemon juice and solar radiation. The tests were carried out in the district of La Unión, province of Dos de Mayo, department of Huánuco; the water samples used were obtained from the thermal spring of the Tauripampa spa, whose water has a concentration of 0.17 (mg/L) of arsenic and 1.1 (mg/L) of barium; new transparent 2 L bottles were used to store the water, 2 mL of lemon juice, 16 grams of iron wire were poured and the samples were exposed to 6 hours of solar radiation. The process removed 0.116 (mg/L) of arsenic, that is, there was a removal of 68.23% and 0.174 (mg/L) of barium, that is, there was a removal of 15.81%. The arsenic and barium removal effect of the solar oxidation process in water from the Tauripampa thermal spa is accentuated.

Key words: solar radiation, solar oxidation, removal, accentuate, process.

INTRODUCCIÓN

En muchos rincones del Perú se cree que las aguas termales son especiales debido a que los lugareños les otorgan propiedades curativas, lo que lleva que muchas veces no solo los usen para darse baños relajantes, sino que también la beban, como es el caso de la población domaina. En 1999 INGEMMET publicó un boletín sobre sus estudios de las aguas termales y minerales del centro del Perú, cuyo informe evidenció que las aguas del balneario termal Tauripampa presentaban altos niveles de arsénico, en una concentración de 0.17 (mg/L) y bario, en una concentración de 1.1 (mg/L), metales de los que se conoce su toxicidad para el cuerpo humano y el medio ambiente, el boletín señalaba que estas aguas no eran aptas para beber y no eran recomendables para baños termales, mencionaban también que esas aguas requerían de estudios hidroquímicos más detallados.

Existen diversos métodos para remover metales, pero usualmente requieren de tecnologías y procesos complejos o costosos, por lo que se optó por el proceso de oxidación solar, que tiene como antecedente el proyecto desarrollado por el Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática, con el que buscaron hacerle frente al envenenamiento masivo por arsénico contenido en aguas subterráneas en Bangladesh; este proceso emplea botellas plásticas transparentes, jugo de limón, hierro y radiación solar para remover arsénico, convirtiéndola un método económico, simple y eficiente; sin embargo, no ha sido probada en la remoción de bario y tampoco en aguas termales, por lo que el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en aguas del balneario termal Tauripampa.

La investigación ofrece un panorama más detallado sobre el estado actual de las aguas del balneario y una evaluación más profunda del efecto del proceso de oxidación solar sobre otros metales.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según Giampaoli & Romano (2014), son varias las enfermedades transmisibles como eriptosporidiosis, giardias, legionelosis y gastroenteritis bacteriana y vírica que se relacionan con aguas de uso recreativo de acceso público; también mencionan, con evidente preocupación, la falta de un marco normativo internacional que denote la seguridad de las aguas de uso recreativo y que muchos países tienen normas incompletas sobre este tema; desde el punto de vista sanitario mundial, es necesario garantizar la seguridad de las instalaciones hídricas para los residentes y los turistas. De acuerdo con Almeida (2012), los usuarios de balnearios no solo se exponen a agentes patógenos (que muchas veces vienen con el propio bañista), sino que también se exponen a sustancias peligrosas existentes en el agua.

La Universidad San Sebastián (USS, 2016), da a conocer el caso de la suspensión del uso de las lagunas Cajar y Piedra (ubicados en Atacama, Chile), por parte de la secretaria regional ministerial de salud Antofagasta, porque estas aguas presentan niveles de arsénico 30 veces más de lo permitido; El académico Alvizú (2016), experto en toxicología de la Facultad de Medicina de esta universidad, menciona que si un turista se baña solo una vez, no habrá consecuencias para su salud, pero los que si le preocupan son los lugareños, ya que ellos son asiduos a bañarse en las aguas de estas lagunas; el académico también menciona que pequeñas concentraciones de arsénico en el cuerpo no son suficientes para matar, pero que si van dañando procesos metabólicos, que a largo plazo originan otros problemas de salud. La Agencia para Sustancias toxicas y Registro de enfermedades – EE. UU, indica que la exposición prolongada a bajos niveles de arsénico puede generar la aparición de pequeños callos o verrugas y oscurecimiento de la piel (ATSDR, 2021).

En el 2008 la empresa canadiense Blackfire Exploration empezó a extraer Barita (principal mena del Barrio) en el municipio de Chicomuselo, Estado de Chiapas, México; los habitantes de Chicomuselo, en especial los agricultores, denunciaron la contaminación del agua y muerte de sus rebaños. (Castro, 2009) En el año 2013 sale a la luz una investigación titulada Minería Canadiense en México: Blackfire Exploration y la Embajada de Canadá – Un Caso de Corrupción y Homicidio, la investigación señala que una delegación canadiense entrevistó a los pobladores y evidenciaron que el agua que bebían venía con sedimentos y la presencia de lodos en los reservorios (estos eran elementos traza de la barita), que eran los causantes de los problemas a la salud de los pobladores y, sobre todo, provocaban un impacto negativo en el ambiente (Moore & Colgrove, 2013).

La universidad Autónoma de Barcelona realizó una investigación en la Amazonia peruana, analizaron los ríos que se veían afectados por la contaminación procedente de la extracción de petróleo; con la caracterización de las aguas detectaron metales pesados como Ba, Cr, Pb, entre otros, esto hizo que la composición química natural de las aguas de estos ríos cambie y cuantifiquen la contaminación ambiental. Mencionan que esta contaminación da lugar a la bioacumulación de metales pesados en peces y otros animales que luego serán consumidos por los lugareños, pero el peligro no solo radica en este aspecto, sino que muchas comunidades nativas no tienen acceso a agua potable, por lo que se ven obligadas a obtener agua de forma directa de estos ríos. En la amazonia el río no solo proporciona alimento y bebida, también proporciona distracción, ya que es usada como medio recreativo en el cual desarrollar actividades acuáticas, exponiéndose así a estos metales y otros contaminantes (UAB, 2017).

Cuando se trata de balnearios termales, el peligro para los usuarios radica en la concentración de sales y otros elementos como Cl, SO₄, F, B, As, Hg, Pb, Cd, Ba, etc., ya que, si estos elementos se encuentran en concentraciones altas pueden resultar nocivos para la salud de las personas (muchos de estos elementos pueden ser absorbidos por vía oral, respiratoria, cutánea y algunos se acumulan en el organismo de forma irreversible). (Jurado et al., 2014) A esto le agregamos que las aguas

termales en nuestro país no solo son usadas para la recreación, sino que también es usada en la agricultura, en el deshidratado de frutas, vegetales o madera, producción de bebidas, calefacción entre otras actividades (Vargas, 2010).

En muchos de estos balnearios termales o piscinas comunes se tiene en cuenta solo el análisis microbiológico, por lo mismo que el tratamiento que se le da es la de verter cloro para eliminar bacterias y hongos, ¿pero cuántos balnearios de agua termal vierten por lo menos cloro para eliminar bacterias u hongos que podrían resultar perjudiciales para salud del bañista y más aún, cuántos balnearios de aguas termales en todo el Perú reciben el tratamiento para remover metales o si tan siquiera se sabe el nivel de concentración de estos metales y si el estado y/o calidad de estas aguas son comunicadas a los bañistas?

El balneario de Tauripampa, ubicado en el distrito de La Unión, provincia de Dos de Mayo, departamento de Huánuco, tiene más de 22 años de funcionamiento, los pobladores y turistas son asiduos al balneario por ser supuestamente aguas curativas y beneficiosas; este balneario termal no presenta estudios actuales sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos contenidos en sus aguas o algún indicador de calidad. La municipalidad del distrito de La Unión (encargada del balneario de Tauripampa), se limita a contratar personal de limpieza, mas no realizan ningún control ni monitoreo sobre la calidad e inocuidad de las aguas del balneario. En los estudios realizados por (Steinmüller & Huamaní, 1999), indican lo siguiente sobre el balneario de Tauripampa: dentro de todos los parámetros químicos analizados en el balneario, resaltan el arsénico (Ar), que se encuentra a 0.17 mg/l y el bario (Ba), que se encuentra a 1.1 mg/l. En sus observaciones ellos indican que, por el alto nivel de arsénico y bario, el balneario no es recomendable para ser usado como baño termal. Aun con esta información que data de muchos años atrás, las respectivas autoridades no han puesto ninguna “advertencia de uso” para informar a los bañistas sobre el contenido en estas aguas.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), el Centro Internacional de Investigación Sobre el Cáncer ha clasificado al arsénico como cancerígeno; y, según La Agencia para Sustancias tóxicas y Registro de enfermedades – EE. UU, menciona que la exposición a niveles altos de bario puede causar problemas gastrointestinales, disminución o aumento de la presión sanguínea, adormecimiento de la cara y debilidad muscular (ATDSR, 2016). Teniendo en cuenta todo lo expuesto, es imperativo realizar estudios para evaluar los niveles actuales de concentración del Arsénico y Bario, y sobre todo, implementar un método que permita la remoción de dichos elementos, para así poder asegurar la inocuidad de las aguas del balneario termal; es usual que no se le dé la real importancia a las aguas termales y a su uso, por lo mismo que no se le da importancia a su calidad, pero, ¿no es justo y un derecho el poder disfrutar de una actividad recreativa sin que esta perjudique la salud?

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuáles son los niveles de los parámetros físicos y químicos del agua del balneario termal Tauripampa?

¿Cuál es el porcentaje de remoción de arsénico y bario con el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal Tauripampa?

¿Cuáles son los niveles de los parámetros físicos y químicos del agua del balneario termal después del uso del proceso de oxidación solar?

¿Cuál es el impacto del proceso de oxidación solar en la calidad del agua del balneario termal Tauripampa?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los niveles de los parámetros físicos y químicos del agua del balneario termal Tauripampa.

Calcular el porcentaje de remoción de arsénico y bario con el proceso de oxidación solar en aguas de balneario termal Tauripampa.

Analizar los niveles de los parámetros físicos y químicos después de haber empleado el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal Tauripampa.

Analizar el impacto del proceso de oxidación solar en la calidad del agua del balneario termal Tauripampa.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los balnearios termales son muy populares en Perú, por lo que es indiscutible su poder turístico. ¿Pero cuánto sabemos sobre las características físicas, químicas y biológicas de sus aguas, su calidad e inocuidad o si su concentración de minerales está al menos en los parámetros establecidos por las leyes peruanas y cuántos de sus minerales son beneficiosos y cuántos perjudiciales para la salud de quienes los usen?

En la cultura domaina las aguas termales son vistas como curativas y con propiedades sanadoras, ya que no solo son usadas para tratar enfermedades, sino también como algo más espiritual; muchos lugareños aseguran que las aguas del balneario termal Tauripampa son capaces de curar gastritis y otras enfermedades, razón por la que beben sus aguas. Como he mencionado anteriormente, hay un estudio realizado por (Steinmüller & Huamaní, 1999) , donde evidencian que la concentración de arsénico encontrado en las aguas del balneario Tauripampa en el año 1999 es de 0.17 mg/l y la cantidad de bario es de 1.1 mg/l, y refieren que no son

aptas para ser usadas como baños termales; en la actualidad, no es una posibilidad el cierre del balneario porque genera ingresos a la Municipalidad de La Unión por ser un atractivo turístico de la zona, pero si es posible es indispensable el tratamiento de sus aguas para la remoción del arsénico y bario que contiene.

El arsénico y bario no solo son perjudiciales para la salud de los lugareños que asisten asiduamente al balneario, también lo son para el medio ambiente; el efluente del balneario termal Tauripampa es vertido de forma directa al río Vizcarra, lo que indica que su contenido en arsénico y bario termina contaminando dicho río. El tratamiento para la remoción de estos dos metales contenidos en el agua del balneario termal puede prevenir futuros daños a la salud de los usuarios y evitar que se sigan exponiendo a estos elementos que son peligrosos incluso en concentraciones pequeñas, ya que suele acumularse en el cuerpo de quien se exponga a ellos a lo largo del tiempo. (Cabrera et al., 2013) La remoción del arsénico y el bario para beneficio de los bañistas también puede ser beneficioso para el río Vizcarra.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El acceso a los laboratorios de la Universidad, que por cierto, no está debidamente acreditada por INACAL, y el tiempo óptimo para usarlo, resulta ser una limitante, ya que se tiene que compartir con otros tesisistas que también deben de realizar sus pruebas o ensayos, sumado a esto está la falta de equipos para realizar el barrido de metales. Otro aspecto relacionado con el laboratorio es la obtención de material como el agar o reactivos, estos deben ser pedidos de la capital, puesto que en la ciudad no hay quién los provea.

Debido a la situación actual, provocada por el Coronavirus 19, el acceso a transporte seguro e inocuo también se ha considerado como limitante por el riesgo de contagio.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El tema de investigación cuenta con una cantidad considerable de información en internet, libros y artículos de investigación. El tesisista cuenta con familiares en el distrito de La Unión, por lo que su estadía para realizar

la toma de muestras y demás investigaciones no serían un problema. Los recursos financieros son los suficientes para afrontar la realización de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cuadra (2017), en su tesis: Desarrollo Experimental para la Foto – Oxidación de Arsénico Mediante Nanomateriales y Luz Solar Simulada, Universidad de Chile, tuvo como **objetivo** la determinación de la eficacia del proceso de foto – oxidación en la remoción de arsénico. La **metodología** consistió en caracterizar los nanomateriales; en el primer nanomaterial analizó la separación de banda, los estados cristalinos y dimensiones de las partículas; en el segundo, determinó el pH superficial. En la segunda etapa llevó a cabo ensayos de foto-oxidación de arsénico en un simulador solar, determinando la concentración de este metal. Con base en los **resultados** desarrolló SolArsenic, es un equipo que permite la remoción de arsénico del agua usando nanomateriales, lámparas y un colector solar. Sus resultados indicaron que: con relación al TiO₂, producido en el laboratorio, absorbe en una longitud de onda en el espectro UV-A y presenta una predominancia de la fase anatasa; el carbón activado mezclado con hierro, CAP-CO₂-Fe, presentó un pH ácido; las condiciones óptimas para la foto-oxidación, son bajo la influencia del mix de TiO₂ y CA, lámparas y UV-A, por ello diseñó SolArsenic incorporando estas características. Con base en sus resultados, **concluye** que SolArsenic es un sistema eficaz con capacidad para remover grandes concentraciones de arsénico utilizando fuentes naturales de energía, como la luz solar.

Sandoval (2017), en su tesis: Degradación Fotocatalítica de Timerosal mediante Nanopartículas de Ferrita de Cinc Activadas con Radiación Solar, Universidad de Concepción, Chile, tuvo como **objetivo** Sintetizar nanopartículas semiconductoras de ferrita modificada, con alta capacidad adsorptiva y actividad catalítica, para preconcentrar compuestos organometálicos de mercurio y degradarlos por medio de

fotocatálisis heterogénea asistida por radiación solar. Fue llevado a cabo utilizando los **métodos** de autocombustión con glicina y ácido cítrico (Pechini) y polimerización, usando 1,4-fenilendiamina; también, usó espectroscopía de fluorescencia atómica con liberación de vapor frío (CV-AFS) para determinar el mercurio elemental (Hg⁰) y espectroscopía de absorción molecular UV-Vis (EAM UV-Vis) para el seguimiento de la degradación. Obtuvo como **resultado** la degradación de Timerosal con un 85% de remoción en 6 h, donde el mercurio orgánico se redujo a Hg (0) y el TMS inicial se degradó hasta ácido salicílico, ácido ditiosalicílico, dióxido de carbono y agua. **Concluyendo** que la degradación de Timerosal utilizando radiación solar como fuente de fotones y utilizando nanopartículas de ZF modificada pudo ser sintetizada por medio de EAM UV-Vis y HPLC.

Castillo (2017), en su tesis: Proceso de Fotocatálisis con Luz Solar y el Método DIP – Coating para la Reduccion de Coliformes de Aguas Residuales del Barrio la Ciénaga con Desembocadura en el Embalse Agoyan, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, tuvo como **objetivo** la aplicar procesos de fotocatálisis con luz solar y el método Dip - Coating para la reducción de coliformes de aguas residuales. Aplicó la siguiente **metodología**: tomó muestras de aguas residuales de dos puntos diferentes para el proceso SODIS y SODIS/Dip-Coating, luego inmovilizó dióxido de titanio (TiO₂) en 22 varillas de vidrio de borosilicato con la finalidad de emplearlas según indica el método SODIS/Dip-Coating exponiendo las muestras de cada proceso a la radiación solar en diferentes intervalos de tiempo 0; 60; 120; 180 minutos y realizando una siembra en placas compact dry EC para identificar coliformes y verificar cual proceso fotocatalítico es más eficiente para su reducción. Obtuvo como **resultado** que el proceso fotocatalítico SODIS/Dip-Coating tuvo mejor remoción de coliformes, logrando reducir un 97,21% en 24 horas,12 días después removi6 2,79% más. El proceso fotocatalítico SODIS redujo 68.46% en 24 horas,12 días después removi6 31.54%. La investigación **concluye** que el proceso de fotocatálisis con luz solar SODIS tuvo menor efecto

en comparación al otro proceso, contabilizando en el P1: 17100 NMP/100ml y P2: 17200 NMP/100ml de coliformes fecales; P1: 17700 NMP/100ml y P2: 13000 NMP/100ml de coliformes totales, bajo las mismas condiciones expuestas.

Patiño (2020), en su tesis: Análisis Comparativo de las Metodologías Implementadas para la Remoción de Bario en Aguas de Producción de la Industria Petrolera, desarrollada en el municipio de Acacías, departamento del Meta, Colombia – Universidad Nacional Abierta y a Distancia, cuyo **objetivo** fue comparar metodologías (analizando ventajas, desventajas y optimización en tiempo) para la remoción del ion bario en el tratamiento de aguas de producción en la industria petrolera; su **metodología** consistió en la revisión sistemática de literatura y la recopilación de datos científicos, para lo cual usó herramientas como “VosViewer” y la base de datos Web Scopus – Sciente Direct; sus **resultados** arrojaron 36 clúster de co-citación de 599 ítems dentro de los artículos que conformaron su búsqueda bibliográfica; con lo que **concluye** que los métodos biológicos, con el uso de asociaciones microbianas estratificadas como cultivos mixtos de cianobacterias, bacterias oxidadoras de sulfuro coloreadas y no coloreadas, remueven el ion bario con una eficiencia del 95% al 98%.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Polo (2017), en su tesis: Adaptación de la Tecnología RAOS Aplicando el Calentamiento Solar en las Aguas del río Sama – Provincia de Tacna, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú, cuyo **objetivo** fue remover el arsénico contenida en el río Sama adaptando la tecnología RAOS con calentamiento solar; su **metodología** constó en diseñar y construir un reactor tipo bacht con colector fotocatalítico adaptándolo a partir de un colector solar; las muestras para poner en acción los ensayos las obtuvo del río Sama, estas aguas presentan una concentración de arsénico total de 0,37mg/L, estando por encima del Estándar de Calidad Ambiental. En el proceso agregó gotas de jugo de limón para que reaccione con el

hierro en presencia de oxígeno y radiación solar para formar especies activas que oxiden al arsénico, realizando así la remoción del metal. Los **resultados** mostraron la reducción del arsénico en un 80% y 97%, reduciendo el arsénico a 0.01mg/L. **Concluyendo** que el método RAOS adaptado como colector fotocatalítico consigue remover arsénico.

Montesinos & Guevara (2019), en la presenta tesis: Comparación entre los métodos RAOS y Coagulación – Floculación para la Remoción de Arsénico en Agua de Consumo Humano en la Ciudad de Calca, Universidad Andina del Cusco, Perú, cuyo **objetivo** fue el de comparar la efectividad de los métodos RAOS y Coagulación – Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano; empleó como método evaluar la fuente denominada manantial de la ladera Ayaccaca, ya que no cumple con los requisitos mínimos de calidad exigidos por el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., porque presenta arsénico en concentraciones hasta 0.053mg/L; Realizó ensayos para verificar la efectividad de ambos métodos en cuanto a costo, tiempo, grado de remoción y aplicabilidad; en el primer **método** usó como coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio en cantidades que variaron de 20mg/l a 50mg/L, el **resultado** fu una remoción de arsénico de hasta 99% mediante la adición de una dosis de 50mg/L de cloruro férrico; para el segundo **método** utilizó alambre de hierro N°16 y jugo de limón en cantidades que variaron de 4gr a 8gr y de 1.1 ml y 1.5ml, el **resultado** fue una remoción de arsénico de hasta 84% con una dosis de 7gr de alambre más 1.4 ml de jugo de limón. **Concluye** que el método de Coagulación – Floculación tiene un grado de eficacia mayor a RAOS, porque fue capaz de remover arsénico en un 99%, mientras que el otro método redujo un 84%; el método RAOS fue más eficiente en cuanto al costo y el método Coagulación – floculación en cuanto al tiempo.

Pérez (2018), en su tesis: Evaluación de la Factibilidad Técnica Para el Tratamiento de Relaves con Cianuro Aplicando el Método de Oxidación Avanzada con Radiación UV – Solar a Nivel de la Pequeña Minería Aurífera, Universidad San Agustín, Perú, donde el **objetivo** fue la de evaluar la factibilidad técnica del proceso de Oxidación Avanzada. El **método** que empleó fue la de recolectar muestras de los efluentes de la empresa minera DA – CREIN contaminados con cianuro, estas muestras fueron filtradas en laboratorio, para luego ser acondicionar el afluente a tratar antes de la foto – degeneración del cianuro; después de acondicionado los efluentes, son conducidos con un régimen turbulento hacia el sistema de foto-degradación permitiendo que el dióxido de titanio permanezca en suspensión garantizando así su eficacia ya que cumple con la función de foto-catalizador de la degradación del cianuro. Al aplicar el diseño de experimentos pudo obtener una optimización ideal para el proceso de reducción de los cianuros en solución, la cual tuvo la siguiente combinación de valores, para el caso de dióxido de titanio 0.334 g/l y para el caso del peróxido de hidrogeno una concentración de 1.823 ml/l. Los **resultados** determinaron que la longitud del fotoreactor tubular debe ser de 98 metros, de material acrílico y con un diámetro interior de 1.5 pulgadas. **Concluyó** que el método de Oxidación Avanzada con Radiación UV – solar es tecnológicamente viable, ya que con un reactor tubular de no más de 100 mts de longitud, es de decir, un panel con de 10 tuberías con longitud de 10 mts cada una es suficiente para llegar a los límites máximos permisibles exigidos por la ley peruana.

Aguilar (2019), en su tesis: Utilización de la Moringa Oleífera como Coagulante para la Remoción de Arsénico en el Agua de los Pozos del Centro Poblado Cruz del Medano del Distrito de Mórrope, Universidad César Vallejo, Perú, Tuvo como **objetivo** determinar que el uso de la Moringa oleífera como coagulante permite la remoción del arsénico en el agua de los pozos del centro poblado Cruz del Medano, distrito de Mórrope, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque. Para ello usó como **métodos** el análisis en laboratorio de

las muestras de las aguas del pozo, como paso siguiente aplicó el polvo de las semillas de Moringa oleífera y evaluó el proceso de remoción en sus distintas dosis (es decir, agregaba cantidades de gramos distintas de moringa a todas sus muestras). Sus **resultados** mostraron que aplicando una dosis de 9 g/l y 11g/l de Moringa Oleífera en las muestras obtenidas del pozo, redujeron el arsénico de 0.05mg/l a 0.010mg/l. El autor **concluye** que obtuvo una remoción del arsénico en sus muestras de un 90%.

Quijano (2019), en su tesis: Remoción de Arsénico de las Aguas del rio Pelagatos Utilizando Ceniza de Paja de Trigo, Universidad San Pedro, Chimbote, Ancash, Perú, cuyo **objetivo** fue el uso de las cenizas de paja de trigo para remoción del arsénico. Su **metodología** siguió los siguientes pasos: calcinar la paja del trigo, activación de las cenizas de trigo, ensayos en juegos de jarras con respectivas muestras del rio Pelagatos agregando las cenizas activadas. Sus **resultados** mostraron que para su muestra número 3, removi6 en un 70% el nivel de arsénico, de 0.023 mg/l a 0.007 mg/l; en su muestra número 2 logró remover el arsénico en un 56%, de 0.023 mg/l a 0.010 mg/l. El autor **concluye** que con el empleo de cenizas de trigo consiguió que sus muestras 2 y 3 estén dentro de los parámetros respecto al nivel de arsénico según la ECA.

2.1.3. Antecedentes locales

Nieto (2020), cuya tesis es: Influencia de la Radiación solar en la Descontaminación de Aguas Residuales Urbanas a través de la Fotodegradación, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Huánuco, Perú, tuvo como **objetivo** evaluar la descontaminación de agua residual urbana empleando fotodegradación con energía solar. La **metodología** consistió en exponer a radiación solar muestras de agua de la Quebrada del Águila, para ello trabajó con cubas de vidrio que posicionó sobre una superficie de plástico blanca para conseguir la reflexión de la luz solar; colocó tres volúmenes de aguas residuales a diferentes niveles de profundidad o

espesor de la lámina de agua 4, 8 y 16 cm por 24 horas, completando el tratamiento en 7 días. Sus **resultados** mostraron que a mayor profundidad, mayor es el grado de depuración, evidenciando una reducción de 2% de pH, un incremento de 66,7% de oxígeno disuelto, una reducción de la DBO y la DQO de 75.7 y 76.3% respectivamente y una eliminación del 100% de Coliformes Totales. **Concluye** que sus resultados respaldan su propuesta para la depuración de aguas contaminadas por efluentes con este método doméstico, siendo esta tecnología de bajo costo y amigable con el ambiente.

Fernández, (2018), en su tesis: Nanofiltros con Arcillas de Huánuco, en la Purificación de Aguas Superficiales para Consumo Humano, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú, tuvo como **objetivo** evaluar la capacidad de la arcilla de la Localidad de Garbanzo como nanofiltro en la purificación de aguas superficiales. La **metodología** consistió en un diseño factorial con pruebas de ANOVA y estadístico F, estudiando la presión de flujo y la longitud del filtro, evaluando la capacidad de purificación del agua del río Higuera empleando tubos preparados con arcilla para el filtrado, con base en las dimensiones nanométricas de sus poros. Sus **resultados** mostraron que la arcilla combinada con aserrín y cocida, actúa como nanofiltro y el factor más relevante fue la presión, también menciona que a una altura de 50m y una longitud de 5.55cm de filtro, se consigue eliminar el 100% de contaminantes. **Concluyendo** que, su propuesta de purificación de agua para consumo humano es sostenible, requiriendo un volumen mínimo de suelo comparado con la oferta disponible, la fabricación de los componentes es sencilla, así como la instalación y el mantenimiento.

Duran, (2021), en su tesis: Efecto de Penca de Tuna (*Opuntia ficus indica*) con Semilla de Moringa (*Moringa oleífera*) como Coagulante Natural para Disminuir la Turbidez del Agua en el Reservorio de la JASS del Centro Poblado de Vichaycoto, Huánuco - 2021, Universidad Privada de Huánuco, Perú, tuvo como **objetivo**

evaluar el efecto de penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) con semilla de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural para disminuir la turbidez del agua en el reservorio de la JASS del centro poblado Vichaycoto. La **metodología** consistió en tomar muestras de agua del reservorio, antes y después de emplear el tratamiento con el coagulante natural de la penca de tuna y la moringa. Sus **resultados** demostraron que la turbidez se redujo significativamente al añadir los concentrados que actuaron como coagulantes naturales (penca de tuna y semilla de moringa). **Concluyendo** que, la moringa, cuanto menor sea su concentración, mayor es la reducción de la turbidez, sucediendo lo opuesto con la concentración de la penca de tuna; usando las especies juntas se maximiza hasta un 97% la reducción de la turbidez del agua.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Método de oxidación solar

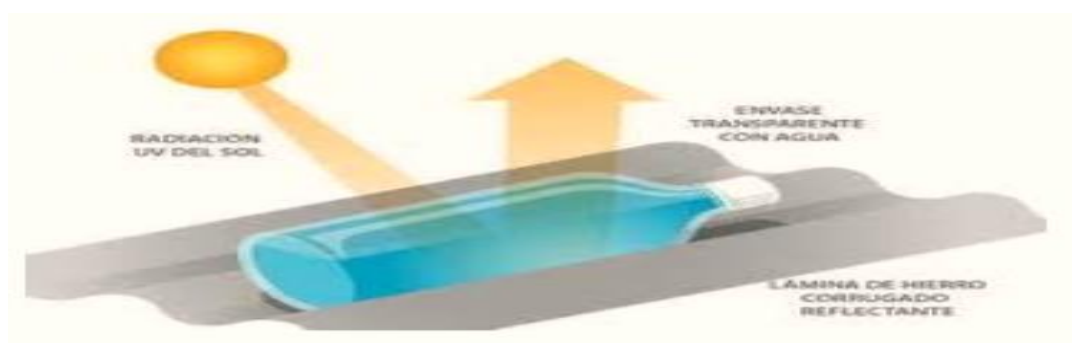
Los procesos de oxidación están basados en generar especies que sean altamente oxidantes (radicales hidroxilos). Estos radicales hidroxilos tienen un elevado potencial de oxidación y debido a su carácter no selectivo, pueden mineralizar contaminantes orgánicos y iones inorgánicos; su aplicación se centra en la eliminación de compuestos tóxicos persistentes contenidos en el agua. Los radicales hidroxilos reaccionan con muchos elementos contaminantes, lo que propicia que pueda descomponerlos. Una forma en la que se producen estos radicales hidroxilos es durante las horas del día, donde los rayos del sol o si se desea llamarlas ondas de luz, interactúan con el agua. El método de oxidación solar implica usar hierro para que este reaccione entre el peróxido de hidrogeno y los iones del hierro (II), para así formar hierro (III) y radicales hidroxilos, todo esto en presencia de la luz solar (Malato, 2018).

El tratamiento fotocatalítico de iones metálicos que siguen el mecanismo de reducción directa y remoción oxidativa puede ofrecer

una solución a la contaminación causada por los metales contenidos en el agua. Vale la pena mencionar que factores como la naturaleza del catalizador, la presencia o no de oxígeno disuelto, el pH y la masa afectan la velocidad de transformación de los iones metálicos en agua. La adición de compuestos orgánicos de sacrificio (sustancias fácilmente oxidables como el metanol, ácido etilendiaminotetraacético o ácido cítrico), brinda una posibilidad de mejora en el rendimiento del proceso (Litter, 2014).

Figura 1

Desinfección del agua empleando la radiación solar



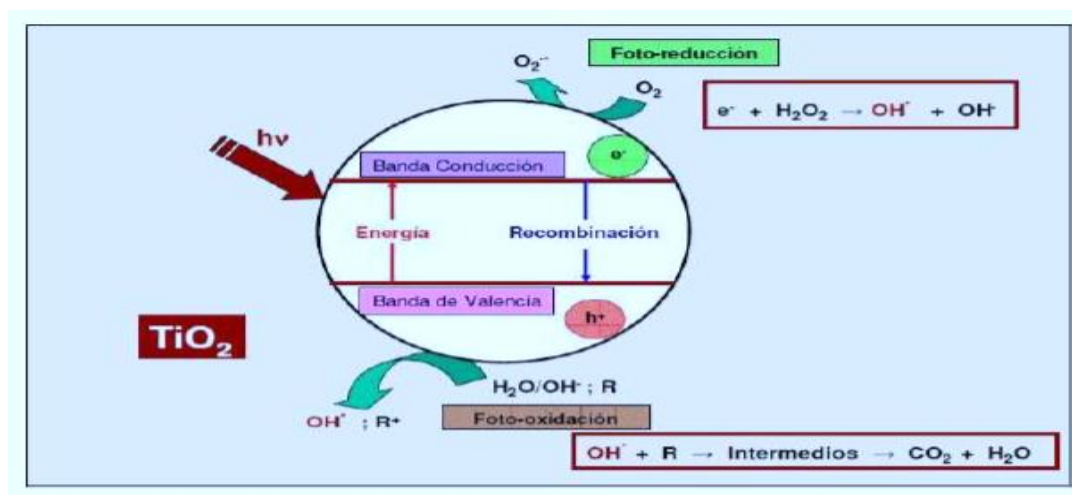
Nota: Adaptado de *Remoción de Arsénico en Agua de Consumo Humano en Latinoamérica* (p.111), por Llorens et al., 2012, Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

2.2.1.1. Uso de la luz solar en procesos de remoción de contaminantes

La luz solar puede funcionar como la fuerza impulsora en la activación de un fotocatalizador. El uso de la luz solar en estos procesos propicia la degradación directa, reduce la proporción de reactivos a usar (lo que se traduce en reducción de costos), reduce los riesgos a la salud e impactos ambientales, evita cambios drásticos de pH, permite la flexibilidad del sistema, puesto que permite una variedad más amplia de oxidantes y condiciones de operación (Bes et al., 2018).

Figura 2

Esquema del proceso de oxidación-reducción de contaminantes por luz solar



Nota. Adaptado de *Manual Técnico Sobre Procesos de Oxidación Avanzada Aplicados al Tratamiento de Aguas Residuales Industriales* (p.42), por Bes et al., 2018, CYTED.

2.2.1.2. Método de oxidación solar aplicado en la remoción de arsénico

La Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (RAOS), es una tecnología simple y económica. Con el objetivo de combatir el envenenamiento masivo por el consumo de aguas subterráneas con arsénico en Bangladesh, el Instituto Suizo EAWAG realizó ensayos para tratar de solucionar el problema, donde incorporaron jugo de limón y hierro en muestras de agua con arsénico contenidas en botellas transparentes, observaron que luego de haber sido expuestas al sol por un periodo de tiempo, se formaron flóculos de hidróxido de hierro, producto de las reacciones fotoquímicas del agua, logrando así bajar el nivel de arsénico al nivel permitido (0.01 mg/L). (Chávez & Miglio, 2011)

Figura 3

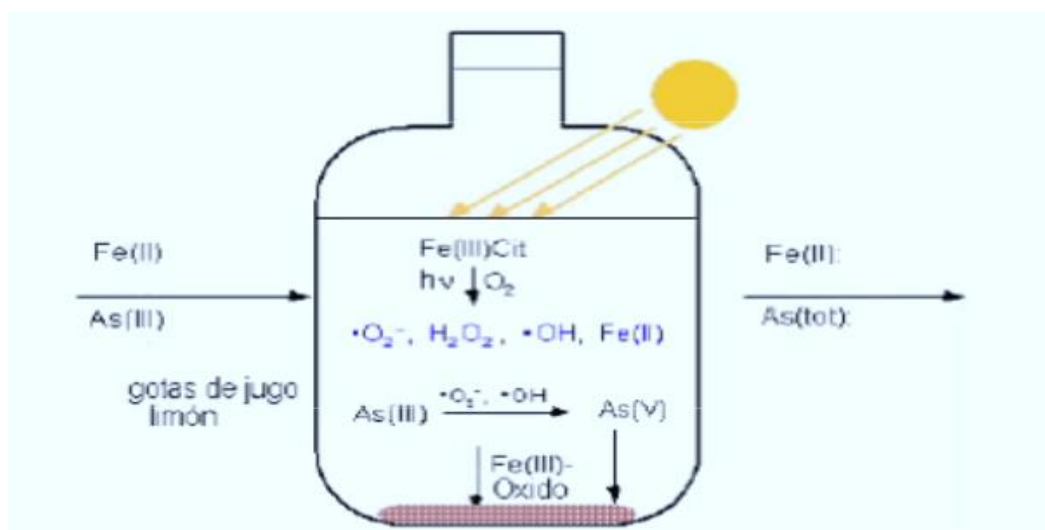
Proceso de remoción de arsénico por oxidación solar



Nota. Elaboración propia.

Figura 4

Procesos de oxido-reducción con el método de oxidación solar



Nota. Adaptado de *Remoción de Arsénico en Agua de Consumo Humano en Latinoamérica* (p.114), por Llorens et al., 2012, Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

Disposición de residuos generados

Se debe considerar la normativa nacional, local o internacional vigente (en caso no se tuviera) sobre disposición de lodos con contenido de arsénico. Para la elección del método se debe tener en

cuenta el presupuesto, características, el espacio y la cantidad de lodo generado a disponer. Lo convencional es aplicar un tratamiento, pero debido a que el método RAOS se usa precisamente por no contar con un alto presupuesto, lo usual es depositar el lodo en contenedores que luego serán enterrados, o, en todo caso, ser depositadas directamente a una laguna de evaporación y lechos de secado. (Llorens et al., 2012)

- **Lagunas de evaporación y lechos de sacado**

Son grandes superficies que puedan favorecer el proceso natural de evaporación. Es una buena solución en regiones con bajas lluvias y poca humedad, altas temperaturas y vientos fuertes. Este lugar no debe tener influencia sobre aguas subterráneas. (Llorens et al., 2012)

Figura 5

Lecho de secado de lodos



Nota: Adaptado de Diseño de Plantas Tratamiento de Aguas Residuales (p. 193), por Rivas, 2012, UNAD.

- **Descarga directa a un curso de agua:** esto para que el lodo se diluya, para ello se debe tener en cuenta los límites permitidos de descarga en distintos tipos de curso. (Llorens et al., 2012)

2.2.1.3. Otros métodos empleados en la remoción de arsénico

La toxicidad del arsénico hace que sea imperativo su remoción y más cuando este está presente en el agua, ya que su presencia constituye una amenaza para la salud, como podemos ver en la figura 6, donde se aprecia a una mujer con despigmentación en las manos por envenenamiento con arsénico. En los siguientes cuadros se desarrollará algunas de las tecnologías que existen para la remoción de arsénico y su costo (1=bajo, 2=medio, 3=alto).

Figura 6

Mujer con despigmentación en las manos por envenenamiento con arsénico



Nota. Adaptado de *Arsénico en Agua* (p.28), por Alarcón et al., 2013, Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

Tabla 1

Tecnologías de remoción de arsénico clasificadas de acuerdo al proceso de adsorción

Tecnologías de remoción de arsénico	Proceso de adsorción	Costo
Adsorción utilizando óxido metálico de alúmina activada	El proceso de	3
Adsorción utilizando una columna de alúmina activada	adsorción consiste en	2
Adsorción utilizando un filtro de alúmina activada	que especies iónicas de arsénico que se encuentren presentes	1
Filtro simple con hierro metálico	en el agua se acumulen	1
Decantación utilizando oxihidróxido férrico	en la superficie de un sólido. Este proceso	1
Pulpa de papel de diario recubierta con hidróxido férrico	tiene cierta ventaja sobre otros porque se	1
Recipientes rellenos con GrametFerlat (relleno de silicato y hierro)	cuenta con más información y ya se han	3
Columna rellena con "Chitosan" impregnado con molibdato	comprobado y desarrollado materiales	3
Adsorción utilizando laterita (proceso batch)	adsorbentes que remueven	1
Adsorción utilizando laterita (proceso continuo)	exitosamente el arsénico. (Acuña et al.,	2
Tubos absorbentes rellenos con arcillas modificadas	2016)	3

Nota. Ferrari & Graieb, (2010, p. 176-177). Acuña et al., (2016, p. 25-26).

Tabla 2

Tecnologías de remoción de arsénico clasificadas de acuerdo al proceso de coagulación/filtración/adsorción

Tecnología de remoción de arsénico			Proceso coagulación/filtración/adsorción	Costo
Columna	rellena	con	El proceso consiste en alterar las propiedades de las partículas suspendidas, ayudándolas a juntarse a partículas más grandes para facilitar su filtración. El añadido de agentes químicos permite la precipitación de elementos solubles como hidróxidos, adsorbiendo elementos disueltos. El arsénico III debe ser oxidado a arsénico V para facilitar su remoción. Este proceso remueve el 90% de As, el limitante es la inversión que requiere. (fluence, 2021)	3

Nota. Ferrari & Graieb, (2010, p. 177). Fluence, (2021).

La elección del método a usar para la remoción de arsénico dependerá, sobre todo, de la cantidad de arsénico a remover y del volumen de agua a tratar, y claro, del presupuesto con el que se cuente.

2.2.2. Métodos para la remoción de bario

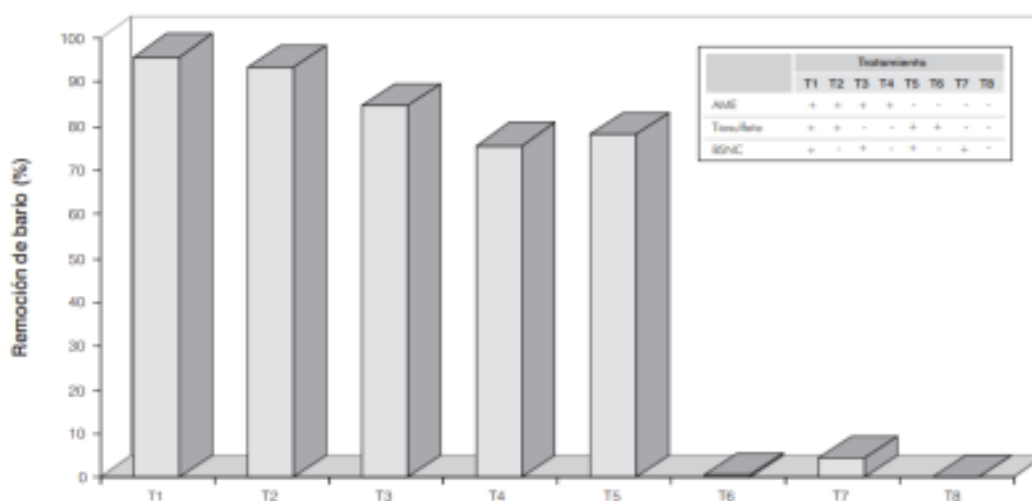
2.2.2.1. Remoción biológica

Los métodos biológicos para el tratamiento de agua van dirigidos a la disminución de la carga orgánica del efluente a tratar; sin embargo, hay técnicas biológicas no convencionales que pueden ser empleadas en la captura de metales pesados. (Mogollón et al., 1996)

- Asociaciones Microbianas Estratificadas (AME), han sido usadas para remover bario (Ba) en aguas de producción en la industria petrolera. Las AME se caracterizan por su alta diversidad, resistencia y son capaces de proliferarse en aguas con contenido metálico. Este método tiene una eficiencia de remoción de bario de un 95% a 98%; las bacterias empleadas captan el metal por el proceso de bioadsorción y por la formación de complejos de baja solubilidad. (Mogollón et al., 1996)

Figura 7

Remoción biológica de bario en aguas empleando AME



Nota: Utilización de las AME en microcosmos. Remoción de bario. Tiempo de exposición 24 h, concentración inicial de bario 45.2 gm. (+) Adición, (-) No adición, AME recortes maduros de asociaciones microbianas estratificadas. La concentración final de sulfato de sodio fue 100 gm. Adaptado de Remoción Biológica de Bario en Aguas de Producción Utilizando Asociaciones Microbianas Estratificadas (AME) (p. 39), por Mogollón et al., 1996, CT&F.

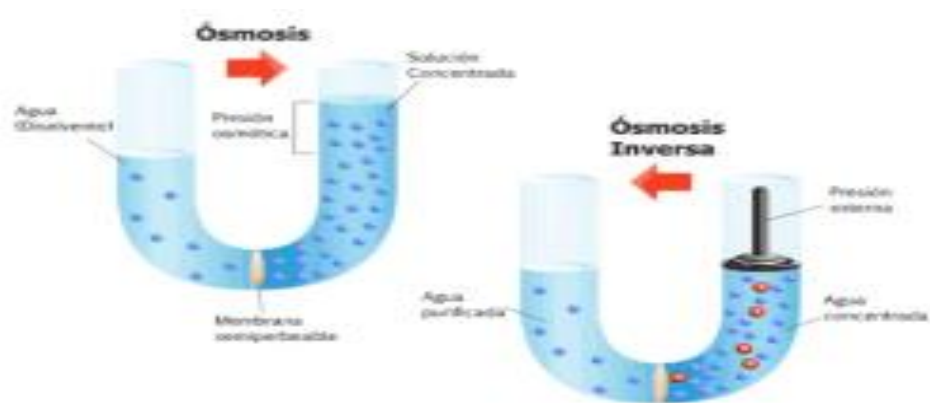
2.2.2.2. Osmosis inversa

El método de osmosis inversa es usado en procesos de desalación y potabilización de agua de mar, con porcentajes de remoción de

metales pesados y sales en un 98%. Este método consiste en una membrana semipermeable de acetato de celulosa o poliamida aromática, debe ejercerse una presión osmótica para permitir el paso del solvente y retener el soluto. Este método fue usado para la remoción de bario en aguas de producción y captación de campo, tuvo un porcentaje de remoción de un 76%. (Mesa et al., 2014)

Figura 8

Proceso de osmosis y osmosis inversa



Nota. Adaptado de *¿Qué es la osmosis inversa?* [Ilustración], por Carbotecnia, 2012, Fuente (<https://www.carbotecnia.info/>), CC BY 2.0

2.2.2.3. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados

Este método tiene por objetivo remover los sólidos suspendidos, sólidos finalmente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas de mayor tamaño. El método es usado para obtener agua para consumo humano y en el tratamiento de aguas industriales (ya sea para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, lavado de envases, etc.). Este método incluye subprocesos como coagulación, floculación y sedimentación. (Cogollo, 2011)

Figura 9

Proceso de clarificación empleando coagulación – floculación



Nota. Adaptado de *La Coagulación – Floculación en el Proceso de Tratamiento* [ilustración], por El Agua Potable – Ramírez. F, 2000, Fuente (<http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>), CC BY 2.0

2.2.2.4. Disposición de lodos

En todo proceso de depuración de agua se genera residuos y la decisión de la tecnología a utilizar dependerá primero de la cantidad de residuos que se genera, las características fisicoquímicas de estas, manejo o tratamiento previo requerido, presupuesto, espacio, normativa, disponibilidad y capacitación de personal para manejar determinadas tecnologías. (Llorens et al., 2012)

- Espesadores por gravedad: son recipientes donde se incrementa el contenido de sólidos como primera etapa de concentración. (Llorens et al., 2012)

- Deshidratadores mecánicos: se suele tratar el lodo con cal y aluminio. Este método es usado en plantas petroleras. (Llorens et al., 2012)
- Lagunas de evaporación y lechos de secado: son los más utilizados para tecnologías de osmosis inversa e intercambio iónico. Con este método se busca reducir el contenido toxico a concentraciones que permitan elegir otro tratamiento. (Llorens et al., 2012)

2.2.3. Arsénico

Este elemento es común en la atmosfera, en rocas y suelos, en la hidrosfera y biosfera. Su movilización al ambiente se da a través de reacciones que implican procesos naturales como meteorización, emisiones volcánicas, actividad biológica y procesos antropogénicos como la actividad minera, uso de herbicidas, desecantes, etc. (Alarcón et al., 2013)

Figura 10

Imagen del elemento arsénico



Nota. Adaptado de *Intoxicación por Arsénico: causas, síntomas y tratamiento* [Fotografía], por HEBERGEMENTWEBS, 2021, Fuente (<https://www.hebergementwebs.com/salud/intoxicacion-por-arsenico-causas-sintomas-y-tratamiento>). CC BY 2.0

Tabla 3

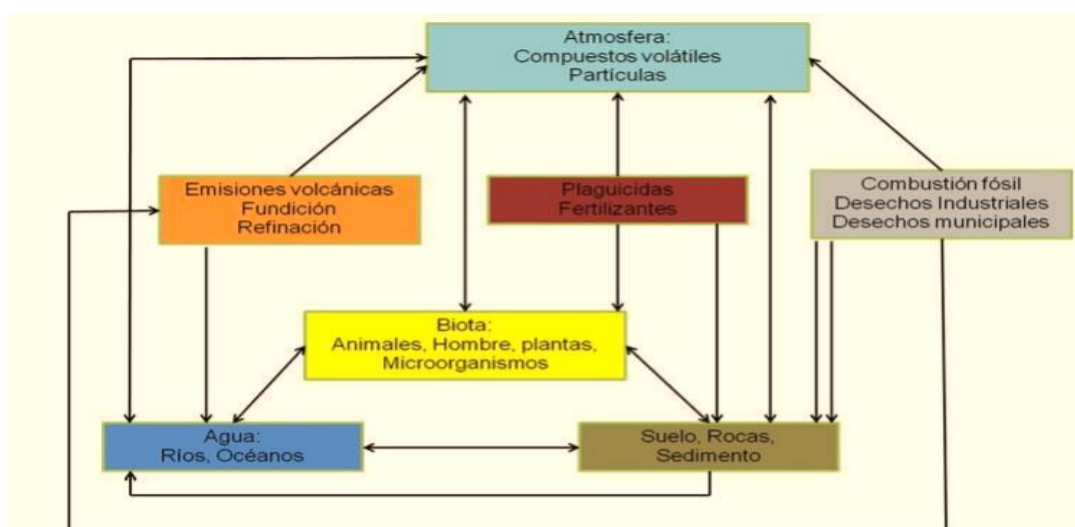
Propiedades físicas del Arsénico. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

Propiedades físicas	
Fórmula química	As
Número atómico	33
Masa atómica	74,99 g/mol
Potencial de ionización	10.08 e. v
Densidad	5.72 g/mol
Punto de ebullición	613°C
Punto de fusión	817°C
Umbral de olor	Inodoro

Nota. Adaptado de *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes* (PRTR - España, 2007)

Figura 11

Ciclo del arsénico en el medio ambiente, en el que el azufre sufre procesos de volatilización, precipitación y especiación



Nota. Adaptado de *Arsénico en Agua* (p.18), por Alarcón et al. 2013, Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

2.2.3.1. Arsénico en el agua

Este elemento se encuentra de forma natural en el agua debido a la disolución de minerales que se encuentran en depósitos geológicos, también podemos sumar las descargas de efluentes industriales y la sedimentación atmosférica. En aguas que presentan un alto contenido de oxígeno es más frecuente hallar arsénico pentavalente o arsenato (As^{+5}); y en condiciones de reducción, por lo general en sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, será más común hallar arsénico trivalente o arsenito (As^{+3}), siendo estos dos los estados de oxidación de mayor presencia en el agua. (Alarcón et al., 2013)

2.2.3.2. Arsénico en aguas subterráneas

Los ambientes geológicos como: formaciones volcánicas, sistemas hidrotermales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias entre otros, están relacionadas con la contaminación natural el agua subterránea por arsénico. Una peculiaridad del contenido de arsénico estas aguas es que no siempre hay una relación directa entre el contenido de arsénico en los materiales que conforman el acuífero y el contenido de arsénico en el agua. (Lillo, 2008)

2.2.3.3. Efectos del arsénico sobre la salud

La exposición a este elemento puede darse por inhalación de arsénico en el aire, por ingestión de alimentos y agua, y por absorción dérmica. (Medina et al., 2018)

Efectos a corto plazo

Cuando se ingieren grandes dosis de arsénico suele darse dolor abdominal y cólicos, náuseas y vómitos violentos y diarrea profusa, luego puede originar fallos múltiples de órganos (corazón, riñones e hígado) y finalmente causar la muerte. (Medina et al., 2018)

Figura 12

Presencia de líneas Mees, a los 3 meses de una intoxicación por arsénico



Nota. Adaptado de Guía Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Arsénico (P.17), por MINSA, 2011, Ministerio de Salud.

Efectos a largo plazo

Dentro de los efectos a largo plazo se conoce a la enfermedad Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACER), esta se produce debido a la ingesta o exposición sistemática al arsénico contenida en el agua. El curso de esta enfermedad se divide en cuatro etapas. (Alarcón et al., 2013)

En la primera etapa, denominada período hiperhidrótico, las palmas y plantas presentan descamación acompañada de picor y dolor. En la segunda etapa, denominada período hiperqueratósico, se da el engrosamiento de la epidermis donde se manifiesta la lesión, suele fisurarse y ulcerarse, probando un intenso dolor; el pelo se vuelve quebradizo y se originan lesiones en las uñas. En la tercera etapa, denominada período melanodérmico, aparecen manchas en el tronco, pero puede no aparecer en transcurso de la enfermedad. En la cuarta etapa, denominada período final, algunas de las lesiones que terminaron ulcerándose, se convierten en carcinomas; otros experimentan inflamaciones crónicas como hepatosis, nefroesclerosis, polineuritis,

cardiopatías y consunción general, que, de acuerdo a la gravedad, puede devenir en la muerte. (Alarcón et al., 2013)

Figura 13

Mano con manchas y úlceras provocadas por la exposición prolongada al arsénico



Nota. Adaptado de *Arsénico en Agua* (p.28), por Alarcón et al., 2013, Centro de Investigación en Materiales Avanzados. (Alarcón et al., 2013)

Incidencia de cáncer por exposición al arsénico

Por su proceso de biotransformación el arsénico tiene efectos a niveles genéticos y epigenéticos. El Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) confirmó que la exposición al arsénico está asociada al cáncer a la piel, vejiga y pulmones, y demostró que la capacidad del arsénico para inducir tumores cancerosos en el hígado, próstata y riñón. (Medina et al., 2018)

Figura 14

Cáncer de piel en la palma de un paciente que ingirió agua contaminada con arsénico por un largo periodo



Nota. Adaptado de Arsénico ToxFAQs – Arsénico (Arsenic) [fotografía], por ATSDR, 2021, fuente (<https://www.atsdr.cdc.gov/>). CC BY 2.0

2.2.4. Bario

Es un elemento blanco-plateado que al exponerse al aire se torna de color plateado-amarillento; se encuentra en la naturaleza en formas diferentes, como compuestos de bario: polvos y cristales; las dos formas que presenta el bario son: sulfato de bario y carbonato de bario, que a menudo se encuentran en la naturaleza en depósitos minerales subterráneos, a veces se encuentran también de forma natural en el agua potable y alimentos. El bario y sus compuestos son usados en industrias de gas y petróleo en la fabricación de lodos de perforación, en el tratamiento de agua de calderas, lubricantes, etc. (ATSDR, 2016)

Tabla 4

Propiedades físicas del bario

Propiedades físicas	
Fórmula química	Ba
Número atómico	56
Masa atómica	137
Potencial de ionización	5.24 e. v
Densidad	3620 kg/m3
Punto de ebullición	1140°C a 1637°C
Punto de fusión	710°C

Nota. Hoja informativa sobre sustancias peligrosas (NJDOH, 2016).

Figura 15

Imagen del elemento bario



Nota. Adaptado de *Elemento de la Semana* [Fotografía], por Lavinsky, 2020, Fuente (<https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/elementos-quimicos/bario/>). CC-BY-SA-3.0/CC BY-SA

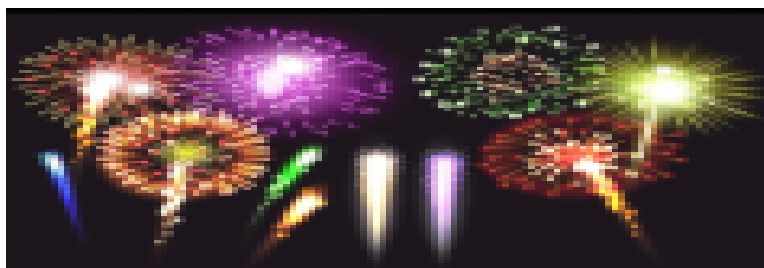
2.2.4.1. Bario en el ambiente

El tiempo que el bario permanece en el aire, suelo, agua y sedimentos luego de ser liberados depende de la forma de bario que se desprendió del bario elemental. Los compuestos de bario que no se disuelven en agua pueden permanecer mucho tiempo en el ambiente; la

presencia en el ambiente de los compuestos de bario que se disuelven en agua permanece menos tiempo. (ATSDR, 2016)

Figura 16

Nitrato de bario utilizado en la fabricación de fuegos artificiales por sus características explosivas



Nota. Adaptado de Los 8 Usos del Bario Mas Importantes y sus Beneficios [Imagen], por Geología Web, 2018, Fuente (<https://geologiaweb.com/geologia-economica/usos-del-bario/>). CC BY 2.0

2.2.4.2. ¿Cómo entra al cuerpo el bario?

Puede entrar por las vías respiratorias, ingiriendo alimentos o bebiendo agua con contenido en bario, también puede entrar al cuerpo por la piel al estar expuesta y algunos compuestos del bario pueden pasar al torrente sanguíneo; la mayor parte del bario que entra al cuerpo se elimina en las heces u orina en una o dos semanas, y la parte que se queda en el cuerpo se almacena en los huesos y dientes. (ATSDR, 2016)

2.2.4.3. Riesgos para la salud por la exposición al bario

Efectos agudos a corto plazo: puede irritar y quemar la piel y los ojos; la inhalación puede irritar la nariz, garganta y los pulmones, causando tos, respiración con silbido o falta de aire; si la intoxicación es muy alta puede causar náuseas, vómitos, diarreas, arritmia cardíaca, debilidad muscular, temblores, parálisis e incluso la muerte. (NJDOH, 2016)

Efectos crónicos a largo plazo: irritación de los pulmones, la exposición repetida puede causar bronquitis con tos, flema o falta de aire; puede causar daños al riñón, anomalías en la radiografía de tórax (que por lo general tarda años en manifestarse). (NJDOH, 2016)

2.2.5. Agua de uso recreativo

De acuerdo con los Estándares de Calidad para Agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), artículo 3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional, inciso b) subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación, se refiere a estas aguas como aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales y comprende dos categorías:

- B1. Contacto primario: para desarrollo de actividades como natación, buceo, esquí, canotaje, surf, entre otras actividades.
- B2. Contacto secundario: para desarrollo de actividades como deportes con botes o similares.

En el artículo 5° Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio, mencionan que los parámetros de los ECA se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los IGAs, para ello se considera las siguientes variables:

- a) Parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente.
- b) Condiciones naturales que caractericen el estado de la calidad de las aguas superficiales que han sido alteradas.
- c) Niveles de fondo que proporcionen información sobre la concentración de sustancias o agentes físicos, químicos o biológicos.
- d) El efecto de otras descargas en la zona.
- e) Otras características particulares de la actividad que pueda influir en la calidad del agua.

En el siguiente cuadro se desarrollará los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos, microbiológicos y parasitológicos para aguas de uso

recreativo de contacto primario, de acuerdo con los Estándares de Calidad para Agua.

Tabla 5

Parámetros físicos – químicos para aguas superficiales para uso recreativo de contacto primario

Subcategoría B: aguas superficiales destinadas para recreación					
B1: contacto primario					
Parámetros físicos – químicos					
Parámetros	Unidad de medida		Parámetros	Unidad de medida	
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Nitratos ($NO_3^- - N$)	mg/L	10
Cianuro Libre	mg/L	0.022	Nitritos ($NO_2^- - N$)	mg/L	1
Cianuro Wad	mg/L	0.08	Olor	Factor de Dilución	Aceptable
Color	Color verdadero Pt/Co	Sin cambio normal	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
DBO5	mg/L	5	pH	Unidad de pH	6.0 a 9.0
DQO	mg/L	30	Sulfuros	mg/L	0.05
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.5	Turbiedad	UNT	100
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante			

Nota. Adaptado de Estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 1 recreacional físicos y químicos según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Tabla 6

Parámetros inorgánicos para aguas superficiales para uso recreativo de contacto primario

Subcategoría B: aguas superficiales destinadas para recreación					
B1: contacto primario					
Parámetros Inorgánicos					
Parámetros	Unidad de medida		Parámetros	Unidad de medida	
Aluminio	mg/L	0.2	Hierro	mg/L	0.3
Antimonio	mg/L	0.006	Manganeso	mg/L	0.1
Arsénico	mg/L	0.01	Mercurio	mg/L	0.001
Bario	mg/L	0.7	Níquel	mg/L	0.02
Berilio	mg/L	0.04	Plata	mg/L	0.01
Boro	mg/L	0.5	Plomo	mg/L	0.01
Cadmio	mg/L	0.01	Selenio	mg/L	0.01
Cobre	mg/L	2	Uranio	mg/L	0.02
Cromo Total	mg/L	0.05	Vanadio	mg/L	0.1
Cromo VI	mg/L	0.05	Zinc	mg/L	3

Nota. Adaptado de Estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 1 recreacional físicos y químicos según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Tabla 7

Parámetros microbiológicos y parasitológicos para aguas superficiales para uso recreativo de contacto primario

Subcategoría B: aguas superficiales destinadas para recreación					
B1: contacto primario					
Parámetros Microbiológicos y Parasitológicos					
Parámetros	Unidad de medida		Parámetros	Unidad de medida	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0
Formas Parasitarias	Nº Organismo/L	0	<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia
<i>Giardia duodenalis</i>	Nº Organismo/L	Ausencia			

Nota. Adaptado de Estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 1 recreacional microbiológicos y parasitológicos según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

2.2.5.1. Índice de calidad de Agua (ICA)

De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua y La Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (ANA & DCERH, 2018), en cuyo artículo: Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales, mencionan que los Índices de Calidad de Agua (ICA) son instrumentos matemáticos que contienen información de varios parámetros, permitiendo transformar datos en una única escala de medición de la calidad del agua y permiten transmitir la información de manera sencilla. Las dos entidades antes mencionadas elaboraron el ICA-PE, que es el Índice de la Calidad del Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú, este indicador representa la calidad en

los cuerpos naturales de agua de forma resumida y simplificada, ya que necesita menos información.

2.2.5.2. Parámetros que se evalúan en el ICA-PE

En el siguiente cuadro desarrollaremos los parámetros y unidades en los que se miden. De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua, estos parámetros son recurrentes en los monitoreos que han realizado. Los parámetros y la categorización de las aguas del artículo “Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales”, son referenciadas de los ECA para agua.

Tabla 8

Parámetros considerados en la categoría 1-A2 Poblacional y Recreacional: aguas potabilizadas con tratamiento convencional

Parámetros considerados en la Categoría 1-A2 Poblacional y Recreacional: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional					
N°	Parámetro	Unidad de medida	N°	Parámetro	Unidad de medida
01	Oxígeno disuelto	mg/L	08	Manganeso	mg/L
02	DBO5	mg/L	09	Plomo	mg/L
03	Arsénico	mg/L	10	Mercurio	mg/L
04	Cadmio	mg/L	11	Zinc	mg/L
05	Cobre	mg/L	12	pH	Unid. De pH
06	Cromo Total	mg/L	13	Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml
07	Hierro	mg/L			

Nota. Adaptado de Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (ANA & DCERH, 2018).

2.2.5.3. Cálculo del índice de calidad ICA – PE

Para su determinación se aplica la formula canadiense, que comprende tres factores: alcance, frecuencia y amplitud. El valor numérico obtenido representa la calidad del agua, y esta va de 0 a 100. (ANA & DCERH, 2018)

Alcance (F1): representa la cantidad de parámetros que no cumplen los valores establecidos por la ECA para agua, respecto al total de parámetros a evaluar. (ANA & DCERH, 2018)

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

Frecuencia (F2): representa la cantidad de datos que no cumplen con la ECA para agua, respecto al total de los parámetros a evaluar. (ANA & DCERH, 2018)

$$F_2 = \frac{\text{Numero de parámetros que no cumplen el ECA de los datos evaluados}}{\text{Número Total de datos evaluados}}$$

Datos = resultado de monitoreos.

Amplitud (F3): medida de desviación determinada por la suma normalizada de los excesos de todos los datos. (ANA & DCERH, 2018)

$$F_3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} * 100$$

Suma Normalizada de Excedentes (nse):

$$\text{nse} = \text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}}$$

Luego de haber obtenido los valores de F1, F2 y F3 se procede a calcular el **ICA-PE**.

$$\text{ICA-PE} = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

El ICA-PE presenta 5 rangos que expresan la calidad del agua, la siguiente tabla se desarrollará esos 5 rangos.

Tabla 9

Interpretación de la calidad ICA-PE

ICA-PE	Calificación	Interpretación
90 - 100	Excelente	Ausencia de amenazas. Condiciones cercanas a niveles deseados.
75 – 89	Bueno	Presencia de amenazas de poca magnitud. No necesita tratamiento.
45 – 74	Regular	La calidad del agua es amenazada o dañada ocasionalmente. La calidad se aleja de los valores deseables. Probablemente necesite tratamiento, dependiendo del uso.
30 - 44	Malo	No cumple con los objetivos de calidad. Necesita tratamiento.
0 - 29	Pésimo	No cumple con los objetivos de calidad. Necesita tratamiento para todos los usos.

Nota. Adaptado de Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (ANA & DCERH, 2018)

2.2.6. Aguas Termales

La subducción que inició en el Mesozoico y que continua hasta hoy, originó actividad magmática y elevados flujos térmicos en la corteza terrestre, formando así sistemas geotermales en la zona centro, sur y norte del Perú. En la zona centro del Perú, el estudio realizado por el INGEMMET en 1999, identificó más de 60 manifestaciones de aguas termales y minerales. La mayoría de las aguas estudiadas son de clase sulfatada y bicarbonatada, con temperaturas que oscilan entre 10 a 70 °C y nivel de pH entre 4.6 y 8.2. El estudio asume que, basándose en los elementos traza encontrados en las aguas y nivel estratigráfico de su

afloramiento, las aguas profundas provienen de acuíferos ubicados en rocas paleozoicas y/o precámbricas. (Steinmüller & Huamaní, 1999)

2.2.6.1. Estratigrafía en el centro del Perú

En la parte centro del Perú (se estudió las zonas de Huaraz, La Unión, Oyón, Jauja, Huancavelica y Andahuaylas), estas zonas están constituidas por rocas metamórficas, sedimentarias y magmáticas del Proterozoico, Mesozoico y Cenozoico. (Steinmüller & Huamaní, 1999)

2.2.6.2. Fuentes termales

INGEMMET basó la clasificación de las aguas en su temperatura, contenido de iones en solución y composición química. Las aguas con temperatura de 20 o más de 20 han sido clasificadas como **aguas termales** y las aguas que contienen más de 1000 mg/l de iones en solución, han sido clasificadas como **aguas minerales**. (Steinmüller & Huamaní, 1999)

2.2.6.3. Características de las aguas termales de La Unión

Las aguas termales analizadas fueron las de Conoc y Tauripampa, ubicados en el distrito de Ripán y el distrito de La Unión, respectivamente, pertenecientes a la provincia de Dos de Mayo, departamento de Huánuco. Las fuentes de Conoc y Tauripampa son usadas como baños termales; sus aguas surgen en forma de manantial y pertenecen al grupo de aguas bicarbonatadas – cloruradas; Conoc presenta una temperatura de 38 °C y un pH de 6.3 y Tauripampa presenta una temperatura de 44 °C y un pH de 7.1. Los estudios realizados dieron a conocer que ambos balnearios presentan altos contenidos en arsénico y bario. Los investigadores señalan que las aguas termales de Tauripampa no son recomendables para baños, debido al alto contenido de As y Ba. (Steinmüller & Huamaní, 1999)

Tabla 10*Características de las aguas termales del balneario termal Tauripampa*

Características de la fuente termal Tauripampa			
Código	Un-2	Tipo de sugerencia	vapor manantial
Mapa de Ubicación	20-j	Uso	Baño a vapor Poza rustica
Coordenadas longitud	78°48'45"	Caudal	vapor 0.1
Coordenadas latitud	09°50'28"	Temperatura	44.0 43.0
Altitud	3300 msnm	pH	6.6 6.3
Situación geológica	Gpo. Goyllarisquisga (arenisca)	Conductividad eléctrica us/cm	1800 1900
Temp. Del reservorio		Gases	
Tipo de agua	Termal		

Nota. Adaptado de Aguas Termales y Minerales en el Centro del Perú INGEMMET Steinmüller & Huamaní, (1999, p. 30).

Tabla 11

Niveles de los parámetros químicos del agua del balneario termal

Tauripampa

Química de las aguas termales de Tauripampa							
Parámetros químicos (mg/l)							
Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Fe
110	17	190	15	258	170	9	0.1
Mn	Hg	As	Sr	Ba	Al	Li	Cs
0.04	<0.0002	0.17	1.1	1.1	0.02	0.4	<0.2
Rb	HCO ₃ (Cl+SO ₄)	(Ca+Mg) (Na+K)	Cl/Li	Na/Li	Clasificación química del agua		
0.3	1.44	1.61	425.0	55.2	Bicarbonato-Cloruro- cálcico-sódico		

Nota. Adaptado de Aguas Termales y Minerales en el Centro del Perú
INGEMMET INGEMMET Steinmüller & Huamaní, (1999, p. 32)

Figura 17

Baños termales de Tauripampa



Nota. Adaptado de La Revista de Infohuallanca [Fotografía], por
INFOHUALLANCA, 2014, Fuente (<http://infovista.blogspot.com/>). CC BY
2.0

2.2.6.4. Marco legal del uso de las aguas termales en el Perú

Decreto supremo N.º 25533: Otorgamiento de la Licencia para el uso de las fuentes de Aguas Minero-Medicinales y el control de su explotación con fines turísticos es de competencia MICTI (hoy MINCETUR)".

Decreto Supremo N.º 015-2005-MINCETUR, que modifica al Reglamento de Aguas Minero – Medicinales en los artículos 2º, 3º, 5º, 7º, 9º, 10º, 11º, 12º, 13º y 14, con el objeto de actualizar el marco legal que regula el uso turístico de estas aguas. En el artículo 3º se menciona lo siguiente: el reglamento se refiere únicamente a la explotación de agua minero-medicinal con fines turísticos. En este mismo artículo se expresa que el reglamento no comprende ni regula el uso terapéutico, explotación industrial para plantas embotelladoras de agua de tipo minero-medicinal (estas son reguladas por el Ministerio de Salud).

En el artículo 7.2 inciso "a", se menciona que las Direcciones Regionales de Comercio Exterior y Turismo de los Gobiernos Regionales deben de llevar y mantener un registro de las Fuentes de agua minero-medicinales, gases y lodos medicinales de la respectiva región, y debe remitir la información a remitir la Dirección Nacional de Desarrollo Turístico. En el inciso "e" menciona que debe presentar anualmente información de la calidad del agua minero-medicinal y la gestión de las fuentes a la Autoridad de Salud.

El artículo 9º menciona la clasificación de las aguas de acuerdo a sus componentes químicos y propiedades físicas (dicha clasificación corresponde al INGEMMET): por sus propiedades físicas, aguas que superen los 20°C son clasificadas como termales. Por sus propiedades químicas, cuando su composición iónica supera 1000 mg/l. Por sus propiedades físico-químicas, cuando tienen características termales y minerales. Por sus fórmulas hidroquímicas, cuando su contenido en iones supera el 20%. Por su radiactividad, por su potencia expresada en milicuries. Por su presión osmótica, adoptando como valor medio el del suero sanguíneo humano (p, '55).

Ley N.º26848 Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos (Ministerio de Energía y Minas), norma el aprovechamiento de los recursos geotérmicos del suelo y subsuelo. En el artículo 47º se estipula que son los titulares los que son responsables por todo perjuicio o daño causado al Estado, personas y al medio ambiente como resultado de su trabajo u operaciones.

Citando a Vargas (2010), de acuerdo con su trabajo: Las Fuentes Termales en el Perú, Estado y Uso Actual, donde expresa que no hay una coherencia sobre quién es el responsable directo legal del uso de las fuentes termales, menciona que MINCETUR solo contempla lo mencionado en el artículo 3º y 9º, y no fomenta el estudio de los recursos termales por parte de sus concesionarios, por lo que no se genera un conocimiento técnico para hacer sostenible el uso de aguas termales; menciona también que el Ministerio de Energía y Minas solo contempla la generación de energía eléctrica, uso de recursos geotérmicos de alta entalpía.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Calidad del agua

De acuerdo con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2017), es un término usado para definir las características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua. Y que la calidad de esta dependerá del uso que se le va a dar, es decir, que el término de calidad de agua no abarca los mismos parámetros y niveles de elementos o sustancias en el agua para consumo humano, regadío o de uso recreativo. La Guía de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua, declara que la calidad del agua es un conjunto de características, químicas, físicas y biológicas, y son estas características lo que la hacen apta para distintos usos. (Rodrigo et al., 2018)

Índice de calidad del agua

EL índice de calidad del agua (ICA) tiene por objetivo simplificar el proceso de medición, para ello cuenta con un conjunto de parámetros que proporcionan información sobre el estado del agua evaluada. Para su determinación, de forma general, intervienen 9 parámetros: coliformes fecales, DBO5, pH, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto. Fue propuesto por Brown. (SNET, 2007) De acuerdo con Valcárcel et al. (2009), el índice de Calidad del Agua (ICA) es una expresión simple donde se combinan parámetros que caracterizan la calidad del agua.

Agua de uso recreativo

Uso del agua para actividades de ocio realizadas en embalses, ríos y parajes de un modo no consuntivo. Uso del agua no incluidas en actividades industriales. (RAE, 2020)

Oxidación Solar

La oxidación solar propicia la velocidad de la reacción, es decir, cambios fotoquímicos en una molécula. No solo puede llevar a cabo oxidaciones, sino también reducciones. Para llevar a cabo la oxidación solar se necesita del suministro de oxígeno. La oxidación solar propicia la generación de radicales hidroxilos. (Chiva et al., 2017)

Arsénico

Es un metal – metaloide, porque comparte muchas propiedades con estos y se presenta en la naturaleza en cuatro estados de oxidación: +5, +3, 0 y -3 (arseniato, arsenito y arsénico elemental. (Mateos, 2012)

Bario

Es un metal cuyo número atómico es 56, color blanco amarillento, blando, pesado y abundante en la corteza terrestre. (ASALE & RAE, 2014)

Agua termal

De acuerdo con Fagundo et al. (2007), se trata de agua mineral, cuya temperatura debe estar por encima de la media anual ambiental del lugar de donde emergen por lo menos en 4°C.

Sínter

De acuerdo al Dr. Griem (2007), es una caliza de agua dulce que se forma por precipitación de CaCO_3 (carbonato de calcio) cerca de manantiales debió al cambio de temperatura y la presión en el agua.

Aguas Continentales

Son masas de agua que se encuentran en las regiones continentales del planeta, generalmente constituida por agua dulce, cuya presencia en la biosfera es constante. (Roldán, 2019)

2.4 HIPÓTESIS

El proceso de oxidación solar tiene efecto en la remoción de arsénico y bario en aguas del balneario termal Tauripampa.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variable independiente

Proceso de oxidación solar

2.5.2. Variable dependiente

Remoción de arsénico y bario

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“EFECTO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN SOLAR EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y BARIO EN AGUAS DEL BALNEARIO TERMAL TAURIPAMPA”

Variable Independiente	Indicador	Unidad de medición	Tipo de variable
Método de oxidación solar	Cantidad de gotas de limón	mL	Numérica continua
	Cantidad de hierro	cm	
	Tiempo de exposición al sol	h	
Variable dependiente	Indicador	Unidad de medición	Tipo de variable
Remoción de arsénico y bario	Nivel de arsénico y bario	mg/L	Numérica continua
Variables de caracterización	Indicador	Unidad de medición	Tipo de variable
Calidad del agua	Parámetros inorgánicos		Numérica continua
	- Manganeso	mg/L	
	- Mercurio	mg/L	
	- Aluminio	mg/L	
	- Antimonio	mg/L	
	- Berilio	mg/L	
	- Boro	mg/L	
	- Cadmio	mg/L	
	- Cobre	mg/L	
	- Cromo	mg/L	
	- Hierro	mg/L	
	- Níquel	mg/L	
	- Plata	mg/L	
	- Plomo	mg/L	
	- Selenio	mg/L	
	- Uranio	mg/L	
	- Vanadio	mg/L	
	- Zinc	mg/L	
	Parámetros de campo		
	- Conductividad	us/cm	
	- Sólidos Totales	ppm	
	- Temperatura	T°	
	- pH	Unidad de pH	

Nota. Para determinar los parámetros a analizar se realizó una comparativa entre los parámetros evaluados por INGEMMET Steinmüller & Huamaní, (1999, p. 32) y el D.S. N°004-2017-MINAM, Categoría 1, Subcategoría B-B1.

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio sigue la siguiente taxonomía: Experimental, según la intervención del investigador; Prospectivo, según el control de las mediciones; Longitudinal, según el número de mediciones en la variable de estudio y Analítico, según el número de variables analíticas (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.1. Enfoque

El estudio cuenta con un enfoque cuantitativo, en virtud de que se hace uso de la estadística como herramienta para la recolección, organización, procesamiento, análisis de datos. (Supo & Zacarías, 2020)

3.1. 2. Alcance o nivel

El presente estudio corresponde al nivel explicativo, debido a que se evalúa el efecto de una variable sobre la otra, esto es, se evalúa la causalidad. La variable independiente es Método de Oxidación Solar y la variable dependiente es la Remoción de Arsénico y Bario.

3.1. 3. Diseño

En el presente estudio se sigue el diseño: experimental, longitudinal, prospectivo y analítico. A continuación, se presenta el esquema a seguir, el cual corresponde a un cuasi experimento

GE: O1 – X1 – O2

Donde:

GE: grupo experimental

O1: observación inicial

X1: intervención con el método de oxidación solar

O2: observación final

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Se contempla como población de estudio al agua termal de uso recreativo, ubicado en el balneario termal Tauripampa, distrito de La Unión, provincia de Dos de Mayo, departamento de Huánuco. Cuyas coordenadas de ubicación son UTM WGS84 - 18S, cuyo plano se adjunta en el anexo 02.

El estudio se llevó a cabo en el periodo comprendido entre los meses de octubre y noviembre.

3.2.1. Muestra

Para las muestras de estudio: se tomó como guía el trabajo de investigación Remoción de Arsénico por Oxidación Solar en Aguas para Consumo Humano RAOS (Chávez & Miglio, 2011), considerando como variable dependiente la remoción de arsénico y bario, y como variable independiente el proceso de oxidación solar, constituida por alambre de hierro (de 2 g a 10 g), gotas de jugo de limón (0.5 ml a 2 ml), tiempo de exposición al sol (6 horas como mínimo), estos rangos fueron establecidos tomando como referencia la teoría. Para la elección del material contenedor del agua del balneario termal y en el que se realizó el experimento, se tomó como guía el trabajo de investigación Desinfección Solar del Agua – Guía de aplicación SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002), en el que indican el uso de botellas PET transparente que no superen los 10 cm de profundidad al ser colocadas de forma horizontal, por lo que se empleó botellas transparentes PET de 2 L; sumado a esto, el libro Arsénico en Agua, Presencia, Cuantificación y Mitigación (Alarcón et al., 2013), refiere que el recipiente plástico no debe exceder los dos 2 L. De acuerdo con los libros, la cantidad de Litros a ser tratada, depende del número de familias y de la cantidad de agua que necesiten consumir: el método RAOS y SODIS se diseñó como procesos sencillos y baratos para familias en zonas de bajos recursos económicos y donde no se tiene acceso a aguas de calidad; este proyecto experimentó sobre aguas termales que poseen un alto

contenido de arsénico (0.17 mg/L) y bario (1.1 mg/L), empleando el proceso de oxidación solar para evaluar los efectos de este método en la remoción de Ba y As, por lo que se tomó 8 L de agua termal como muestra para satisfacer la hipótesis, que se repartieron en 4 botellas PET transparentes de 2 L cada una y se realizaron 4 ensayos.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Para la recolección de datos

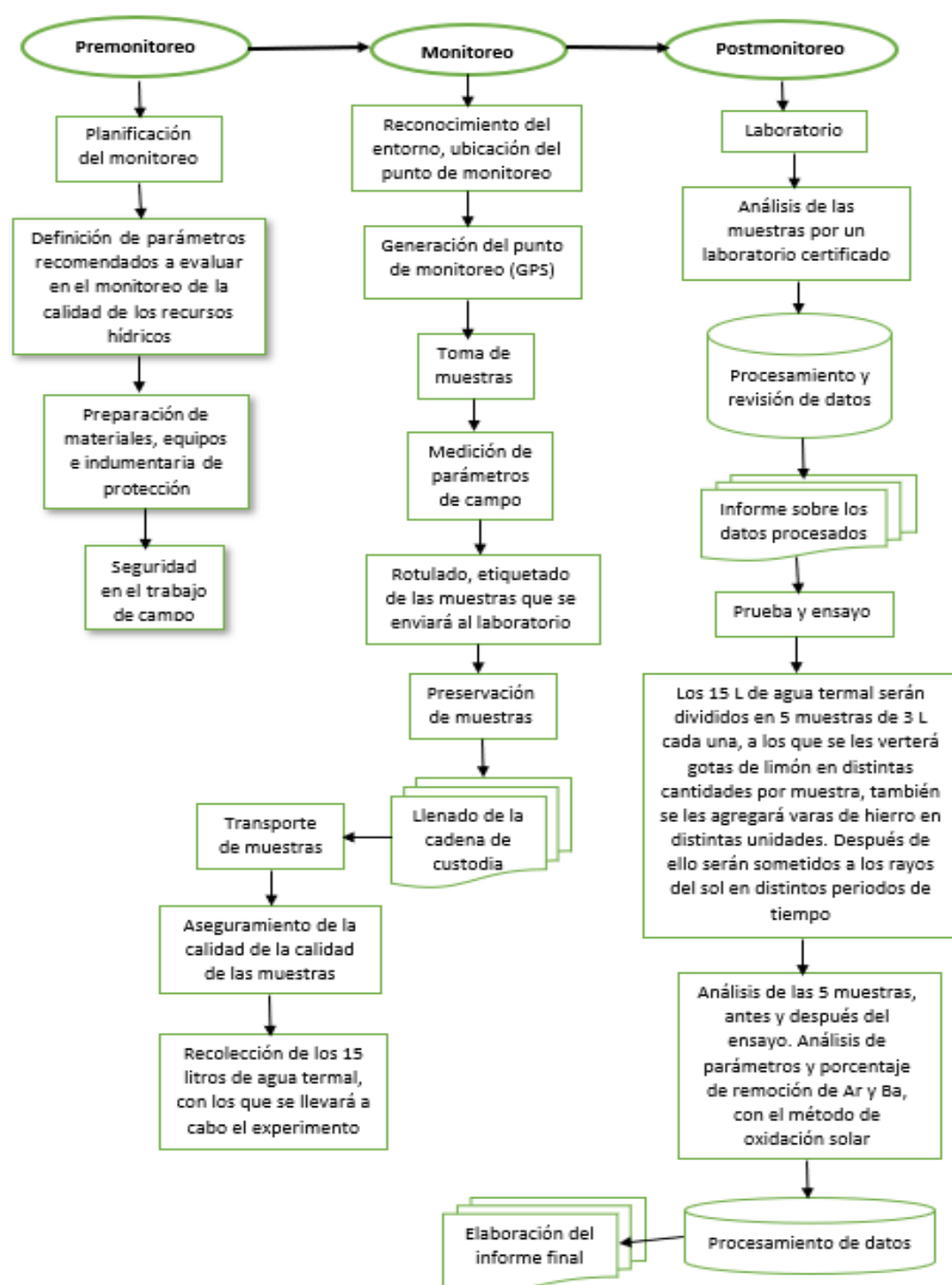
Para la recolección de datos se usó cadenas de custodia, en el anexo 03 se tiene el modelo para el registro de parámetros de campo. Esta cadena de custodia registró la medición de parámetros físicos in situ, para los que se usó un equipo multiparámetro y adicionalmente un GPS para la toma de coordenadas del punto de muestreo, que fue en el ojo del que nacen las aguas termales.

Luego se tomó muestras de agua de la naciente termal, que fueron enviadas a un laboratorio certificado por INACAL para un análisis más exacto de parámetros químicos. Se usó envases de plástico que conservaron con reactivos químicos en un cooler a cada muestra y fueron respectivamente rotuladas; esto se realizó para conocer el estado actual de los parámetros del agua termal.

Para la puesta en acción del método de remoción de arsénico y bario por Oxidación Solar se usaron 8 litros de agua termal obtenida del ojo de la fuente; se tuvo 4 muestras de 2 litros cada una contenidas en botellas PET transparentes, donde se ensayó con dosis de jugo de limón, alambres de hierro y radiación solar. Para esto se empleó una segunda cadena de custodia, cuyo modelo se encuentra en el anexo 04, en el que se registró los datos de los respectivos ensayos. Cada proceso y actividad fue registrada con fotografías.

Figura 18

Diagrama de actividades



Nota: el diagrama muestra el flujo de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto. Elaboración propia.

3.3.2. Consideraciones del trabajo de campo

3.3.2.1. Caracterización de las aguas del balneario Tauripampa

Para llevar a cabo la caracterización de los parámetros físicos y químicos: para medir los parámetros físicos se realizó un monitoreo, tomando una muestra de 500 mL de la naciente en una jarra milimetrada, en la que se empleó un equipo multiparámetro con el que se midió la temperatura, total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno.

Los niveles de los parámetros antes de emplearse el proceso de oxidación solar y después de haber sido empleada. (Sigler & Bauder, 2017), en su investigación sobre Alcalinidad, pH y Sólidos Disueltos Totales, mencionan que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) considera el pH y total de sólidos disueltos (TDS) como contaminantes secundarios, sugieren un rango óptimo de pH de 6.5 a 8.5 y 500 ppm de TDS, por lo que evaluarlas provee información de la calidad del agua. Los valores de los parámetros físicos después de haber empleado el proceso es el promedio de las 4 muestras.

Para caracterizar los parámetros químicos se hizo un contrato con el laboratorio certificado SGS de la ciudad de Lima; se tomó dos muestras de agua la naciente termal, una en un frasco de 60 mL en el que se añadió 6 gotas de ácido nítrico (HNO_3), esta muestra fue para el análisis de los metales totales y otra muestra en un frasco de 500 mL en el que se agregó 4 mL de solución buffer (NaOH) y 5 mL de hidróxido de sodio (NaOH 1N), esta muestra fue para el análisis de cromo hexavalente.

3.3.2.2. Caracterización de insumos

Se empleó alambre de hierro, conocido también como alambre negro, este material se obtuvo del Consorcio Aceros Arequipa; para determinar la cantidad se usó como guía la investigación de (Chávez & Miglio, 2011) y (Chapa, 2018),

agregando 6 gramos por litro (g/L), es decir 12 (g/L), ya que se trabajó con 2 L de agua.

Se utilizó jugo de limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle), cuyo pH es de 2.4 a 2.49; para determinar la dosis se usó como guía la investigación de (Chávez & Miglio, 2011) y (Chapa, 2018), agregando 1 mL, es decir 2 (mL), ya que se trabajó con 2 L de agua.

Se concentró los insumos en una botella PET transparente, que de acuerdo con el libro Desinfección Solar del Agua – Guía de aplicación SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002), el recipiente no debe superar los 10 cm de profundidad al colocarse de forma horizontal, esto debido a que la radiación solar se reduce al aumentar la profundidad; el libro Arsénico en Agua, Presencia, cuantificación y Mitigación (Alarcón et al., 2013), refiere que el recipiente no debe superar los 2 L.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), señala que el índice de radiación UV en el distrito de La Unión es de 16, ubicándola en el rango de “extremadamente alto”; este agente es la encargada de generar las reacciones fotoquímicas, por lo que las 4 muestras fueron expuestas durante 6 horas a radiación solar; para determinar la cantidad de horas de exposición al sol se tomó como guía las investigaciones de (Chávez & Miglio, 2011), (Chapa, 2018) y la teoría.

3.3.2.3. Caracterización de las muestras

Se monitoreó los parámetros físicos de las muestras antes de llevar a cabo la experimentación, los niveles obtenidos no varían con lo obtenido en la muestra madre. También se realizó el monitoreo de los parámetros físicos luego de empleado el proceso, cuyos resultados se pueden visualizar en la cadena de custodia, anexo 16. Se tomó 4 muestras de 500 mL contenidas en envases plásticos a los que se les agregó ácido nítrico (HNO₃) y

solución buffer (NaOH); las muestras fueron enviadas al laboratorio certificado CERTIFICAD de la ciudad de Lima.

3.3.3 Para la presentación de datos

El estudio contempla el uso de tablas y gráficos que derivan del estadístico, teniendo en cuenta la narrativa con un lenguaje científico para la interpretación de los resultados, los mismos que son necesarios para la descripción y conclusiones del estudio.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El estudio considera el empleo del software estadístico IBM SPSS, versión 25 para el procesamiento y análisis de la información. Se realizará el procesamiento y análisis de datos mediante la estadística descriptiva e inferencial, presentado medidas de resumen, tales como: medidas de tendencia central y medidas de dispersión. Así mismo, se tiene en consideración el uso de procedimientos estadísticos para la contrastación de la hipótesis, siendo que esa es la intención analítica del presente estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 12

Resultados descriptivos de la cantidad de Arsénico (mg/L) y Bario (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar

	As_PRE	As_POS	As_DIF	Ba_PRE	Ba_POS	Ba_DIF
Media	0.170	0.054	-0.116	1.100	0.926	-0.174
Error estándar de la media	0.000	0.001	0.001	0.000	0.014	0.014
Límite inferior 95% NC	0.170	0.052	-0.118	1.100	0.899	-0.201
Límite superior 95% NC	0.170	0.056	-0.114	1.100	0.954	-0.146

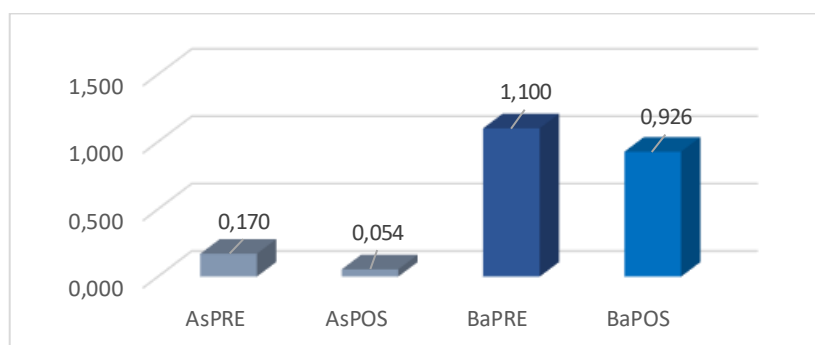
Nota: As_PRE (Arsénico Pretest): nivel de arsénico inicial; As_POS (Arsénico Pos test): nivel de arsénico luego de empleado el proceso de oxidación solar; As_DIF (Diferencia de Arsénico): diferencia obtenida entre el nivel arsénico inicial y el nivel de arsénico luego de emplear el proceso de oxidación solar; Ba_PRE (Bario Pretest): nivel de bario inicial; Ba_POS (Bario Pos test): nivel de bario luego de empleado el proceso de oxidación solar; Ba_DIF (Diferencia de Bario): diferencia obtenida entre el nivel de bario inicial y el nivel de bario luego de emplear el proceso de oxidación solar.

Esta tabla muestra el nivel inicial de arsénico, bario y el efecto de remoción del proceso de oxidación solar en estos dos parámetros, donde se puede observar que hubo un decremento promedio de 0.116 (mg/L) para el arsénico y 0.174 (mg/L) para el bario. Los niveles iniciales del arsénico y bario pueden ser consultados en la muestra madre, anexo 09. El promedio del nivel de arsénico y bario se obtuvo de los 4 ensayos que se realizó para probar el efecto del proceso de oxidación solar. Los resultados de cada

ensayo pueden ser consultados en los anexos 10 (1er ensayo), 11 (2do ensayo), 12 (3er ensayo) y 13 (4to ensayo). Información recolectada antes y después de la intervención.

Figura 19

Resultados descriptivos de la cantidad de Arsénico (mg/L) y Bario (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar



Nota: AsPRE (Arsénico Pre Test): nivel inicial de arsénico; AsPOS (Arsénico Pos Test): nivel de arsénico luego de aplicar el proceso de oxidación solar; BaPRE (Bario Pre Test): nivel inicial de bario; BaPOS (Bario Pos Test): nivel de bario luego de aplicar el proceso de oxidación solar.

En esta figura se aprecia que, en ambos casos, en la cantidad de Arsénico y Bario, ha habido un decremento luego de la intervención con el proceso de oxidación solar. Para el caso del Arsénico hubo un decremento promedio de 68.23% y en el Bario un decremento promedio de 15.81%. Información recolectada antes y después de la intervención.

Tabla 13

Resultados descriptivos del nivel de los parámetros físicos del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar

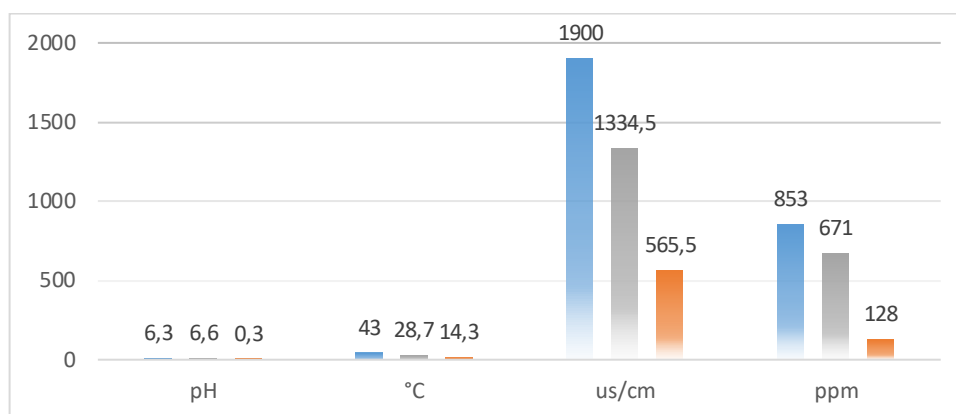
Parámetros	Unidad	Resultados		
		muestra madre	PRO_RES_POS	DIF_POS
Potencial de hidrógeno	pH	6.3	6.6	0.3
Temperatura	°C	43°	28.7	-14.3
Conductividad eléctrica	us/cm	1900	1334.5	-565.5
Total de sólidos disueltos	ppm	853	671	-128

Nota: PRO_RES_POS (promedio de resultados pos test): promedio de resultados obtenidos de los 4 ensayos luego aplicar el proceso de oxidación solar; DIF_POS (diferencia postest): diferencia obtenida entre los resultados de la muestra madre y el promedio de resultados luego de aplicar el proceso de oxidación solar.

Esta tabla muestra el nivel inicial de los parámetros físicos, así como el nivel promedio de estos mismos parámetros luego de aplicar el proceso de oxidación solar, también muestra la diferencia promedio. El potencial de hidrógeno (pH) tuvo un incremento de 0.3 respecto a su concentración inicial, la temperatura tuvo una reducción de 14.3 °C, la conductividad eléctrica tuvo una reducción de 565.5 (us/cm) y el total de sólidos disueltos tuvo una reducción de 128 (ppm). Los resultados iniciales de los parámetros físicos pueden ser consultados en el anexo 14 y los resultados de los parámetros físicos luego de emplear el proceso de oxidación solar pueden ser consultados en el anexo 16. Información recolectada antes y después de la intervención.

Figura 20

Resultados descriptivos del nivel de los parámetros físicos del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar



Nota: las barras azules muestran el nivel inicial de los parámetros físicos, las barras grises muestran el nivel promedio al que se redujo los parámetros físicos luego de aplicar el proceso de oxidación solar y las barras naranjas muestran la diferencia promedio de remoción del proceso en los parámetros físicos.

En esta figura se puede observar que luego de aplicar el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal hubo un incremento del 4.76% en nivel de potencial de hidrógeno (pH) respecto a la muestra madre, se aprecia también la reducción de la temperatura (°C) en un 33.26%, el nivel de la conductividad eléctrica (us/cm) se redujo en un 29.76% y el nivel del total de solidos disueltos (ppm) se redujo en un 21.34% respecto a la muestra madre. Información recolectada antes y después de la intervención.

Tabla 14

Resultados descriptivos de la cantidad de metales presentes (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar

	Media	Error estándar de la media	Límite inferior 95% NC	Límite superior 95% NC
Al_PRE	0.02040	0.00000	0.02040	0.02040
Al_POS	0.01061	0.00411	0.00255	0.01867
Sb_PRE	0.00129	0.00000	0.00129	0.00129
Sb_POS	0.00020	0.00000	0.00020	0.00020
Be_PRE	0.00013	0.00000	0.00013	0.00013
Be_POS	0.00015	0.00000	0.00015	0.00015
B_PRE	0.93000	0.00000	0.93000	0.93000
B_POS	1.36350	0.01717	1.32984	1.39716
Fe_PRE	0.15320	0.00000	0.15320	0.15320
Fe_POS	8.23325	0.69020	6.88046	9.58604
Mn_PRE	0.17306	0.00000	0.17306	0.17306
Mn_POS	0.12905	0.00177	0.12558	0.13252
U_PRE	0.00006	0.00000	0.00006	0.00006
U_POS	0.00005	0.00000	0.00005	0.00005
Zn_PRE	0.00600	0.00000	0.00600	0.00600
Zn_POS	0.00758	0.00425	-0.00076	0.01591
Ca_PRE	190.05400	0.00000	190.05400	190.05400
Ca_POS	156.77500	1.08349	154.65135	158.89865
Mg_PRE	20.16200	0.00000	20.16200	20.16200
Mg_POS	13.93500	0.13067	13.67888	14.19112
Sr_PRE	13.55300	0.00000	13.55300	13.55300
Sr_POS	1.03230	0.01600	1.00095	1.06365
K_PRE	20.38000	0.00000	20.38000	20.38000
K_POS	18.72250	0.24281	18.24659	19.19841
Li_PRE	16.14200	0.00000	16.14200	16.14200
Li_POS	1.50389	0.01984	1.46500	1.54278
Na_PRE	160.94600	0.00000	160.94600	160.94600
Na_POS	97.31500	0.68231	95.97768	98.65232

Nota: esta tabla muestra el nivel inicial del aluminio (Al), antimonio (Sb), berilio (Be), boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), uranio (U), zinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), estroncio (Sr), potasio (K), litio (Li), sodio (Na); la concentración inicial de cada elemento puede ser identificada al llevar "PRE" después del símbolo del metal. También muestra los niveles de cada parámetro mencionado luego de aplicar el proceso de oxidación solar; la

concentración de cada elemento puede ser identificada al llevar “POS” después del símbolo del metal.

Podemos apreciar que el proceso de oxidación solar aplicada a las aguas del balneario termal Tauripampa tuvo un efecto en la disminución de la concentración de Aluminio, Antimonio, Manganeso, Uranio, Calcio, Magnesio, Estroncio, Potasio, Litio y Sodio concentrada en el agua; también se puede apreciar un incremento (mg/L) en el berilio, boro, hierro y zinc. Información recolectada antes y después de la intervención.

Tabla 15

Comparación de los resultados de los parámetros químicos de la muestra madre y los parámetros químicos pos test con el D.S. N° 004-2017-MINAM

RESULTADOS PRE Y POS TEST		ECA CAT 1 – B – B1	ESTADO
Parámetros	mg/L	mg/L	
Ar_PRE	0.170	0.01	No cumple
Ar_POS	0.054		No cumple
Ba_PRE	1.1	0.7	No cumple
Ba_POS	0.926		No cumple
Al_PRE	0.02040	0.2	Cumple
Al_POS	0.01061		Cumple
Sb_PRE	0.00129	0.006	Cumple
Sb_POS	0.00020		Cumple
Be_PRE	0.00013	0.04	Cumple
Be_POS	0.00015		Cumple
B_PRE	0.93000	0.5	No cumple
B_POS	1.36350		No cumple
Fe_PRE	0.15320	0.3	Cumple
Fe_POS	8.23325		No cumple
Mn_PRE	0.17306	0.1	No cumple
Mn_POS	0.12905		No cumple
U_PRE	0.00006	0.02	Cumple
U_POS	0.00005		Cumple
Zn_PRE	0.00600	3	Cumple
Zn_POS	0.00758		Cumple
Ca_PRE	190.05400	No mide	
Ca_POS	156.77500		
Mg_PRE	20.16200	No mide	
Mg_POS	13.93500		
Sr_PRE	13.55300	No mide	
Sr_POS	1.03230		
K_PRE	20.38000	No mide	

K_POS	18.72250	
Li_PRE	16.14200	
Li_POS	1.50389	No mide
Na_PRE	160.94600	
Na_POS	97.31500	No mide

Nota: ECA CAT 1 – B – B1 (Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría 1, subcategoría B aguas destinadas para recreación, B1 contacto primario). Esta tabla compara los niveles establecidos por D.S. N° 004-2017-MINAM para la categoría 1, subcategoría B – B1 con los resultados del análisis de la muestra madre obtenidos del balneario termal Tauripampa evaluados por el laboratorio certificado SGS y los resultados del promedio de concentración luego de aplicar el proceso de oxidación solar, cuyas muestras fueron analizadas por el laboratorio certificado CERTIFICAL.

En los resultados de la muestra madre se puede apreciar que 4 parámetros químicos están por encima de lo establecido por el ECA para agua de uso recreativo: arsénico, bario, boro y manganeso. Así como también se puede apreciar que luego de emplear el proceso de oxidación solar el arsénico, bario y manganeso redujeron su nivel de concentración, pero continúan por encima del nivel establecido por esta norma; también se aprecia que luego de empleado este proceso hubo un incremento en el nivel de concentración del bario y hierro, ambos por encima del nivel establecido por el ECA para agua de uso recreativo de contacto primario. Esta norma no establece niveles a seguir para calcio, magnesio, estroncio, potasio, litio, sodio; han sido tomadas en cuenta porque el proceso tiene efecto sobre ellos.

Tabla 16

Comparación de los resultados de los parámetros físicos de la muestra madre y los parámetros físicos pos test con el D.S. N° 004-2017-MINAM

Parámetros	Unidad	Resultados muestra madre	PRO_RES _POS	ECA CAT 1 – B – B1	ESTADO
Potencial de hidrógeno	pH	6.3	6.6	6.0 a 9.0	Cumple
Temperatura	°C	43°	28.7	No mide	
Conductividad eléctrica	us/cm	1900	1334.5	No mide	
Total de sólidos disueltos	ppm	853	671	No mide	

Nota: PRO_RES_POS (promedio de resultados pos test): niveles de parámetros físicos obtenidos luego de aplicar el proceso de oxidación solar; ECA CAT 1 – B – B1 (Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría 1, subcategoría B aguas destinadas para recreación, B1 contacto primario).

Esta tabla compara los niveles de los parámetros físicos evaluados en la muestra madre y los parámetros físicos evaluados luego de emplear el proceso de oxidación solar con el D.S. N° 004-2017-MINAM; sin embargo, el ECA para agua no contempla niveles a seguir para la temperatura, total de sólidos disueltos y conductividad eléctrica.

Tabla 17

Prueba de normalidad para evaluar los datos recolectados del Arsénico y el Bario

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístic					
	o	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
As_DIF	,221	4	.	,938	4	0,642
Ba_DIF	,297	4	.	,841	4	0,199

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Información recolectada antes y después de la intervención

La prueba de normalidad, llevada a cabo con el test de Shapiro_Wilk, nos indica que el p-valor obtenido en los datos del Arsénico (0.642) y en los datos del Bario (0.199), en cada caso es superior al nivel de significancia (0.05 o 5%), por lo que podemos evidenciar que los datos se aproximan a una distribución normal. Por lo anterior, es pertinente el empleo de una prueba estadística paramétrica para la contrastación de la hipótesis, dicha prueba de contrastación es la t de Student para muestras relacionadas, pero como se trata de diferencias (pre y pos test) y de comparar con un parámetro, esta prueba puede ser llevada a cabo con la **t de Student para una muestra**.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En primer lugar, se evaluarán los datos del Arsénico, mediante el planteamiento de la siguiente hipótesis:

Hipótesis:

H1: El proceso de oxidación solar tiene efecto en la remoción de arsénico en aguas del balneario termal Tauripampa

La hipótesis nula niega la hipótesis alterna

Nivel de significancia: 5%

Procedimiento estadístico: t de Student para una muestra

Cálculo del p-valor:

Tabla 18

Prueba de muestra única del arsénico

Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 0.01 mg/L						
				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias		
t					Inferior	Superior
As_POS	44,323	3	0,000	,04363250	,0404997	,0467653

Nota: Información recolectada antes y después de la intervención

Se ha obtenido un p-valor de 0.000, el cual es inferior al nivel de significancia (0.05). Considerando que el valor de prueba es de 0.01 mg/L, encontramos que la cantidad de Arsénico encontrada en las aguas del balneario termal Tauripampa después del proceso de oxidación solar es diferente a dicho valor. Los datos descriptivos nos indican que, en promedio, luego de la intervención, se ha encontrado 0.054 mg/L de Arsénico en las aguas estudiadas.

En segundo lugar, se evaluarán los datos del Bario, mediante el planteamiento de la siguiente hipótesis:

Hipótesis:

H1: El proceso de oxidación solar tiene efecto en la remoción de bario en aguas del balneario termal Tauripampa

La hipótesis nula niega la hipótesis alterna

Nivel de significancia: 5%

Procedimiento estadístico: t de Student para una muestra

Cálculo del p-valor:

Tabla 19

Prueba de muestra única del bario

Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 0.7 mg/L						
				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Ba_POS	16,144	3	0,001	,22632500	,1817093	,2709407

Nota: Información recolectada antes y después de la intervención

Se ha obtenido un p-valor de 0.001 (0.1%), el cual es inferior al nivel de significancia (0.05). Considerando que el valor de prueba es de 0.7 mg/L, encontramos que la cantidad de Bario encontrada en las aguas del balneario termal Tauripampa después del proceso de oxidación solar es diferente a dicho valor. Los datos descriptivos nos indican que, en promedio, luego de la intervención, se ha encontrado 0.926 mg/L de Bario en las aguas estudiadas, es decir, se acepta la hipótesis alterna encontrándose que la diferencia con el valor de prueba es superior a este.

Tabla 20

Comparación del efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa

Metal	Antes (mg/L)	Condición inicial	Después (mg/L)	Condición posterior	Parámetro ECA 1-B1-MINAM
Arsénico	0.17	La condición actual del agua del balneario presenta 0.17 (mg/L) de arsénico, estando por encima de 0.01 (mg/L), que es el nivel establecido por el ECA.	0.054	La condición posterior del agua, aplicado el proceso de Oxidación Solar, consiguió disminuir el nivel de arsénico de un 0.17 (mg/L) a 0.054 (mg/L), aunque el nivel de arsénico sigue por encima de lo establecido por el ECA.	0.01
Bario	1.1	La condición actual del agua del balneario presenta 1.1 (mg/L) de bario, estando por encima de 0.7 (mg/L), que es el nivel establecido por el ECA.	0.926	La condición posterior del agua, aplicado el proceso de Oxidación Solar, consiguió disminuir el nivel de bario de un 1.1 (mg/L) a 0.926 (mg/L), aunque el nivel de bario sigue por encima de lo establecido por el ECA.	0.7

Nota: esta tabla muestra el nivel inicial del arsénico y bario, así como el efecto conseguido por el proceso de oxidación solar en estos dos metales.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con respecto al objetivo principal: Evaluar el efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa. La condición inicial del agua del balneario termal Tauripampa, de acuerdo con los resultados obtenidos por la primera muestra en la que se analizó la calidad actual del agua, señalaron que esta contiene 0.17 (mg/L) de arsénico; al emplear el proceso de oxidación solar se consiguió remover un 68.23% de arsénico inicial, es decir, ha removido 0.116 (mg/L). Aunque el proceso de oxidación solar haya surtido efecto removiendo una cantidad considerable de arsénico de las aguas del balneario termal, reduciéndolo a 0.054 (mg/L), no consiguió asentarlo en 0.01 (mg/L), que es el nivel establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para agua de uso recreativo de contacto primario.

Polo (2017), al realizar su estudio para remover arsénico de las aguas del río Sama, adaptó la tecnología RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) aplicando el calentamiento solar, para ello construyó un reactor tipo Bach con capacidad de 14 litros y con colector fotocatalítico; las muestras de agua con las que trabajó presentaban 0.37 (mg/L) de arsénico inicial, para sus ensayos agregó 16.8 gotas de limón, 16.8 (mg/L) de hierro y tiempo en el reactor de 170 minutos; Polo consiguió reducir los niveles de arsénico en las muestras de agua del río Sama a 0.01 (mg/L), que es el nivel establecido por el ECA para agua. Sus muestras fueron analizadas por él mismo empleando un “kit de arsénico”.

Chapa (2018), en su investigación para remover arsénico de las aguas del río Rímac – Huarochirí, empleó el proceso de oxidación solar para remover de 2.2 (mg/L) y 1.62 (mg/L) de arsénico a 0.128 (mg/L) y 0.002 (mg/L) respectivamente en 1L de agua, vertió de 2 a 5 gramos de alambre de hierro, 2 a 8 mL de jugo de limón y la exposición al sol fue de 2 a 8 horas, donde valoró el resultado más óptimo conseguido el día 2: trabajó con una muestra de 1L de agua proveniente del río Rímac, cuyo contenido de

arsénica inicial fue de 1.62 de (mg/L), vertió 6mL de jugo de limón, 6 horas de exposición al sol y 4 gramos de hierro, removiendo el arsénico a 0.002 (mg/L). Sus muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado donde solo se analizó el nivel de arsénico.

Paitan & Palomino (2017), en su investigación para remover arsénico contenido en el agua potable proveniente del río Quero – Jauja, aplicando el método de electrocoagulación, para lo cual utilizaron un rectificador de tensión variable, consiguiendo que las partículas contaminantes en suspensión con capacidad recolectora de iones de carga opuesta formen flóculos que por su peso se precipitaron y sedimentaron; para llevar a cabo sus ensayos emplearon muestras de agua de 1.8 L con una concentración de 0.0543 (mg/L) de arsénico inicial, puso la muestra en el rectificador de tensión variable con una densidad de corriente de 28.23 A/m² y un tiempo de resistencia de 25 minutos, consiguiendo reducir el nivel de arsénico a 0.0012 (mg/L). Sus muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado donde solo se analizó el nivel de arsénico.

Quijano (2019), en su investigación para la remoción de arsénico de las aguas del río Pelagatos – Pampas, empleando cenizas de paja de trigo, consiguió remover 0.023 (mg/L) de arsénico a 0.007 (mg/L); realizó sus ensayos en muestras de 1 L cada una, donde añadió 3 (g) de ceniza (esta contenía 0.507 g de óxido de hierro), el tiempo de contacto fue de 15 minutos; las cenizas fueron sometidas a 600°C por 45 minutos para su activación. Sus muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado donde solo se analizó el nivel de arsénico.

En cuanto a la condición inicial del agua con respecto al bario, los resultados obtenidos por la primera muestra en la que se analizó la calidad actual del agua, señalaron que esta contiene 1.1 (mg/L) de bario, cuyo nivel está por encima del aceptado; al aplicar el proceso de oxidación solar se logró remover 0.174 (mg/L) del bario inicial, es decir, un 15.81%; el proceso consiguió tener efecto removiendo bario en las aguas del balneario termal, reduciéndolo a 0.926 (mg/L), pero no consiguió asentarlo a 0.7 (mg/L), que

es el nivel establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para agua de uso recreativo de contacto primario.

Patiño (2020), en su investigación para comparar metodologías para la remoción de bario en aguas de producción de la industria petrolera analizó procesos fisicoquímicos y biológicos, los procesos fisicoquímicos consiguen un 90% de remoción de bario, dependiendo del tratamiento y material utilizado; para emplear un proceso fisicoquímicos utilizó nódulos de fibra hueca, coagulantes y floculantes con policloruro de aluminio, carbón activado y fotocátalisis, empleando 2 a 48 horas de tratamiento y la construcción de una planta; en cuanto a procesos biológicos para la remoción de bario, empleando fitorremediación, asociaciones microbianas, manglares, lagunas y estanques, determinó que son capaces de remover un 95% a 98% de bario, pero requiere de meses de tratamiento.

Díaz (2019), en su investigación para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en aguas residuales empleando nanoburbujas de aire - oxígeno; sus muestras de agua fueron obtenidas de la Laguna Aereada – Facultativa Covicorti con contenido de 0.056 (mg/L) de bario inicial; si bien el bario no se encuentra por encima de lo establecido por la ECA para agua, el objetivo de esta investigación fue remover metales pesados (específicamente Pb, Cd, Fe, Cu, Zn, Cr, Mn, Ba, Al, Hg) contenidas en estas aguas, para lo cual se puso 15 L de muestra en un sistema generador de nanoburbujas, constituida por una bomba de 0.5 HP, un generador de aire con conexión a un cilindro de oxígeno medicinal con 110 psi por 20 minutos; su proceso consiguió reducir en un 28.08% los metales pesados, en particular, la remoción de bario bajó a 0.01 (mg/L), es decir, lo redujo en un 80.36%.

El estudio contribuye en reconocer la capacidad del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico, pero también permite examinar su efecto de remoción sobre un metal en el que nunca se había empleado, el bario. A diferencia de los demás estudios donde se empleó la oxidación solar y se enfocaron de forma puntual en el análisis de los niveles de arsénico, este estudio permitió tener un panorama más amplio sobre el efecto del

proceso en los parámetros físicos y químicos del agua, posibilitando la identificación de más metales que reaccionan al proceso. Se puede acotar que hubo un incremento del hierro (Fe), cuya concentración inicial fue de 0.15320 (mg/L) e incrementó a 8.23325 (mg/L), el nivel establecido por el ECA es de 0.3 (mg/L); el incremento del hierro fue ocasionado porque se agregó 12 gramos de hierro, ocasionando el incremento en todas las muestras, por lo que se recomienda agregar menos de 12 gramos o no agregar si el agua en el que se va a trabajar presenta un nivel alto de este metal. La cantidad de jugo de limón sutil empleada fue de 2 mL en 2L de agua de origen termal, evidentemente la dosis de jugo de limón debe aumentarse; las horas de exposición al sol fueron 6 (la radiación solar en el distrito de La Unión es de 16 UV), la teoría indica que 6 horas bastan y se puede corroborar con las investigaciones de (Chávez & Miglio, 2011) y (Chapa, 2018), quienes expusieron sus muestras a 6 horas de sol. El estudio también permite examinar el efecto negativo de agregarle hierro a aguas que ya contienen este metal, así como su incidencia en la calidad del agua.

Con respecto al primer objetivo específico: Determinar los niveles de los parámetros físicos y químicos del agua del balneario termal Tauripampa. En cuanto a los parámetros físicos actuales del agua, se determinó que: pH 6.3, temperatura 43°C, conductividad eléctrica 1900 (us/cm) y total de sólidos disueltos 853 (ppm). En cuanto a los parámetros químicos del agua, se determinó el nivel actual de los siguientes metales: 0.02040 (mg/L) de aluminio, 0.00129 (mg/L) de antimonio, 0.17 (mg/L) de arsénico, 1.1 (mg/L) de bario, 0.00013 (mg/L) de berilio, 0.93 (mg/L) de boro, 0.15320 (mg/L) de hierro, 0.17306 (mg/L) de manganeso, 0.00006 (mg/L) de uranio, 0.006 (mg/L) de zinc, 190.05400 (mg/L) de calcio, 20.16200 (mg/L) de magnesio, 13.55300 (mg/L) de estroncio, 20.38000 (mg/L) de potasio, 16.14200 (mg/L) de litio, 160.94600 (mg/L) de sodio.

Polo (2017), en su estudio para remover arsénico del río sama, adaptando la tecnología RAOS aplicando calentamiento solar, determinó que los parámetros físicos iniciales del río Sama son: 8.15 de pH, Conductividad 2858 (us/L) y temperatura 25.2 °C; en cuanto a los parámetros químicos, determinó que el contenido de hierro total es de 0.047 (mg/L), turbiedad 4.41

NTU y arsénico total de 0.37 (mg/L). Sus parámetros químicos no fueron analizados en un laboratorio certificado por INACAL.

El estudio contribuye proporcionando información sobre el nivel actual de los parámetros físicos (analizados con un equipo multiparámetro calibrado) y químicos (analizados por el laboratorio S.G.S, certificada por INACAL). Sigler & Bauder (2017), en su investigación señalan que para la para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), el total de sólidos disueltos es considerado como un contaminante secundario, su concentración es un buen indicador de la calidad del agua y sugieren un máximo de 500 (ppm), comparándolo con lo obtenido en el balneario termal, esta excede lo sugerido. El análisis de los parámetros químicos permitió identificar que hay otros dos metales que están por encima del nivel establecido por los Estándares de Calidad para Agua de uso Recreativo de Contacto Primario, estos son el boro, cuya concentración es de 0.93 (mg/L) y manganeso, cuya concentración fue de 0.17306 (mg/L). teniendo en cuenta que la población domainina bebe estas aguas por considerarlas curativas, la información que este estudio proporciona es relevante.

Con respecto al segundo objetivo específico: Calcular el porcentaje de remoción de arsénico y bario con el proceso de oxidación solar en aguas del balneario termal Tauripampa. El proceso de oxidación solar consiguió remover un 68.23% de arsénico y un 15.81% de bario.

Chapa (2018), en su investigación para remover arsénico de las aguas del río Rímac – Huarochirí, aplicando el proceso de oxidación solar, consiguió remover un 99.8% de arsénico.

Díaz (2019), en su investigación para determinar la eficiencia de la remoción de contaminantes en aguas residuales empelando nanoburbujas de aire – oxígeno, consiguió remover un 80.36% de bario.

El estudio contribuye en acentuar la efectividad del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y ha permitido evaluar su efecto en un metal en el que ha sido aplicado por primera vez, el bario. También ha proporcionado un panorama más amplio para identificar otros metales en los

que tuvo efecto de remoción como: aluminio, en el que removió un 47.99%, removió un 84.49% de antimonio, 25.43% de manganeso, 16.66% de uranio, 17.51% de calcio, 30.88% de magnesio, 92.38% de estroncio, 8.13% de potasio, 90.68% de litio y un 39.54% de sodio.

Con respecto al tercer objetivo específico: Analizar los niveles de los parámetros físicos y químicos después de haber empleado el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal Tauripampa. El nivel de los parámetros físicos luego de haber empleado el proceso fue de: pH 6.6, temperatura 28.7°C, conductividad eléctrica 1334.5 (us/cm) y total de sólidos disueltos 671 (ppm). En cuanto a los niveles químicos, los resultados fueron: 0.01061 (mg/L) de aluminio, 0.00020 (mg/L) de antimonio, 0.00015 (mg/L) de berilio, 1.36350 (mg/L) de boro, 8.23325 (mg/L) de hierro, 0.12905 (mg/L) de manganeso, 0.00005 (mg/L) de uranio, 0.00758 (mg/L) de zinc, 156.77500 (mg/L) de calcio, 13.93500 (mg/L) de magnesio, 1.03230 (mg/L) de estroncio, 18.72250 (mg/L) de potasio, 1.50389 (mg/L) de litio, 97.31500 (mg/L) de sodio, 0.054 (mg/L) de arsénico y 0.926 (mg/L) de bario.

Polo (2017), luego de haber adaptado y aplicado la tecnología RAOS para remover arsénico del río Sama, obtuvo como resultado una reducción de pH, reduciéndolo a 8.09 y una reducción de la conductividad eléctrica, reduciéndolo a 2283.36 (us/L), siendo estos los dos únicos parámetros físicos que analizó. Consiguió reducir el nivel de arsénico a 0.01 (mg/L); siendo este el único parámetro físico que analizó (el análisis fue realizado por el propio investigador empleando un kit). El estudio no permite hacer una comparación adecuada respecto al efecto del método sobre más metales.

Quijano (2019), luego de aplicar cenizas de paja de trigo para remover arsénico de las aguas del río Pelagatos – Pampas, obtuvo un pH de 7.4, total de sólidos disueltos 433 (mg/L) y conductividad eléctrica 541.6 (us/cm); en cuanto a los parámetros químicos, solo analizó el nivel de arsénico, obteniendo 0.01 (mg/L) (sus parámetros fueron analizados por un laboratorio certificado). El estudio no permite hacer una comparación adecuada respecto al efecto del método sobre más metales.

El estudio permitió analizar el efecto de este proceso en los parámetros físicos, logrando evidenciar que hubo un incremento de 4.76% respecto al pH inicial y que hubo una reducción del 29.76% de la conductividad y una reducción del 21.34% del total de sólidos disueltos (estos parámetros se midieron con un equipo multiparámetro calibrado); también permitió identificar que hay un efecto de remoción en más metales, siendo el antimonio, el estroncio y el litio los que más redujeron su nivel de concentración, con un 84.49% de remoción para el antimonio, un 92.38% de remoción para el estroncio y un 90.68% de remoción para el litio. Así mismo, se pudo analizar que el proceso tiene un efecto exponencial en metales como el berilio, que incrementó su nivel de concentración en un 13.33%, el boro incremento su nivel de concentración en un 31.79% y el zinc incrementó su nivel de concentración en un 20.84%. También permitió analizar la influencia del hierro, que es parte fundamental del proceso de oxidación solar, es decir, no puede ser excluida o no debería ser excluida; al analizar el agua del balneario luego de haber empleado este proceso, se identificó un incremento del hierro de 98.14%, pasando de una concentración inicial de 0.15320 (mg/L) a 8.23325 (mg/L), estableciéndola muy por encima de lo indicado por los Estándares de Calidad para Agua de uso Recreativo de Contacto Primario, que es 0.3 (mg/L). Los parámetros químicos fueron analizados por el laboratorio CERTIFICAL, certificada por INACAL.

Con respecto al cuarto objetivo específico: Analizar el impacto del proceso de oxidación solar en la calidad del agua del balneario termal Tauripampa. El proceso no tuvo un impacto positivo en la calidad del agua, ya que no se consiguió reducir los niveles de arsénico a 0.01 (mg/L), solo consiguió reducirlo a 0.054 (mg/L) y bario a 0.7 (mg/L), solo consiguió reducirlo a 0.926 (mg/L); el proceso también tuvo un impacto negativo en 4 metales, ya que elevó su concentración; 2 de esos 4 metales (boro y hierro) sobrepasaron los niveles permitidos por el Estándar de Calidad para Agua de uso Recreativo de Contacto Primario, lo que perjudica aún más la calidad del agua después de haber aplicado el proceso de oxidación solar.

Polo (2017), luego de haber adaptado y aplicado la tecnología RAOS para remover arsénico del río Sama, consiguió reducir el nivel de arsénico de 0.37 (mg/L) a 0.01 (mg/L), que es lo establecido por el Estándar de Calidad para Agua, pero al no haber realizado el análisis de más metales, no se puede saber si el proceso tuvo un impacto positivo o negativo en la calidad del agua.

Chapa (2018), luego de haber empleado el proceso de oxidación solar para remover 1.62 (mg/L) de arsénico de las aguas del río Rímac, consiguió reducir la concentración de arsénico a 0.002 (mg/L), estando por debajo de lo establecido por el Estándar de Calidad para Agua, pero no realizó análisis de más metales para sopesar si el proceso afecta positivamente o negativamente en más metales que influyan en la calidad del agua.

La investigación ha evidenciado un incremento exponencial en la concentración final del hierro luego de empleado el proceso de oxidación solar, incidiendo de forma negativa en la calidad del agua, ya que de estar en una concentración inicial de 0.15320 (mg/L), al emplear el proceso se elevó a 8.23325 (mg/L) (el nivel establecido por el ECA para agua de uso recreativo para el hierro es de 0.3 (mg/L)); Polo (2017) y Chapa (2019) emplearon 16.8 (mg/L) y 4 (mg/L) de varillas de hierro en sus respectivas investigaciones al aplicar este proceso para reducir el nivel de arsénico en el río Sama y Rímac, no se ha podido realizar una comparación del efecto del proceso en estas dos investigaciones más allá del arsénico, ya que no hay datos; en este proyecto se empleó 12 (mg/L) de hierro. La dosis de hierro, horas de exposición al sol y gotas de limón pueden ser ajustadas para conseguir que el nivel de concentración de arsénico y bario se reduzcan más; sin embargo, este ajuste no solo estará condicionado por el o los metales que se desee remover, sino también por los demás metales contenidos en el agua a tratar, ya que el proceso tiene incidencia positiva y negativa en más metales, como se ha podido apreciar en este estudio. Esta investigación ha permitido reconocer que solo si se realiza un análisis de todos los metales que contiene el agua antes y después de haber empleado el proceso de oxidación solar, se sabrá su impacto real en la calidad de la misma.

CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo principal, se concluye que el proceso de oxidación solar tuvo efecto en la remoción de arsénico y bario contenidas en las aguas del balneario termal Tauripampa; sin embargo, no se consiguió tener efecto en el alcance del nivel establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de uso Recreativo de Contacto Primario. Esta afirmación se hace teniendo en cuenta un nivel de significancia de 5%.

Con respecto al primer objetivo específico, en cuanto a los parámetros físicos: se concluye que el nivel de pH está dentro de lo establecido por el ECA para agua de uso recreativo de contacto primario; la conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos y temperatura no están contempladas por esta norma. En cuanto a los parámetros químicos: se concluye que no solo el arsénico y bario están por encima de los niveles permitidos por el ECA para agua de uso recreativo de contacto primario, también lo están el boro y el manganeso.

Con respecto al segundo objetivo específico, se concluye que el proceso de oxidación solar consiguió remover más de la mitad de la concentración de arsénico (68.23%), en comparación con el bario, donde la reducción de su concentración fue mínima (15.81%).

Con respecto al tercer objetivo específico, en cuanto a los parámetros físicos: se concluye que el nivel de pH tuvo un ligero incremento luego de aplicado el proceso, a diferencia de la conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos y temperatura que disminuyeron luego de la intervención. En cuanto a los parámetros químicos: se concluye que el proceso de oxidación solar tuvo efecto en la disminución del nivel de aluminio, antimonio, manganeso, uranio, calcio, magnesio, estroncio, potasio, litio y sodio; sin embargo, también se identificó que el proceso tuvo un efecto adverso en los niveles del berilio, boro, hierro y zinc, metales en los que elevó su concentración.

Con respecto al cuarto objetivo específico, se concluye que el proceso de oxidación solar tuvo un impacto negativo en la calidad de las aguas del balneario termal Tauripampa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar análisis previos de los parámetros físicos y químicos contenidos en el agua en el que se va a emplear el proceso de oxidación solar, así como un análisis de los parámetros físicos y químicos luego de haber empleado el proceso.

Se recomienda que la dosis de jugo de limón sea más de 2 mL cuando el nivel de arsénico supere el 0.1 (mg/L).

Se recomienda que la dosis de hierro sea menor a 16 gramos cuando el agua en el que se va a emplear el proceso de oxidación solar presente una concentración de 0.15 (mg/L) de hierro.

Se recomienda emplear el proceso en zonas con alta incidencia de radiación solar.

A la universidad, se recomienda la implementación y certificación del laboratorio actual, ya que facilitaría los ensayos y posibilitarían mejores estudios.

REFERENCIAS

- Almeida, C. A. (2012). *Evaluación de la calidad de agua con fines recreacionales: Desarrollo de un Índice de Calidad Recreacional*. Editorial Académica Española.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/105391>
- Chávez, M., & Miglio, M. (2011). Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(4), 307–314.
- Giampaoli, S., & Romano, V. (2014). *OMS | Salud y seguridad en las aguas de recreo*. WHO; World Health Organization.
<https://www.who.int/bulletin/volumes/92/2/13-126391/es/>
- Acuña, A., Araya, A., & Romero, L. G. (2016). Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(6), 23.
<https://doi.org/10.18845/tm.v29i6.2899>
- Aguilar, R. (2019). Utilización de la Moringa Oleifera como Coagulante para la Remoción de Arsénico en el Agua de los Pozos del Centro Poblado Cruz del Medano del Distrito de Mórrope [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39485>
- Alarcón, M., Leal, L., Martín, I., Miranda, S., & Benavides, A. (2013). *Arsénico en Agua*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>
- Almeida, C. (2012). *Evaluación de la calidad de agua con fines recreacionales: Desarrollo de un Índice de Calidad Recreacional*. Editorial Académica Española.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/105391>

- Alvizú, S. (2016, diciembre 19). Precauciones que se deben tomar ante entornos con arsénico. Universidad San Sebastian. <https://www.uss.cl/medicina/precauciones-se-deben-tomar-ante-entornos-arsenico/>
- ANA, & DCERH. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2440>
- ASALE, R.-, & RAE. (2014). Bario | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/bario>
- ATSDR. (2016). Resumen de Salud Pública: Bario (Barium) | PHS | ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.html
- ATSDR. (2016). Resumen de Salud Pública: Bario (Barium) | PHS | ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.html
- ATSDR. (2021, enero 25). ToxFAQs™: Arsénico (Arsenic) | ToxFAQ | ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts2.html
- Bes, S., Silva, A., & Bengoa, C. (2018). Manual tecnico sobre procesos de oxidacion avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. CYTED. <http://www.cytmed.org/es/biblioteca/manual-tecnico-sobre-procesos-de-oxidacion-avanzada-aplicados-al-tratamiento-de-aguas>
- Cabrera, M., Pinos, D., & Pulla, F. (2013). Arsénico en el Agua. Universidad de Cuenca, 205.
- Castillo, D. (2017). Proceso de Fotocatálisis con Luz Solar y el Metodo DIP - Coating para la Reducción de Coliformes de Aguas Residuales del Barrio la Cienaga con Desembocadura en el Embalse Agoyan [Proyecto Técnico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7871>

- Castro, G. (2009). ¿Qué es la barita? La explotación de la canadiense Blackfire en Chiapas. EcoPortal. <https://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/5157.pdf>
- Chapa, L. (2018). "Oxidación solar en la reducción de la concentración del arsénico en aguas del río Rímac—Cuenca alta, de la localidad San Mateo Huarochirí, 2018" [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24423>
- Chávez, M., & Miglio, M. (2011). Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(4), 307–314.
- Chiva, S., Berlanga Clijo, J. G., Martínez Cuenca, R., & Climent Agustina, J. (2017). Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua (1a ed.). Universitat Jaume I. <https://doi.org/10.6035/UJI.FACSA.2017.1>
- Cogollo, J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxilo de aluminio. *DYNA*, 78(165), 18–27.
- Cuadra, F. (2017). Desarrollo Experimental Para la Foto-Oxidación de Arsénico MEDiante Nanomateriales y Luz Solar Simulada [Tesis experimental, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146394>
- Díaz, L. (2019). Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes en efluentes de tratamiento de aguas residuales Covicorti mediante nanoburbujas de aire-oxígeno [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14536>
- Duran, D. (2021). Efecto de Penca de Tuna (Opuntia ficus indica) con Semilla de Moringa (Moringa oleifera) como Coagualante Natural para Disminuir la Turbidez del Agua en el Reservorio de la JASS del Centro Poblado de Vichaycoto, Huánuco—2021 [Tesis experimental]. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2949/Duran%20Castro%2c%20Diony%20Eisntein.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Fagundo, J. R., Cima, A., & González, P. (2007). Revisión Bibliográfica Sobre La Clasificación De Las Aguas Minerales Y Mineromedicinales. Centro Nacional de Termalismo “Victor Santamarina”, 27.
- Fernández, E. (2018). Nanofiltros con Arcillas de Huánuco, en la Purificación de Aguas Superficiales para Consumo Humano [Tesis experimental, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <http://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/UNHEVAL/4097/Tr.MADS%2000010F42.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ferrari, R., & Graieb, O. (2010). Tratamientos de Bajo Costo para la Remoción de Arsénico en Aguas de Consumo Humano. 5(2), 8.
- fluence. (2021). Remoción de Arsénico del Agua. fluence. <https://www.fluencecorp.com/es/remocion-de-arsenico-del-agua/>
- Giampaoli, S., & Romano, V. (2014). OMS | Salud y seguridad en las aguas de recreo. WHO; World Health Organization. <https://www.who.int/bulletin/volumes/92/2/13-126391/es/>
- Griem, W. (2007). Sinter, caliza de agua dulce. Museo Virtual, Geología. <https://www.geovirtual2.cl/Museovirtual/0312bgeo.htm>
- Jurado, E., Azáldegui, A., & Benavides, O. (2014). Turismo, riesgos y oportunidades sobre el uso y consumo de las aguas termales. Caso: Valle de Churín 2013. Cátedra Villarreal, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.24039/cv20142236>
- Lillo, J. (2008). Peligros geoquímicos: Arsénico de origen natural en las aguas. https://www.researchgate.net/publication/266597632_Peligros_geoquimicos_Arsenico_de_origen_natural_en_las_aguas
- Litter, M. (2014). Remoción de contaminantes metálicos. Universidad Nacional de General San Martín, 14.
- Llorens, E., Alarcón, T., & Poch, M. (2012). Remoción de Arsénico del Agua para Consumo Humano en Latinoamérica. Centro de Investigación en

Materiales Avanzados. <https://docplayer.es/88982074-Remocion-de-arsenico-del-agua-para-consumo-humano-en-latinoamerica.html>

Malato, S. (2018). Descontaminación de aguas mediante oxidación avanzada bajo radiación solar: Un proceso doblemente sostenible. Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC), 16.

Mateos, L. (2012). El arsénico, ese conocido tan desconocido. https://www.researchgate.net/publication/277786444_El_arsenico_ese_conocido_tan_desconocido

Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y la salud humana. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 35(1), 93–102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>

Meierhofer, R., & Wegelin, M. (2002). Desinfección Solar del Agua Guía de Aplicación. EAWAG/SANDEC. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/eawag_sodis_desinfeccion_solar_del_agua_2005.pdf

Mesa, E., Medina, L., & Rodríguez, N. (2014). Diseño a nivel laboratorio de un proceso de ósmosis inversa para disminuir bario de las aguas de producción y captación del campo Cantagallo. Revista de Investigación, 7(1), 31–45. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.160>

Mogollón, L. I., Rodríguez, R., Larrota, W., & Torres, R. (1996). Remoción biológica de bario de aguas de producción utilizando asociaciones microbianas estratificadas (AME). CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 1(2), 35–44.

Montesinos, H., & Guevara, P. (2019). Comparación entre los Métodos Raos y Coagulación–Floculación para la remoción de arsénico en agua de consumo humano en la ciudad de Calca [Tesis, Universidad Andina del Cusco]. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/3484>

Moore, J., & Colgrove, G. (2013). Minería Canadiense en México: Blackfire Exploration y la Embajada de Canadá – Un Caso de Corrupción y

Homicidio.

https://justiceprojectdotorg1.files.wordpress.com/2017/08/blackfire_informe_embajada_spa.pdf

Nieto, M. (2020). Influencia de la Radiación solar en la descontaminación de aguas residuales Urbanas a través de la Fotodegradación [Tesis, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1738>

NJDOH. (2016). Hoja Informativa Sobre Sustancias Peligrosas—Barrio. New Jersey Department of Health. <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0180sp.pdf>

OMS. (2018). Arsénico. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Paitan, L. Á., & Palomino, D. C. (2017). Remoción de arsénico del agua potable del distrito de Quero provincia de Jaén, por el método de electrocoagulación, a nivel laboratorio [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3773>

Patiño, J. (2020). Análisis Comparativo de las Metodologías Implementadas para la Remoción de Bario en Aguas de Producción Petrolera [Universidad Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36873/japatinov.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez, A. (2018). Evaluación de la Factibilidad Técnica Para el Tratamiento de Relaves con Cianuro Aplicando el Método de Oxidación Avanzada con Radiación UV – Solar a Nivel de la Pequeña Minería Aurífera [Tesis, Universidad Nacional San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6290>

Polo, A. (2017). Adaptación de la Tecnología RAOS Aplicando el Calentamiento Solar en las Aguas del Río Sama—Provincia de Tacna [Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1549>

- PRTR - España. (2007). Ar (Arsénico y compuestos) | PRTR España. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes - España. <https://prtr-es.es/Ar-Arsenico-y-compuestos,15604,11,2007.html>
- Quijano, D. (2019). Remoción de arsénico de las aguas del rio Pelagatos utilizando ceniza de paja de trigo [Universidad San Pedro]. <http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14276>
- RAE. (2020). Definición de uso recreativo del agua—Diccionario panhispánico del español jurídico—RAE. Diccionario panhispánico del español jurídico - Real Academia Española. <https://dpej.rae.es/lema/uso-recreativo-del-agua>
- Rodrigo, C., Pacheco, P., Orihuela, E., Piñeiros, L., & Cobo, E. (2018). Guía de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua. UICN. <https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia-monitoreo-participativo-calidad-agua-digital.pdf>
- Roldán, L. (2019). AGUAS CONTINENTALES: Qué son, Características e Importancia. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/aguas-continentales-que-son-caracteristicas-e-importancia-2363.html](https://www.ecologiaverde.com/aguas-continentales-que-son-caracteristicas-e-importancia-2363.html)
- Sánchez, D. (2011). Diseño Óptimo de Laminados en Materiales Compuestos Aplicación del MEF y el Método de las Superficies de Respuesta [Universidad de Sevilla]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70238/>
- Sandoval, J. (2017). Degradación Fotocatalítica de Timerosal Mediante Nanopartículas de Ferrita de Cinc Activadas con Radiación Solar [Tesis, Universidad de Concepción]. <http://152.74.17.92/handle/11594/2673>
- Sigler, A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos 1105 de la Tierra y Ciencias Ambientales, 1.

- SNET. (2007). Índice de Calidad del Agua General "ICA". Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales - El Salvador. www.snet.gob.sv
- Steinmüller, K., & Huamaní, A. (1999). Aguas Termales y Minerales en el Centro del Perú. INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/338>
- UAB. (2017). La contaminación petrolera del Amazonas está modificando la composición química del agua. UAB Barcelona. <http://www.uab.cat/web/sala-de-prensa/detalle-noticia/la-contaminacion-petrolera-del-amazonas-esta-modificando-la-composicion-quimica-del-agua-1345667994339.html?noticiaid=1345734672816>
- USGS. (2017). La Ciencia del Agua para Escuelas: Calidad del Agua. Science for a changing world - Servicio Geológico de Los Estados Unidos. <https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>
- USS. (2016). Arsénico: Las precauciones a considerar para que no afecten nuestra salud - Universidad San Sebastian, Chile. [www.ipsuss.cl. http://www.ipsuss.cl/ipsuss/site/artic/20161219/pags/20161219175953.html](http://www.ipsuss.cl/ipsuss/site/artic/20161219/pags/20161219175953.html)
- Valcarcel, L., Alberro, N., & Frías, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Agencia de Medio Ambiente, Cuba, 5.
- Vargas, V. (2010). Las Fuentes Termales en el Perú, Estado y Uso Actual. Sociedad Geológica del Perú, 9, 4.
- OMS. (2018). Arsénico. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Supo, J., & Zacarías, H. (2020). Metodología de la Investigación Científica (Tercera edición, Vol. 1). Bioestadístico EEDU.

ANEXOS

Anexo 01 Matriz de consistencia

“EFECTO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN SOLAR EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y BARIO EN AGUAS DEL BALNEARIO TERMAL TAURIPAMPA”

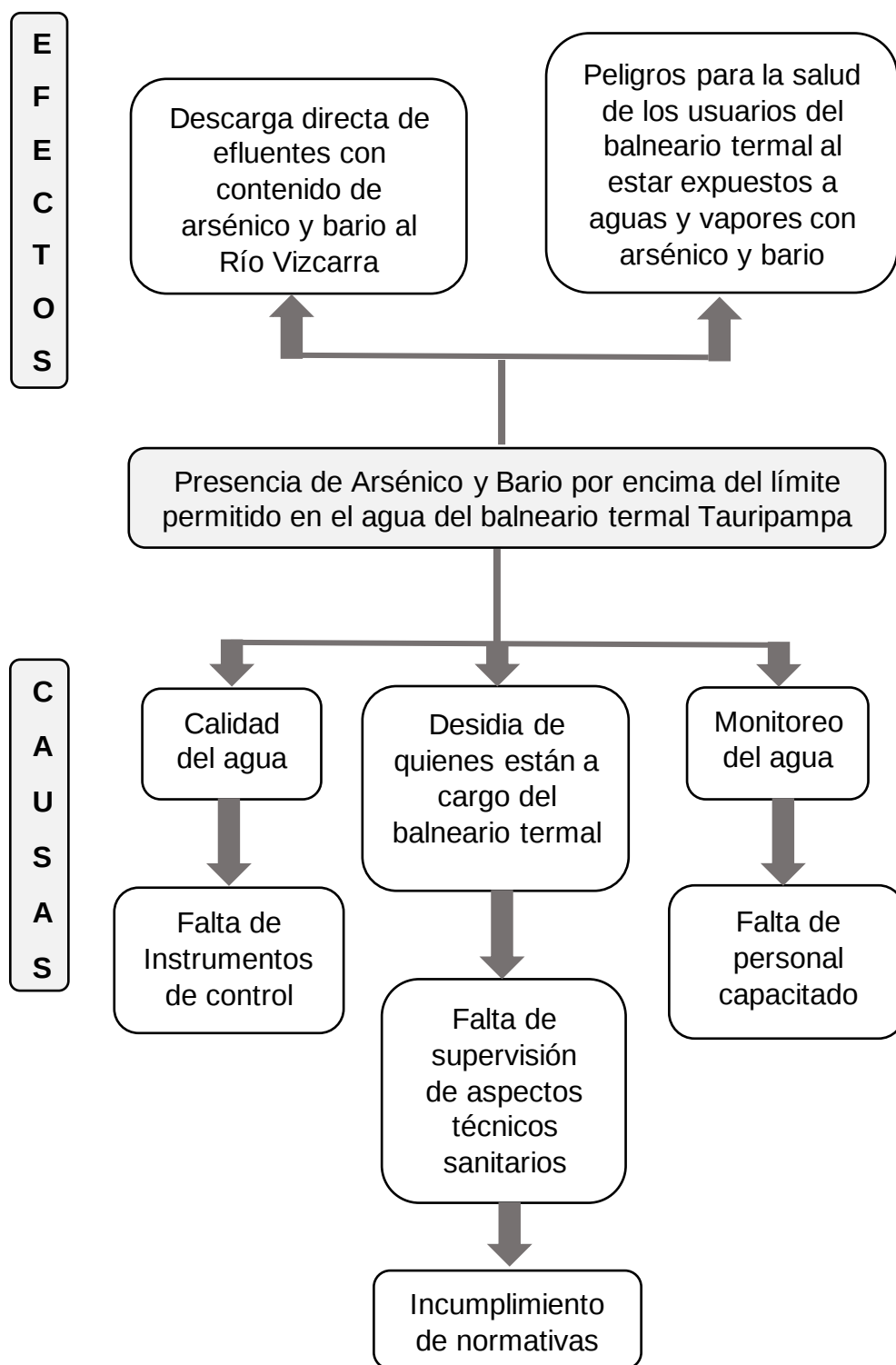
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables e Indicadores	Método
¿Cuál es el efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa?	Evaluar el efecto del proceso de oxidación solar en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa.	El proceso de oxidación solar tiene efecto en la remoción de arsénico y bario en las aguas del balneario termal Tauripampa.	Variable independiente: Proceso de oxidación solar	GE: O1 – X1 – O2 Se contempla como población de estudio al agua termal de uso recreativo, ubicado en el balneario termal Tauripampa, distrito de La Unión, provincia de Dos de Mayo, departamento de Huánuco. Cuyas coordenadas de ubicación son UTM WGS84 - 18S. La muestra estará conformada por 8 L de agua termal, sobre el cual se experimentará con el proceso de oxidación solar.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos		- Cantidad de gotas de limón - Cantidad de hierro - Tiempo de exposición al sol	
¿Cuáles son los niveles de Arsénico (mg/L) y Bario (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar?	Determinar los niveles de Arsénico (mg/L) y Bario (mg/L) en las aguas del balneario termal Tauripampa antes y después del proceso de oxidación solar		Variable Dependiente: Remoción de arsénico y bario	
¿Cuál es el porcentaje de remoción de arsénico y bario con el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal?	Calcular el porcentaje de remoción de arsénico y bario con el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal Tauripampa.		- Nivel de arsénico - Nivel de bario	
¿Cuáles son los niveles de los parámetros físicos y químicos del agua del balneario termal después del uso del proceso de oxidación solar?	Analizar los niveles de los parámetros físicos y químicos después de haber empleado el proceso de oxidación solar en las aguas del balneario termal Tauripampa.		Variables de caracterización: Calidad del agua	
¿Cuál es el impacto del proceso de oxidación solar en la calidad del agua del balneario termal?	Analizar el impacto del proceso de oxidación solar en la calidad del agua del balneario termal.		- Parámetros físicos - Parámetros químicos	

Tesista: Trujillo Reynoso, Leidy Diana

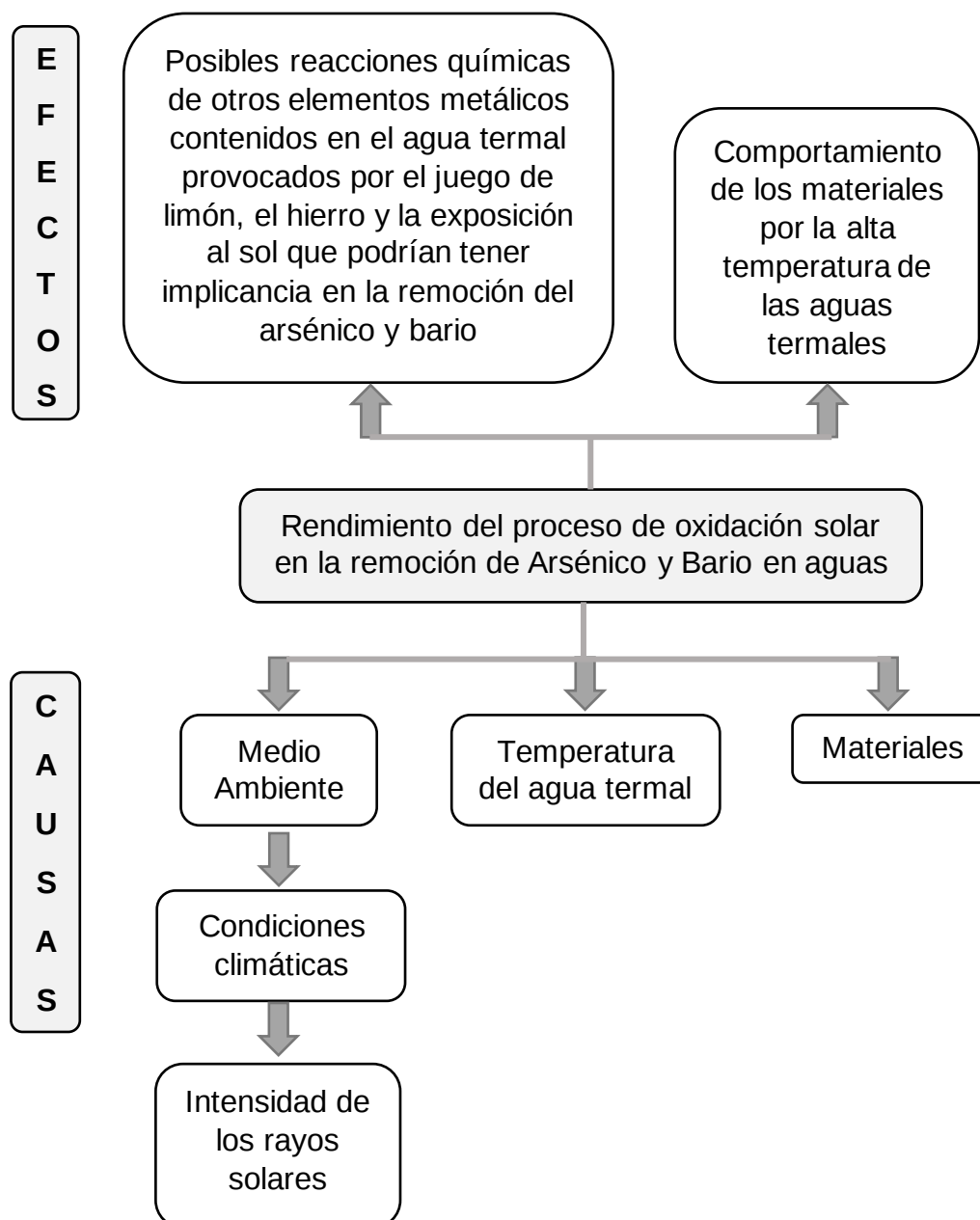
Anexo 02 Mapa de Ubicación y Localización del Lugar de Estudio



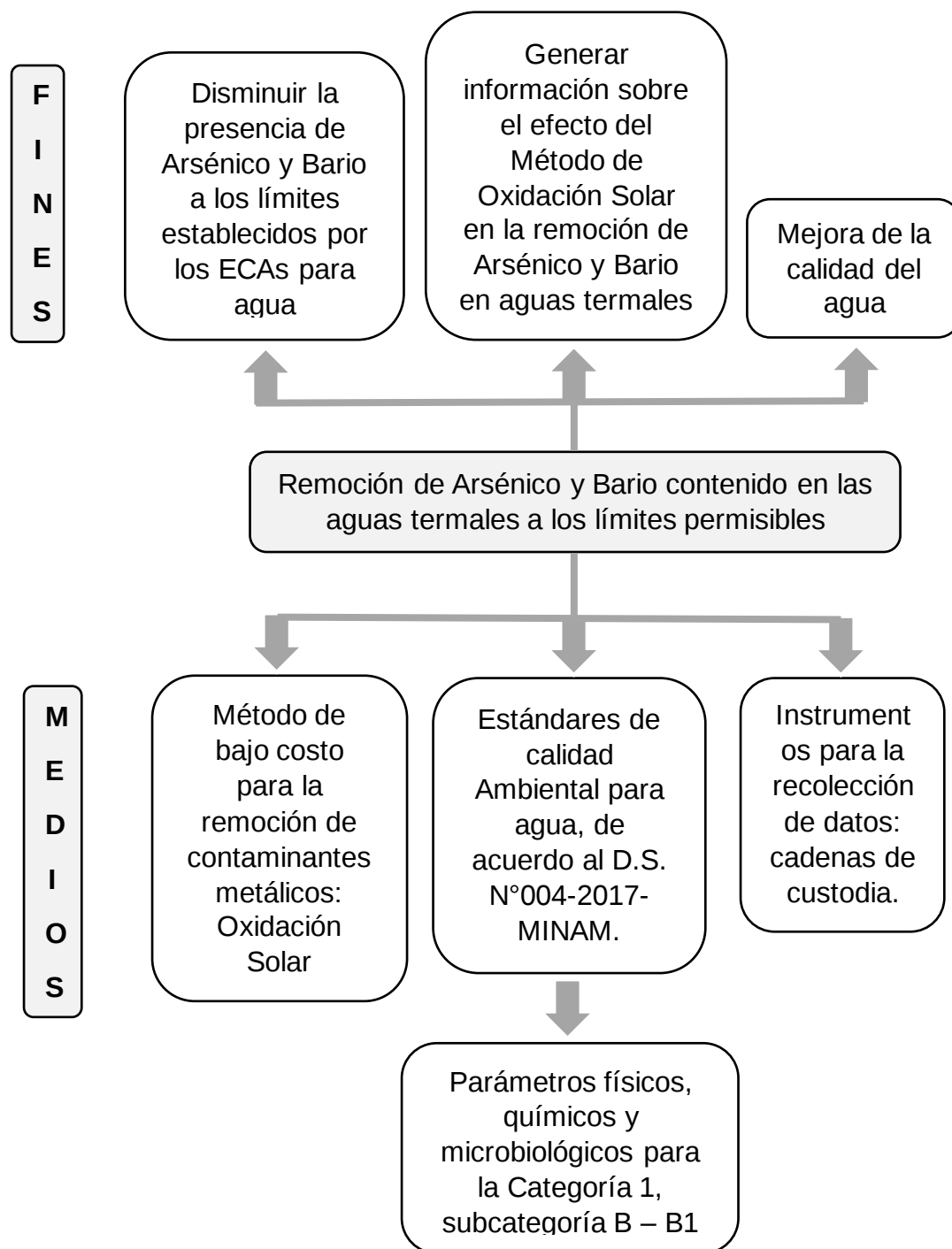
Anexo 03 Diagrama Causa – Efecto (As y Ba)



Anexo 04 Diagrama Causa – Efecto (Método de Oxidación Solar)



Anexo 05 Diagrama Medios -Fines



Anexo 06 Ficha de monitoreo en campo y toma de muestras

FUENTE:	LUGAR:	COORDENADAS:
DISTRITO:	PROVINCIA:	DEPARTAMENTO:
ECA PARA AGUA D.S N° 004 – 2017 - MINAM		
PARÁMETROS SUBCATEGORÍA B: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACION – CONTACTO DIRECTO (B1)		

N° de muestra	Fecha	Hora	Punto de muestreo	Parámetros medidos in situ				Tipos de muestras			Tipo de envase		Volumen ml	Observaciones
				Temperatura °C	pH	Conductividad us/cm	Sólidos Totales	Microbiológico	Físico – Químico	Metales pesados	Vidrio	Plástico		

CADENA DE CUSTODIA

Código número de custodia:	Solicitante:	DNI:	Firma:
Institución: Universidad de Huánuco	Dirección:	Provincia:	Dpto:
Teléfono:	Responsable del muestreo:	Distrito:	Urgencia:

Anexo 07 Formato para la recolección de datos de los ensayos en laboratorio

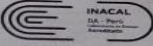
	FORMATO DE REPORTE ENSAYOS EN LABORATORIO – METALES (As y Ba)		
	LUGAR:		FECHA:
	ENSAYO N°	TESISTA:	
	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		

Muestra N°	Vol. de muestra (L)	Parámetros de campos				Cantidad gotas de limón	Cantidad de de hierro	Horas de radiación solar			Nivel de Arsénico (mg/L)		Nivel de Bario (mg/L)		OBSERVACIONES
		pH	T°	ppm	us/cm			Inicio	Final	Total	As inicial (mg/L)	As final (mg/L)	Ba inicial (mg/L)	Ba final (mg/L)	
1															
2															
3															
4															

Anexo 08 Informe de ensayo y referencias de metodos de ensayos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2132269 Rev. 0

LEIDY DIANA TRUJILLO REYNOSO

SAN MARTIN 240 INT C - HUANUCO

ENV / LB-350164-002

PROCEDENCIA : Balneario Tauripampa - La Unión - Hco

Fecha de Recepción SGS : 11-10-2021

Fecha de Ejecución : Del 11-10-2021 al 19-10-2021

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo

Balneario Tauripampa - La Unión - Hco

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 19/10/2021

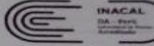


Frank M. Julcamoro Qulspe
C.Q.P. 1033
Coordinador de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2132269 Rev. 0

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_ALPHA3500CRB	Callao	Cromo Hexavalente Total (VI)	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-CR-B, 23rd Ed: 2017, Chromium, Colorimetric Method
EW_EPA200_8	Callao	Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5-4, 1994, Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-Es/Temas-y-Cond-Servicio.aspx>. Sin embargo, en su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regule por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo solo son válidos para la(s) muestra(s) encasillada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

Anexo 09 Informe de ensayo, presentación de resultados de la muestra madre

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2132269 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Baño Tauripampa - La Unión - Hco	Baño Tauripampa - La Unión - Hco
FECHA DE MUESTREO					09/10/2021	09/10/2021
HORA DE MUESTREO					10:30:00	10:35:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Cromo Hexavalente Total (VI)	EW_APA3500CRB	mgCr/L	0.002	0.005	<0.005	
Metales Totales						
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003		0.0204
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013		0.00129
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010		0.17002
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003		1.1003
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006		0.00013
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003		<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006		0.930 ± 0.112
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003		<0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009		190.054
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024		<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003		0.2004 ± 0.0358
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003		<0.00003
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009		<0.00009
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003		<0.0003
Estano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010		<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006		1.3553 ± 0.1220
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047		<0.047
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012		<0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006		0.0018
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015		<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013		0.1532 ± 0.0123
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015		<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003		1.6142 ± 0.1453
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003		20.162 ± 2.419
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010		0.17306 ± 0.01211
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009		<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006		0.00045 ± 0.00010
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015		<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006		<0.0006
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010		<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006		<0.0006
Polonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13		20.38 ± 1.63
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009		0.3016
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013		<0.0013
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27		75.85 ± 9.10
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13		35.45 ± 4.25
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019		160.946 ± 17.704
Tantalo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006		0.00017 ± 0.00004
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021		<0.0021
Torio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003		<0.003
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019		<0.00019
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006		0.00072 ± 0.00009
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010		0.000057 ± 0.000012
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003		<0.0003
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006		<0.0006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006		<0.00006
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026		0.0060 ± 0.0006
	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045		<0.00045

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Anexo 10 Informe de los resultados del primer ensayo

INFORME DE ENSAYO N° 1-12633/21

Pág. 1/2

Solicitante : CERTIFICACIONES Y CALIDAD SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Domicilio legal : Av. Sucre Nro. 1361 - Pueblo Libre (Magdalena Vieja) - Lima - Lima
Producto declarado : AGUA NATURAL
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 500 mL
Muestra proporcionada por el solicitante

SOLICITUD DE SUB CONTRATA DE ANALISIS NRO. 0619/2021
CODIGO: 21016147
PUNTO DE MUESTREO: 431173
PROCEDENCIA: BALNEARIO TAURIPAMPA - LA UNION - DOS DE MAYO-
HUANUCO
DESCRIPCION:
FECHA: 07/11/2021
HORA: 16:36
COORDENADAS: 18L

Identificación de la muestra :
Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.
Fecha de recepción : 2021 - 11 - 09
Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 11 - 17
Fecha de término del ensayo : 2021 - 11 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio ICP-AA
Identificado con : H/S 21009717 (EXMA-14455-2021)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Aluminio (Al)	0,0025	mg/L	<0,0025
Antimonio (Sb)	0,0002	mg/L	<0,00020
Arsénico (As)	0,0005	mg/L	0,05625
Bario (Ba)	0,00015	mg/L	0,9505
Berilio (Be)	0,00015	mg/L	<0,00015
Bismuto (Bi)	0,0025	mg/L	<0,00250
Boro (B)	0,01	mg/L	1,339
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,000050
Calcio (Ca)	0,1	mg/L	154,8
Cobalto (Co)	0,0003	mg/L	<0,00030
Cobre (Cu)	0,0003	mg/L	<0,00030
Cromo (Cr)	0,0005	mg/L	0,00183
Estaño (Sn)	0,00025	mg/L	<0,00025
Estroncio (Sr)	0,00045	mg/L	1,074
Fósforo (P)	0,1	mg/L	<0,100
Hierro (Fe)	0,01	mg/L	7,299
Litio (Li)	0,00025	mg/L	1,49162

LDM: Límite de detección del método

INFORME DE ENSAYO N° 1-12633/21

Pág.

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Magnesio (Mg)	0,01	mg/L	13,87
Manganeso (Mn)	0,00025	mg/L	0,1307
Mercurio (Hg)	0,00005	mg/L	<0,00005
Molibdeno (Mo)	0,0002	mg/L	<0,00020
Níquel (Ni)	0,00035	mg/L	<0,00035
Plata (Ag)	0,00005	mg/L	<0,00005
Plomo (Pb)	0,0002	mg/L	<0,00020
Potasio (K)	0,01	mg/L	18,37
Selenio (Se)	0,001	mg/L	<0,0010
Silicio (Si)	0,01	mg/L	25,96
Sodio (Na)	0,01	mg/L	97,68
Talio (Tl)	0,00016	mg/L	<0,00016
Telurio (Te)	0,0005	mg/L	<0,00050
Titanio (Ti)	0,0005	mg/L	0,00498
Uranio (U)	0,00005	mg/L	<0,00005
Vanadio (V)	0,0005	mg/L	<0,00050
Wolframio (W)	0,0005	mg/L	<0,00050
Zinc (Zn)	0,0005	mg/L	0,0136

LDM: Límite de detección del método

MÉTODO

Metales Totales ICP-Masa: ISO 17294-2: 2016, Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 20 de noviembre de 2021
AM

Anexo 11 Informe de los resultados del segundo ensayo

INFORME DE ENSAYO N° 1-12634/21

Pág. 1/2

Solicitante : CERTIFICACIONES Y CALIDAD SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Domicilio legal : Av. Sucre Nro. 1361 - Pueblo Libre (Magdalena Vieja) - Lima - Lima
Producto declarado : AGUA NATURAL
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 500 mL
Muestra proporcionada por el solicitante
SOLICITUD DE SUB CONTRATA DE ANALISIS NRO. 0619/2021
CODIGO: 21016147
PUNTO DE MUESTREO:
PROCEDENCIA: BALNEARIO TAURIPAMPA - LA UNION - DOS DE MAYO-
Identificación de la muestra : HUANUCO
DESCRIPCION
FECHA: 07/11/2021
HORA: 16:42
COORDENADAS: 18L
Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.
Fecha de recepción : 2021 - 11 - 09
Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 11 - 17
Fecha de término del ensayo : 2021 - 11 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio ICP-AA
Identificado con : H/S 21009717 (EXMA-14455-2021)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Aluminio (Al)	0,0025	mg/L	0,01198
Antimonio (Sb)	0,0002	mg/L	<0,00020
Arsénico (As)	0,0005	mg/L	0,05248
Bario (Ba)	0,00015	mg/L	0,8953
Berilio (Be)	0,00015	mg/L	<0,00015
Bismuto (Bi)	0,0025	mg/L	<0,00250
Boro (B)	0,01	mg/L	1,329
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,000050
Calcio (Ca)	0,1	mg/L	155,0
Cobalto (Co)	0,0003	mg/L	<0,00030
Cobre (Cu)	0,0003	mg/L	<0,00030
Cromo (Cr)	0,0005	mg/L	<0,00050
Estaño (Sn)	0,00025	mg/L	<0,00025
Estroncio (Sr)	0,00045	mg/L	0,9962
Fósforo (P)	0,1	mg/L	<0,100
Hierro (Fe)	0,01	mg/L	7,226
Litio (Li)	0,00025	mg/L	1,45374

LDM: Límite de detección del método

INFORME DE ENSAYO N° 1-12634/21

Pág. 2/2

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Magnesio (Mg)	0,01	mg/L	13,60
Manganeso (Mn)	0,00025	mg/L	0,1238
Mercurio (Hg)	0,00005	mg/L	<0,00005
Molibdeno (Mo)	0,0002	mg/L	<0,00020
Níquel (Ni)	0,00035	mg/L	<0,00035
Plata (Ag)	0,00005	mg/L	<0,00005
Plomo (Pb)	0,0002	mg/L	<0,00020
Potasio (K)	0,01	mg/L	18,27
Selenio (Se)	0,001	mg/L	<0,0010
Silicio (Si)	0,01	mg/L	24,47
Sodio (Na)	0,01	mg/L	95,30
Talio (Tl)	0,00016	mg/L	<0,00016
Telurio (Te)	0,0005	mg/L	<0,00050
Titanio (Ti)	0,0005	mg/L	0,00459
Uranio (U)	0,00005	mg/L	<0,00005
Vanadio (V)	0,0005	mg/L	<0,00050
Wolframio (W)	0,0005	mg/L	<0,00050
Zinc (Zn)	0,0005	mg/L	0,0089

LDM: Límite de detección del método

MÉTODO

Metales Totales ICP-Masa: ISO 17294-2, 2016. Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 20 de noviembre de 2021
AM

Anexo 12 Informe de los resultados del tercer ensayo

INFORME DE ENSAYO N° 1-12635/21

Pág. 1/2

Solicitante : CERTIFICACIONES Y CALIDAD SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Domicilio legal : Av. Sucre Nro. 1361 - Pueblo Libre (Magdalena Vieja) - Lima - Lima
Producto declarado : AGUA NATURAL
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 500 mL
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : SOLICITUD DE SUB CONTRATA DE ANALISIS NRO. 0619/2021
CODIGO: 21016147
PUNTO DE MUESTREO: 431173
PROCEDENCIA: BALNEARIO TAURIPAMPA - LA UNION - DOS DE MAYO-
HUANUCO
DESCRIPCION:
FECHA: 07/11/2021
HORA: 16:58
COORDENADAS: 18L

Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.
Fecha de recepción : 2021 - 11 - 09
Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 11 - 17
Fecha de término del ensayo : 2021 - 11 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio ICP-AA
Identificado con : H/S 21009717 (EXMA-14455-2021)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Aluminio (Al)	0.0025	mg/L	0.02149
Antimonio (Sb)	0.0002	mg/L	<0.00020
Arsénico (As)	0.0005	mg/L	0.05181
Bario (Ba)	0.00015	mg/L	0.9498
Berilio (Be)	0.00015	mg/L	<0.00015
Bismuto (Bi)	0.0025	mg/L	<0.00250
Boro (B)	0.01	mg/L	1.391
Cadmio (Cd)	0.00005	mg/L	<0.000050
Calcio (Ca)	0.1	mg/L	158.6
Cobalto (Co)	0.0003	mg/L	<0.00030
Cobre (Cu)	0.0003	mg/L	<0.00030
Cromo (Cr)	0.0005	mg/L	0.00197
Estañio (Sn)	0.00025	mg/L	<0.00025
Estroncio (Sr)	0.00045	mg/L	1.027
Fósforo (P)	0.1	mg/L	<0.100
Hierro (Fe)	0.01	mg/L	10.19
Litio (Li)	0.00025	mg/L	1.54252

LDM: Límite de detección del método

INFORME DE ENSAYO N° 1-12635/21

Pág. 2/2

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados
Magnesio (Mg)	0.01	mg/L	14.20
Manganeso (Mn)	0.00025	mg/L	0.1315
Mercurio (Hg)	0.00005	mg/L	<0.00005
Molibdeno (Mo)	0.0002	mg/L	<0.00020
Níquel (Ni)	0.00035	mg/L	<0.00035
Plata (Ag)	0.00005	mg/L	<0.00005
Plomo (Pb)	0.0002	mg/L	<0.00020
Potasio (K)	0.01	mg/L	18.96
Selenio (Se)	0.001	mg/L	<0.0010
Silicio (Si)	0.01	mg/L	26.41
Sodio (Na)	0.01	mg/L	98.07
Taño (Ti)	0.00015	mg/L	<0.00015
Telurio (Te)	0.0005	mg/L	<0.00050
Titanio (Ti)	0.0005	mg/L	0.00500
Uranio (U)	0.00005	mg/L	<0.00005
Vanadio (V)	0.0005	mg/L	<0.00050
Wolframio (W)	0.0005	mg/L	<0.00050
Zinc (Zn)	0.0005	mg/L	0.0063

LDM: Límite de detección del método

MÉTODO

Metales Totales ICP-Masa: ISO 17294-2: 2016. Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 20 de noviembre de 2021
AM

Anexo 13 Informe de los resultados del cuarto ensayo

INFORME DE ENSAYO N° 1-12636/21

Pág. 1/2

Solicitante : CERTIFICACIONES Y CALIDAD SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Domicilio legal : Av. Sucre Nro. 1361 - Pueblo Libre (Magdalena Vieja) - Lima - Lima
Producto declarado : AGUA NATURAL
Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 500 mL
Muestra proporcionada por el solicitante
SOLICITUD DE SUB CONTRATA DE ANALISIS NRO. 0619/2021
CODIGO: 21016147
PUNTO DE MUESTREO: 431173
PROCEDENCIA: BALNEARIO TAURIPAMPA - LA UNION - DOS DE MAYO-
HUANUCO
DESCRIPCION:
FECHA: 07/11/2021
HORA: 17:06
COORDENADAS: 18L
Identificación de la muestra :
Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.
Fecha de recepción : 2021 - 11 - 09
Fecha de inicio del ensayo : 2021 - 11 - 17
Fecha de término del ensayo : 2021 - 11 - 19
Ensayo realizado en : Laboratorio ICP-AA
Identificado con : H/S 21009717 (EXMA-14455-2021)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados	
Metales Totales ICP-Masa	Aluminio (Al)	0,0025	mg/L	0,00647
	Antimonio (Sb)	0,0002	mg/L	<0,00020
	Arsénico (As)	0,0005	mg/L	0,05399
	Bario (Ba)	0,00015	mg/L	0,9099
	Berilio (Be)	0,00015	mg/L	<0,00015
	Bismuto (Bi)	0,0025	mg/L	<0,00250
	Boro (B)	0,01	mg/L	1,395
	Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,000050
	Calcio (Ca)	0,1	mg/L	158,7
	Cobalto (Co)	0,0003	mg/L	0,00043
	Cobre (Cu)	0,0003	mg/L	<0,00030
	Cromo (Cr)	0,0005	mg/L	0,00138
	Estatío (Sn)	0,00025	mg/L	<0,00025
	Estroncio (Sr)	0,00045	mg/L	1,032
	Fósforo (P)	0,1	mg/L	<0,100
	Hierro (Fe)	0,01	mg/L	8,218
	Litio (Li)	0,00025	mg/L	1,52768

LDM: Límite de detección del método

INFORME DE ENSAYO N° 1-12636/21

Pág. 2

Ensayo	LDM	Unidad	Resultados	
Metales Totales ICP-Masa	Magnesio (Mg)	0,01	mg/L	14,07
	Manganeso (Mn)	0,00025	mg/L	0,1302
	Mercurio (Hg)	0,00005	mg/L	<0,00005
	Molibdeno (Mo)	0,0002	mg/L	<0,00020
	Níquel (Ni)	0,00035	mg/L	<0,00035
	Plata (Ag)	0,00005	mg/L	<0,00005
	Plomo (Pb)	0,0002	mg/L	<0,00020
	Potasio (K)	0,01	mg/L	19,29
	Selenio (Se)	0,001	mg/L	<0,0010
	Silicio (Si)	0,01	mg/L	25,27
	Sodio (Na)	0,01	mg/L	98,23
	Talio (Tl)	0,00016	mg/L	<0,00016
	Telurio (Te)	0,0005	mg/L	<0,00050
	Titanio (Ti)	0,0005	mg/L	0,00481
	Uranio (U)	0,00005	mg/L	<0,00005
	Vanadio (V)	0,0005	mg/L	<0,00050
	Wolframio (W)	0,0005	mg/L	<0,00050
Zinc (Zn)	0,0005	mg/L	0,0255	

LDM: Límite de detección del método

MÉTODO

Metales Totales ICP-Masa: ISO 17294-2, 2016. Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 26 de noviembre de 2021
AM

Anexo 14 Ficha de campo con los resultados de los parámetros físicos de la muestra madre

Anexo 06 Ficha de monitoreo en campo y toma de muestras

FUENTE: <u>Agua Termal</u>	LUGAR: <u>Banuario Tauripampa</u>	COORDENADAS: <u>UTM W6584-183</u>
DISTRITO: <u>La Unión</u>	PROVINCIA: <u>Dos de Mayo</u>	DEPARTAMENTO: <u>Huánuco</u>
ECA PARA AGUA D.S N° 004 - 2017 - MINAM		
PARÁMETROS SUBCATEGORÍA B: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACION - CONTACTO DIRECTO (B1)		

N° de muestra	Fecha	Hora	Punto de muestreo	Parámetros medidos in situ				Tipos de muestras			Tipo de envase		Volumen ml	Observaciones
				Temperatura °C	pH	Conductividad us/cm	Sólidos Totales	Microbiológico	Físico - Químico	Metales pesados	Vidrio	Plástico		
1	10/10/21	10:20	UTM W6584-183	45°	6.3	1900	850			+		X	500	Se añadió 4ml de NaOH y 5ml de NaOH 1N
2	10/10/21		UTM W6584-185	45°	6.3	1900	850			+		X	60	Se añadió 6 gotas de HNO ₃

CADENA DE CUSTODIA

Código número de custodia:	Solicitante: <u>Diana Trujillo Rayoso</u>	DNI: <u>71959857</u>	Firma: <u>[Firma]</u>
Institución: <u>Universidad de Huánuco</u>	Dirección: <u>San Martín 240 Int. C</u>	Provincia: <u>Dos de Mayo</u>	Dpto: <u>Huánuco</u>
Teléfono: <u>974258880</u>	Responsable del muestreo: <u>Diana Trujillo Rayoso</u>	Distrito: <u>La Unión</u>	Urgencia:

91

Muestra Madre

Anexo 15 Ficha de campo con los resultados de los parámetros físicos de los 4 ensayos antes de emplear el proceso

Anexo 06 Ficha de monitoreo en campo y toma de muestras

FUENTE: <u>Agua Termal</u>	LUGAR: <u>Balneario Tauripampa</u>	COORDENADAS: <u>UTM W6584-185</u>
DISTRITO: <u>La Unión</u>	PROVINCIA: <u>Dos de Mayo</u>	DEPARTAMENTO: <u>Huánuco</u>
ECA PARA AGUA D.S N° 004 - 2017 - MINAM		
PARÁMETROS SUBCATEGORÍA B: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACION - CONTACTO DIRECTO (B1)		

N° de muestra	Fecha	Hora	Punto de muestreo	Parámetros medidos in situ				Tipos de muestras			Tipo de envase		Volumen ml	Observaciones
				Temperatura °C	pH	Conductividad us/cm	Sólidos Totales	Microbiológico	Físico - Químico	Metales pesados	Vidrio	Plástico		
1	07/11/21	08:05	UTM W6584-185	42°	6.3	1400	153			X		X	500	Se monitorea parámetros físicos en
2	07/11/21	08:15	UTM W6584-185	42°	6.3	1900	153			X		X	500	"
3	07/11/21	08:35	UTM W6584-185	43°	6.3	1800	863			X		X	500	"
4	07/11/21	08:50	UTM W6584-185	43°	6.7	1900	863			X		X	500	"

CADENA DE CUSTODIA

Código número de custodia:	Solicitante: <u>Diana Trujillo Reynoso</u>	DNI: <u>71958857</u>	Firma: <u>[Firma]</u>
Institución: Universidad de Huánuco	Dirección: <u>San Martín 240 Jata</u>	Provincia: <u>Dos de Mayo</u>	Dpto: <u>Huánuco</u>
Teléfono: <u>974258880</u>	Responsable del muestreo: <u>Diana Trujillo Reynoso</u>	Distrito: <u>La Unión</u>	Urgencia:

91

Antes de...

Anexo 16 Ficha de campo con los resultados de los parámetros físicos de los 4 ensayos después de empleado el proceso

Anexo 07 Formato para la recolección de datos de los ensayos en laboratorio

		FORMATO DE REPORTE ENSAYOS EN LABORATORIO - METALES (As y Ba)			
LUGAR:	Baño de Tarma Tauripampa	FECHA:	07/11/11	HORA:	7:30
ENSAYO N°	1	TESISTA:	Diana Trujillo Reynoso		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Agua Tarma					

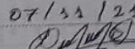
Muestra N°	Vol de muestra (L)	Parámetros de campos				Cantidad gotas de limón	Cantidad de hierro	Horas de radiación solar			Nivel de Arsénico (mg/L)		Nivel de Barlo (mg/L)		OBSERVACIONES
		pH	T°	ppm	us/cm			Inicio	Final	Total	As inicial (mg/L)	As final (mg/L)	Ba inicial (mg/L)	Ba final (mg/L)	
1	2	6.6	18.9	650	1284	2ml	12g	9:20 am	3:20	6 horas	0.17	0.054	1.1	0.926	Los parámetros físicos se midieron luego de emplear el proceso en 500 ml
2	2	6.6	18.9	680	1343	2ml	12g	9:20 am	3:20	6 horas	0.17	0.054	1.1	0.926	Los parámetros físicos se midieron luego de emplear el proceso en 500 ml
3	2	6.6	18.6	683	1348	2ml	12g	9:20 am	3:20	6 horas	0.17	0.054	1.1	0.926	Los parámetros físicos se midieron luego de emplear el proceso en 500 ml
4	2	6.6	18.5	683	1363	2ml	12g	9:20 am	3:20	6 horas	0.17	0.054	1.1	0.926	Los parámetros físicos se midieron luego de emplear el proceso en 500 ml

Después del proceso

Anexo 17 Cadena de custodia de la muestra madre

[illegible]

Anexo 18 Cadena de custodia de los 4 ensayos

 CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA										Nº 002534		FR-550 Versión 01 2021-01-04																																																																																							
DATOS DEL SOLICITANTE										PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS																																																																																									
CLIENTE O RAZÓN SOCIAL Leidy Diana Trujillo Reynoso DIRECCIÓN: San Martín 240 Int. C CONTACTO: 974 258 880 CORREO ELECTRÓNICO: leidy.trujillo@gmail.com										REFERENCIA Balneario Tauripampa NOMBRE DEL PROYECTO Proceso de Oxidación Solar DISTRITO / PROVINCIA / DPTO. La Unión / Los Rios de Mayo / Huánuco				NS 24036343 Hoja: 1 de 1																																																																																					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA										PLAN DE MUESTREO																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>ESTACIÓN</th> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th>TIPO DE MATRIZ (1)</th> <th>GEOREFERENCIA (UTM WGS84)</th> <th>ALTITUD (M.N.M.)</th> <th>ZONA</th> <th>ENSAYOS SOLICITADOS</th> <th>RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>07/11/21</td> <td></td> <td>AN</td> <td>10 76° 45' 75"</td> <td>3300</td> <td>18</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>07/11/21</td> <td></td> <td>AN</td> <td>10 76° 45' 45"</td> <td>3300</td> <td>18</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>07/11/21</td> <td></td> <td>AN</td> <td>10 76° 45' 45"</td> <td>3300</td> <td>18</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>07/11/21</td> <td></td> <td>AN</td> <td>10 76° 45' 45"</td> <td>3300</td> <td>18</td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										ITEM	ESTACIÓN	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA (UTM WGS84)	ALTITUD (M.N.M.)	ZONA	ENSAYOS SOLICITADOS	RESULTADOS	1		07/11/21		AN	10 76° 45' 75"	3300	18	X		2		07/11/21		AN	10 76° 45' 45"	3300	18	X		3		07/11/21		AN	10 76° 45' 45"	3300	18	X		4		07/11/21		AN	10 76° 45' 45"	3300	18	X		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PARÁMETROS IN SITU</th> <th colspan="2">CO</th> <th colspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <th>PH</th> <th>OD</th> <th>ORP</th> <th>CO</th> <th>CONDICIONES DE PRESERVACIÓN</th> <th>CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DEL CODER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.6</td> <td></td> <td></td> <td>1543</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.6</td> <td></td> <td></td> <td>1543</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.6</td> <td></td> <td></td> <td>1543</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.6</td> <td></td> <td></td> <td>1543</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				PARÁMETROS IN SITU		CO		OBSERVACIONES		PH	OD	ORP	CO	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN	CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DEL CODER	6.6			1543			6.6			1543			6.6			1543			6.6			1543		
ITEM	ESTACIÓN	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA (UTM WGS84)	ALTITUD (M.N.M.)	ZONA	ENSAYOS SOLICITADOS	RESULTADOS																																																																																										
1		07/11/21		AN	10 76° 45' 75"	3300	18	X																																																																																											
2		07/11/21		AN	10 76° 45' 45"	3300	18	X																																																																																											
3		07/11/21		AN	10 76° 45' 45"	3300	18	X																																																																																											
4		07/11/21		AN	10 76° 45' 45"	3300	18	X																																																																																											
PARÁMETROS IN SITU		CO		OBSERVACIONES																																																																																															
PH	OD	ORP	CO	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN	CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DEL CODER																																																																																														
6.6			1543																																																																																																
6.6			1543																																																																																																
6.6			1543																																																																																																
6.6			1543																																																																																																
TIPO DE MATRIZ (1) AN: AGUA NATURAL 1. Subterránea 3.1. Manantial 3.2. Termal 3. Superficial 3.3. Río 3.4. Laguna / Lago AR: AGUA RESIDUAL 3. Doméstica 4. Industrial 5. Municipal ACH: AGUAS PARA USO Y CONSUMO HUMANO 6. Agua de Intake (Agua Potable/Agua de Mesa/Agua Emvasada) 7. Agua de Piscina 8. Agua de Laguna Artificial AS: AGUA SALINA 9. Agua de Mar 10. Aguas Salobres 11. Salmuera 12. Agua de Inyección y Reinyección APR: AGUA DE PROCESO 13. Agua de extracción o enfriamiento 14. Agua de alimentación para calderas 15. Agua de alimentación para calderas 16. Agua de calderas 17. Agua de Lavación 18. Agua purificada 19. Agua de Inyección y Reinyección.										EQUIPOS DE CAMPO UTILIZADOS <table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>MARCA</th> <th>CODIGO INTERNO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Multi parámetro</td> <td>WDT</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				NOMBRE	MARCA	CODIGO INTERNO	Multi parámetro	WDT																																																																																	
NOMBRE	MARCA	CODIGO INTERNO																																																																																																	
Multi parámetro	WDT																																																																																																		
ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO Nombre: Leidy Diana Trujillo Reynoso Fecha: 07/11/21 FIRMA: 										RECEPCIÓN DE MUESTRAS Nombre: _____ Fecha: _____ Hora: _____ FIRMA: _____																																																																																									
DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR Nombre: _____ Fecha: _____ Hora: _____ FIRMA: _____										INFORME <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">V° B° LAB.</th> </tr> <tr> <th>MB</th> <th>FQ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				V° B° LAB.		MB	FQ																																																																																		
V° B° LAB.																																																																																																			
MB	FQ																																																																																																		

Anexo 19 Panel fotográfico

Imagen 1

Reconocimiento de la naciente termal del balneario Tauripampa



Imagen 2

Toma de muestra para monitorear parámetros físicos



Imagen 3

Toma de muestras para analizar en el laboratorio SGS



Imagen 4

Reactivos usados para preservar las muestras



Imagen 5

Rotulado de las muestras



Imagen 6

Conservación en frío de las muestras



Imagen 7

Recepción de los materiales enviados por el laboratorio CERTIFICAL

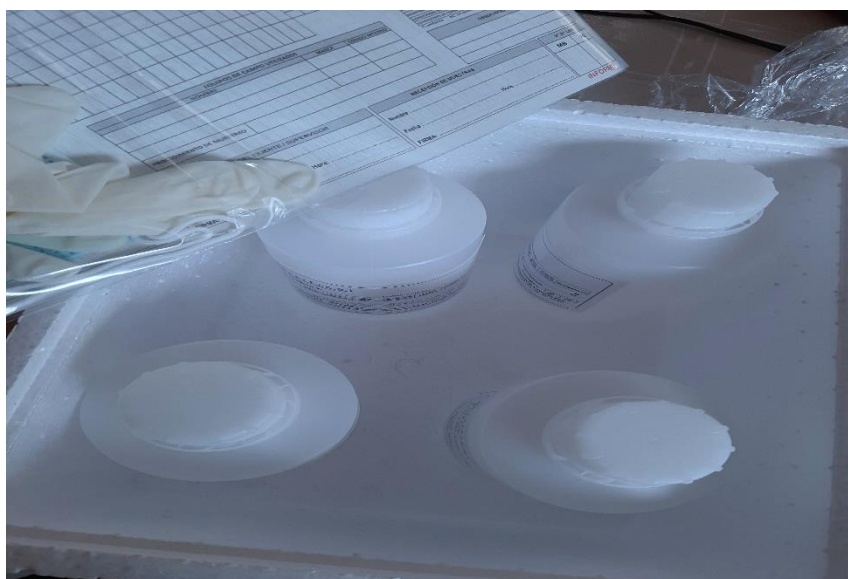


Imagen 8

Gigantografía con el título del proyecto



Imagen 9

Monitoreo de los parámetros físicos de la naciente termal



Imagen 10

Toma de muestras para los ensayos



Imagen 11

Preparación de las muestras

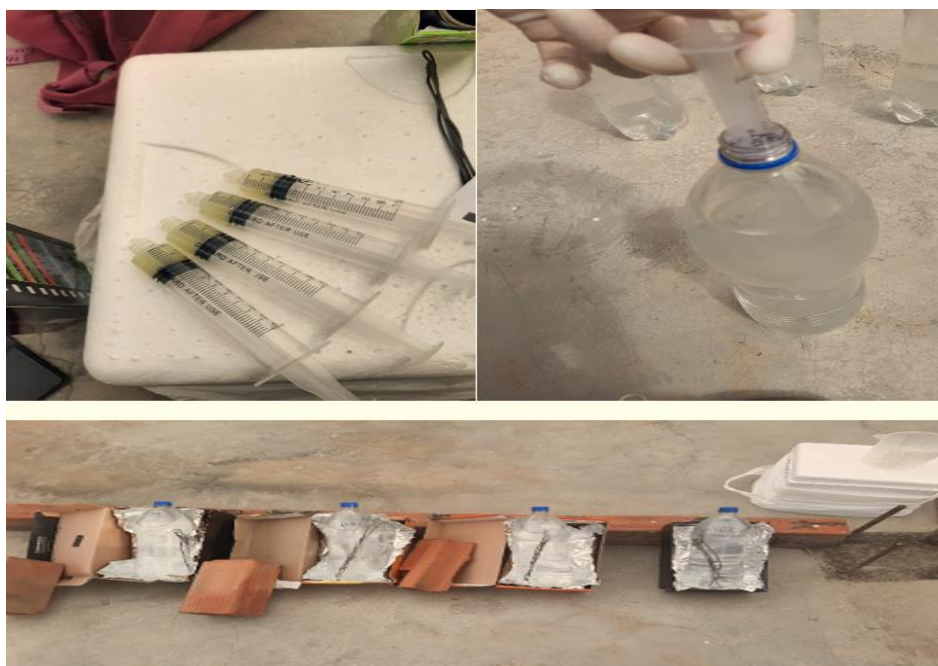


Imagen 12

Monitoreo de parámetros físicos



Imagen 13

Preservación en frío de las muestras

