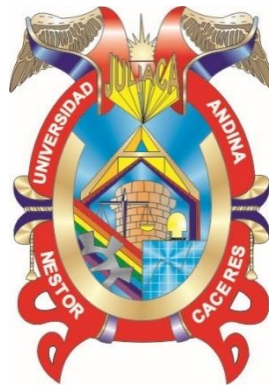




UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN
PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA
LABORATORIO JULIACA 2023**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. YASMETH WIT CACERES LIPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN
PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA
LABORATORIO JULIACA 2023**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. YASMETH WIT CACERES LIPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:



Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

:



Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 547-2024-D-FICP-UANCV

Juliaca, 13 de diciembre de 2024

VISTOS:

El OFICIO N° 112-2024-D/EPISA/FICP-UANCV del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N°513-2024 de fecha 25 de octubre de 2024 sobre la aprobación del Informe Final del trabajo de Investigación (tesis) titulado: REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023; y el trámite solicitado por el Bachiller en Ingeniería Sanitaria y Ambiental y;

CONSIDERANDO:

Que, el Bachiller: YASMETH WIT CACERES LIPE; ha solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado: REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023, para rendir el examen de sustentación del trabajo de Investigación (tesis) y optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, y;

Que, los Jurados designados por el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

- * Presidente : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
* 1er Miembro : Dr. ARNALDO YANA TORRES
* 2do Miembro : M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
* Asesor : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

De conformidad al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO. - APROBAR Lugar, Día y Hora para que el (la) bachiller: YASMETH WIT CACERES LIPE; rendirá el Examen de Sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental de acuerdo al siguiente detalle:

- * FECHA : martes 17 de diciembre de 2024
* HORA : 08:00
* LUGAR : Aula 306 - pabellón de hidráulica

ARTICULO SEGUNDO. - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c. Arch. 2024 Interesado Escuela Profesional

Signature of Decano and official stamp of the Faculty of Engineering and Pure Sciences

Signature of Dr. Efraín Parillo Sosa and official stamp of the Office of Investigation



RESOLUCIÓN DECANAL N° 513-2024-D-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de noviembre de 2024

VISTOS:

El **INFORME N° 178-2024-D-EPIC-FICP-UANCV-J**, del Director Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias, **INFORME N° 030-2024-UI-CI-EPISA-FICP-UANCV** del Presidente del Sub Comité de Evaluación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1062-2023-D-FICP-UANCV** que aprueba el Proyecto de Investigación el **04 de octubre de 2023** y el acta de revisión y calificación del Trabajo de Investigación (tesis) de fecha **11 de noviembre de 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE**, ha presentado su Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajo de Investigación, con fines de la obtención de Grados Académicos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, nominó a la sub comisión de evaluación de trabajo de investigación, a los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- * **1er Miembro** : **Dr. ARNALDO YANA TORRES**
- * **2do Miembro** : **M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

Que, el Sub Comité de evaluación ha aprobado en su integridad el Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 1135-2024, la originalidad del trabajo de investigación (tesis) titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

Estando, conforme a la **RESOLUCIÓN DECANAL N°064-2019-CF-FICP-UANCV** de fecha 02 de octubre de 2019 donde aprueba el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, que consta de XI capítulos y 71 artículos, y;

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR, el informe final de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Tesis)**, del Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Trabajo de Investigación en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como asesor del Trabajo de Investigación (tesis) al docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, al **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS.**

ARTICULO TERCERO.- La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese,

C.c.
archivo 2024
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP 95631



RESOLUCIÓN DECANAL N° 437-2024-D-FICP-UANCV

Juliaca, 16 de setiembre de 2024

VISTOS:

El OFICIO N° 080-2024-D/EPISA/FICP-UANCV, del Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, sobre el pedido de cambio de asesor del Proyecto de Investigación del Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE**; para optar al Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el tema titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023**;

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE**, ha solicitado cambio de ASESOR del Proyecto de Investigación titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023**, aprobado con la RESOLUCIÓN DECANAL N° 1062-2023-D-FICP-UANCV de fecha 04 de octubre de 2023; conformado por los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- * **1er Miembro** : **Dr. ARNALDO YANA TORRES**
- * **2do Miembro** : **M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

Que, el director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras ha tomado de conocimiento que el ASESOR del Proyecto de Investigación el (la) **Ing. KAREN KELLY QUISPE QUISPE**, no tiene vínculo laboral en la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, por lo que ha determinado cambiar al ASESOR del Proyecto de Investigación, conforme lo establece el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos e investigación con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y;

Estando, al proveído a la solicitud del ejecutante del Proyecto de Investigación y el documento de vistos, el director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, mediante el cual informa la designación de nuevo ASESOR; el mismo que deberá actuar según el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos e investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

Estando, en la opinión favorable del responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, en concordancia al Reglamento aseguramiento de calidad de trabajos e investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO. - **APROBAR**, el cambio de asesor del Proyecto de Investigación presentado por el Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE** con el tema titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, se le asigna como:

- * **ASESOR** : **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**

ARTICULO SEGUNDO. - Disponer a los miembros del Sub comité de evaluación dar continuidad al trámite de evaluación y calificación del Proyecto de Investigación, trabajo de investigación o sustentación de trabajo de investigación, según sea el caso que se encuentre cada expediente. Quedando valido en sus demás disposiciones la Resolución decanal de aprobación de Proyecto de Investigación, que se mencionan en el considerando.

ARTICULO TERCERO. - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el responsable del comité de investigación y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, el secretario Académico de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

DE MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

DE EFRAIN PAREJO SOSA
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP. 49831

cc. archivo 2024 interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1062-2023-D-FICP-UANCV

Juliaca, 04 de octubre 2023

VISTOS:

El, **INFORME N° 628-2023-D-UI-FICP.UANCV** del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **INFORME DE OPINIÓN TÉCNICA N° 081-2023-UI-CI-EPISA-FICP-UANCV** del responsable del Comité de Investigación, la **opinión técnica N° 120-2023-UANCV-FICP-UI-CI-EPISA** del presidente del sub comité de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** y el **ACTA DE REGISTRO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **29 de agosto del 2023**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- * **1er Miembro** : **Mgr. ARNALDO YANA TORRES**
- * **2do Miembro** : **M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **YASMETH WIT CACERES LIPE**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023.**

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR (A) DE INVESTIGACIÓN** al (a) la) asesor (a) externa, **Ing. KAREN KELLY QUISPE QUISPE.**

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Mgtr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP 95531

cc.
archivo 2023
interesado (a)



REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	11%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ufpso.edu.co Fuente de Internet	1%
5	1library.co Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Metadatos complementarios

Título de la Tesis	
REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	YASMETH WIT CACERES LIPE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70155808
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-1723-9172
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02383061
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-8660-8733
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	Saneamiento Ambiental - P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Urbanización Perlas del Altiplano Coordenadas: Latitud: -15.47663 Longitud: -70.10767 URL Maps: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1txdrIVvHT6rJiwKAr1repna94FH_piU&usp=sharing</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2023 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html Librería	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</p>

UNIVERSIDAD NACIONAL NESTOR CACERES VELAZQUEZ
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PUNO
DIRECTOR
Dr. Efrain Rujillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Yasmeth Wit Cáceres Lipe, identificado con DNI
Nro. 70155808, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Sanitaria y Ambiental

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN
PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO
JULIACA 2023

Asesorado por: SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 31 de diciembre del 2024

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante. A mis padres Mateo Caceres Cahuana, Fortunata Lipe Alvarez, gracias a su sacrificio que han hecho a lo largo de mi vida académica, por su respaldo incondicional en toda mi formación personal y profesional que han permitido cimentar mi vocación.

Esta tesis también va dedicada para mi hija Eymi khalessi, quien ha sido la fuerza inspiradora que ha alimentado mi tenacidad para alcanzar mis metas, anhelando ser un referente para ella. A mi compañero de vida, mi motivación constante Roy Sanizo, agradecerle por estar a mi lado durante mi camino universitario. Por su amor, apoyo y comprensión han sido pilares fundamentales en mi éxito académico.

A mis queridos hermanos(a) por su apoyo a lo largo de mi trayectoria académica. en memoria a mi sobrina Daenerys Paola que me cuida desde el cielo.

Yasmeth Wit Caceres Lipe



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, elevo mi gratitud a la divinidad por ser la fuente de mi inspiración y fortaleza en esta travesía hacia la concreción de un anhelo profundamente anhelado, también doy gracias a la universidad Andina Nestor Caceres Velasquez, Facultad Ciencias Puras, Escuela Profesional Sanitaria y Ambiental por permitirme tener una buena experiencia dentro de la universidad, mi más profundo agradecimiento a quienes me han transmitido sus saberes durante mi formación profesional, y de forma particular a mi mentora en el proyecto de investigación, cuya paciencia y disposición han sido inconmensurables.

Yasmeth Wit Caceres Lipe



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.4.1. Justificación practica	4
1.4.2. Justificación social.....	4
1.4.3. Justificación ambiental	5



1.4.4. Justificación económica.....	5
1.5. Hipótesis de la investigación	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
1.6. Variables.....	6
1.6.1. Variable independiente (VI)	6
1.6.2. Variable dependiente (VD)	6
1.7. Operacionalización de variables	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. Antecedentes internacionales	8
2.1.2. Antecedentes nacionales	11
2.1.3. Antecedentes regionales	14
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Arsénico en aguas subterráneas.....	16
2.2.2. Arsénico	17
2.2.3. Propiedades del arsénico	18
2.2.4. Estados del arsénico	19
2.2.5. Toxicidad del arsénico.....	20
2.2.6. Ciclo del arsénico	21
2.2.7. Efectos del arsénico sobre el bienestar general.....	22



2.2.8. Electrofiltración 23

2.2.9. Etapas de la electrofiltración 25

2.2.10. Componentes de la electrofiltración 25

2.2.11. Factores que afectan a la electrofiltración 26

2.2.12. Ventajas de la electrofiltración 29

2.3. Marco conceptual 30

2.3.1. Agua subterránea 30

2.3.2. Electroquímica 30

2.3.3. Electrolito 31

2.3.4. Intensidad de corriente 31

2.3.5. Voltaje 31

2.3.6. Tiempo de retención 32

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación 33

3.2. Tipo de investigación 34

3.3. Procedimiento metodológico 35

3.3.1. Objetivo 1: Determinar la concentración inicial de arsénico presentes en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano 35

3.3.2. Objetivo 2: Identificar la intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas 40



3.3.3.Objetivo 3: Determinar el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración..... 43

3.4. Materiales y equipos..... 45

3.5. Técnicas e instrumentos..... 46

 3.5.1. Técnicas..... 46

 3.5.2. Instrumentos..... 46

3.6. Población y muestra 46

 3.6.1. Población..... 46

 3.6.2. Muestra 47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados 49

 4.1.1. Concentración y dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano 49

 4.1.2. Intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas..... 51

 4.1.3. Porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración 55

4.2. Análisis estadístico..... 57

 4.2.1. Prueba de hipótesis general 58

 4.2.1. Prueba de hipótesis específico 1 59

 4.2.2. Prueba de hipótesis específico 2 61



4.2.3. Prueba de hipótesis específico 3	63
4.3. Discusiones.....	66
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	77
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	58
Anexo 2: Panel Fotográfico	58
Anexo 3: Dinámica del arsénico en las aguas subterráneas.....	69
Anexo 4: Cadena de custodia.	70
Anexo 5: Resultados del análisis en laboratorio.....	69



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables de la investigación.....	7
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del arsénico	18
Tabla 3. Parámetros evaluados	35
Tabla 4. Datos de los puntos de muestreo	36
Tabla 5. Características de los tratamientos.....	40
Tabla 6. Cálculo de la densidad de corriente (mA/m^2)	41
Tabla 7. Materiales y equipos	45
Tabla 8. Concentración de arsénico en las aguas subterráneas	49
Tabla 9. Tiempo de retención e intensidad de corriente en los tratamientos ...	51
Tabla 10. Porcentaje de remoción de materia orgánica	55
Tabla 11. Prueba de normalidad.....	57
Tabla 12. ANOVA para hipótesis general	59
Tabla 13. T-student para hipótesis específico 1.....	60
Tabla 14. ANOVA para hipótesis específico 2	62
Tabla 15. Prueba de Tukey.....	63
Tabla 16. ANOVA para hipótesis específico 3	64
Tabla 17. Prueba de Tukey.....	65



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Eh-pH de especies acuosas predominantes de arsénico	19
Figura 2. Especies de arsenito y arseniato en función del pH.....	20
Figura 3. Ciclo del Arsénico.....	22
Figura 4. Sistema de electrofiltración con ánodo de aluminio y cátodo de hierro	24
Figura 5. Patrón de estratificación de puntos de muestreo	36
Figura 6. Muestreo de aguas subterráneas.....	39
Figura 7. Procesamiento de la dinámica del arsénico en aguas subterránea .	39
Figura 8. Diseño del electrofiltro.....	42
Figura 9. Diagrama de procedimiento metodológico	44
Figura 10. Ubicación del área en estudio	47
Figura 11. Concentración de arsénico en relación al LMP	49
Figura 12. Dinámica del arsénico en las aguas subterráneas.....	50
Figura 13. Comportamiento del As con 25V y 30V a 50 minutos	51
Figura 14. Comportamiento del As con 25V y 30V a 60 minutos	53
Figura 15. Reducción de la concentración de As con 25V y 30V a 50 minutos	54
Figura 16. Comportamiento del porcentaje de remoción de Arsénico.....	56



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar la remoción de arsénico mediante la electrofiltración de aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala de laboratorio en Juliaca, 2023. La metodología se caracterizó por un enfoque cuantitativo, implementando un diseño experimental con un tipo de investigación aplicada. La recolección de datos se realizó por medio de la observación directa, el análisis documental y la ejecución de métodos estadísticos, empleando como herramienta la cadena de custodia y el "Reglamento de calidad de agua para consumo humano DS N°031-2010SA". La muestra estuvo constituida por 80L de agua subterránea a tratar y 500mL para laboratorio; se utilizó un muestreo no probabilístico, determinado por las necesidades particulares del investigador. En los resultados para el objetivo 1, la concentración de arsénico en las aguas subterráneas oscilaba entre 0.01 mg/l y 0.0369 mg/l, lo cual superaba la normativa para agua de consumo humano, establecida en 0.010 mg/l. En los resultados para el objetivo 2, la intensidad de corriente y el tiempo de retención óptimos en el electrofiltro fueron de 30 V y 60 min, respectivamente, los cuales lograron remover el arsénico hasta alcanzar un rango de 0.0081 mg/l a 0.0009 mg/l. En los resultados para el objetivo 3, el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas alcanzó el 97.6% mediante la electrofiltración.

Palabras claves: Arsénico, Agua subterránea, Electrofiltro, Remoción



ABSTRACT

The objective of this scrutiny work was to determine arsenic removal by electrofiltration of groundwater from the Perlas del Altiplano urbanization at laboratory scale in Juliaca, 2023. In the methodology, a quantitative procedure of experimental designing with an applied type of research was used. To obtain data, the method of direct observance, document review and request of statistical procedure was utilized. The chain of detention and the "Regulating of water quality for human intake DS N°031-2010SA" were used as apparatus. The sample was constituted by 80L of groundwater to be dealt and 500mL for the laboratory; the type of tasting was non-probabilistic, outlined to the investigator needs. In the outcome for objective 1, the focusing of arsenic in the groundwater remote from 0.01 mg/l to 0.0369 mg/l, which exceeded the standard for water for human consumption, constituted at 0.010 mg/l. In the results for objective 2, the optimum current intensity and retention time in the electrostatic precipitator were 30 V and 60 min, respectively, which were able to remove arsenic to a range of 0.0081 mg/l to 0.0009 mg/l. In the results for objective 3, the percentage of arsenic removal from water table reached 97.6% by electrostatic precipitation.

Keywords: Arsenic, Ground water, Electrostatic precipitator, Removal.



INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) en las aguas subterráneas constituyen un desafío global de la salubridad pública y ambiental a causa de su toxicidad y abundancia en diversas fuentes acuíferas. La presencia de arsénico en el aprovisionamiento de agua para el consumo ha sido identificada como una preocupación significativa en numerosas regiones del mundo (Litter et al., 2019). Según la (OMS), la cantidad máxima aceptable de As en la red de abastecimiento de agua potable es de 0.010mg/L, sin embargo, en muchas áreas, las concentraciones superan este límite, es imperativo, por tanto, la creación de tecnologías con óptima eficiencia. y asequibles para la erradicación de arsénico en aguas del subsuelo.

La electrofiltración es un proceso prometedor que combina la electrocoagulación y la microfiltración para la eliminación de contaminantes del agua. Esta tecnología evidencia su eficacia en la reducción de diversos contaminantes, como los componentes orgánicos, metales de alta densidad y microorganismos (Laqbaqbi et al., 2017). Además, presenta ventajas significativas, como un bajo consumo de energía, una alta eficiencia de remoción y la generación de un lodo compacto y fácil de desechar (Laissaoui et al., 2021, pg.258).

En los últimos tiempos, se han efectuado diversos análisis estudios sobre la aplicación de la electrofiltración para la depuración del agua de arsénico. En donde los autores (Laissaoui et al., 2021) manifiestan que la eficiencia del reactor de electrofiltración alcanza una remoción del 99% de arsénico de soluciones acuosas.



Este trabajo se propone explorar la electrofiltración como una tecnología viable y sostenible para la remoción de arsénico. Se busca contribuir al desarrollo e implementación de métodos eficientes para el tratamiento de agua suministradas en los lugares afectados por la contaminación de arsénico.

La investigación esta presentada por cuatro secciones, las cuales se detallan:

El capítulo I: empieza por la introducción, se formula el problema, se establecen las hipótesis, se justifica la investigación y se enuncian los objetivos conseguidos mediante el análisis.

El capítulo II: Se evidencia los fundamentos epistémicos que sustentan el proyecto, delineando la razón de ser del tema de estudio.

El capítulo III: se explora el enfoque metodológico, detallando el tipo de investigación, el modelo de estudio, los instrumentos y técnicas de recolección de datos, la muestra y la población de estudio, así como los procedimientos para la obtención y el tratamiento de datos.

El capítulo IV: Se exponen los resultados, y se reflexiona sobre su significado. Finalmente, se formulan las conclusiones y se proponen las recomendaciones pertinentes.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática.

La Urbanización Perlas del Altiplano está ubicada en la ciudad de Juliaca, en donde aproximadamente 542 familias viven en esta urbanización y cuentan con un pésimo suministro de agua de bebida porque la provisión de agua al día es por un corto periodo, considerándose como motivo de preocupación en estos tiempos ya que hay una crecida en el número de habitantes en la urbanización, debido a esta problemática las familias optan por utilizar como fuente de abastecimiento para su consumo el agua del subsuelo sin previa desinfección y/o tratamiento.

Según un estudio realizado por la DIRESA PUNO (2019), el 70% de los pozos de agua subterránea de la urbanización presentan concentraciones de arsénico elevados 50 $\mu\text{g/L}$, sobrepasando ampliamente el LMP de 10 $\mu\text{g/L}$ determinado por la (OMS).



El consumo excesivo de agua con contenido de arsénico puede ocasionar graves consecuencias en la salud, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer de piel, pulmón y vejiga (Singh et al., 2015). En la urbanización Perlas del Altiplano, se han reportado casos de lesiones cutáneas y como también enfermedades relacionadas con el consumo de arsénico en elevadas cantidades por medio del agua (Dirección Regional de Salud de Puno, 2019).

La contaminación debidos al arsénico en las aguas del sub suelo de la región puede tener origen natural, debido a la presencia de minerales arsenicales en las formaciones geológicas locales. Además, la temperatura el pH y la existencia de otros iones son componentes que pueden influir en la movilidad y biodisponibilidad del arsénico en el agua subterránea (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Ante esta situación, es crucial implementar tecnologías eficientes y sostenibles para poder remover el arsénico del agua del subsuelo. La electrofiltración, es un proceso que combina la electrocoagulación y la microfiltración, se ha comprobado que es una forma efectiva de eliminar el arsénico del agua. Para su implementación, es crucial tener en cuenta las propiedades como la composición atómica del recurso acuático y la contaminación por otros agentes.

Ante la realidad problema expuesta, se propone la fabricación de un electrofiltro a escala de laboratorio con el fin de llevar a cabo tratamientos destinados a reducir los niveles de arsénico. Estos tratamientos se caracterizarán por una correlación entre la intensidad de corriente eléctrica y el tiempo de exposición.



1.2. Planteamiento del problema.

1.2.1. Problema general

¿Cuánto será la remoción de arsénico mediante la electrofiltración de aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cuál será la concentración y la dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano?
- 2) ¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas?
- 3) ¿Cuál es el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la remoción de arsénico mediante la electrofiltración de aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar la concentración y la dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano



- 2) Identificar la intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas
- 3) Determinar el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación práctica

La base justificativa de este estudio se sustenta en la necesidad de abordar el tema referente a la contaminación de los acuíferos subterráneos debido al arsénico, debido a su influencia inmediata en el bienestar colectivo. La electrofiltración brinda una solución técnica viable y efectiva para la remoción de este contaminante, ofreciendo un método de tratamiento de agua que puede implementarse de manera práctica y sostenible. Al proporcionar una alternativa eficiente y accesible para la purificación del agua, este trabajo busca fomentar la mejora del bienestar de las comunidades afectadas y garantizar su acceso a agua potable segura, promoviendo así el bienestar del público general.

1.4.2. Justificación social

Este estudio se basa en la justificación social fundamentada en la necesidad de proteger el bienestar de las comunidades afectadas por la toxicidad de arsénico en las fuentes subterráneas. Al implementar la electrofiltración como método de remoción, se busca proporcionar acceso a agua potable segura, lo cual es un derecho humano fundamental. Este enfoque contribuye a tener una



vida más saludable personas, mitigando los riesgos asociados con la ingesta de agua contaminada.

1.4.3. Justificación ambiental

Este estudio tiene como justificación ambiental respaldar la importancia vital de preservar la integridad y el bienestar de los sistemas hídricos. El agua del subsuelo con niveles elevados de arsénico conlleva una grave preocupación para la biodiversidad y el equilibrio ecológico. La utilización de la electrofiltración para eliminar arsénico ofrece una solución ambientalmente sostenible al evitar la propagación de contaminantes y minimizar los impactos adversos en los hábitats acuáticos y las especies asociadas para proteger los ecosistemas naturales y la disposición del agua, este enfoque contribuye significativamente a la conservación y restauración de la salud ambiental en las áreas afectadas, asegurando la integridad de los sistemas acuáticos para las generaciones futuras.

1.4.4. Justificación económica

La justificación económica de esta investigación sustenta que la integración de la implementación de electrofiltración para la depuración de agua del subsuelo con contenidos de arsénico representa una inversión económica significativa en tiempos reducidos. En cambio, aun tiempo más amplio, esta tecnología resultará altamente rentable al evitar los elevados costos asociados al tratamiento de enfermedades causadas por la exposición crónica al arsénico, como cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes. Además, garantizará una fuente de agua potable segura, reduciendo los gastos en agua embotellada



y disminuyendo las pérdidas económicas por ausentismo laboral debido a problemas de salud relacionados con la contaminación por arsénico.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de la técnica de electrofiltración remueve el arsénico hasta una concentración por debajo de 0.009mg/l en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023

1.5.2. Hipótesis específicas

- 1) La concentración de arsénico de las aguas subterráneas sobrepasa la normativa vigente de 0.010mg/l en la urbanización Perlas del Altiplano.
- 2) La intensidad de corriente y tiempo de retención de óptima en el electrofiltro es 30V y 60min para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano.
- 3) El porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas es mayor al 60% aplicando la electrofiltración

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente (VI)

- Arsénico en aguas subterráneas

1.6.2. Variable dependiente (VD)

- Electrofiltración



1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables de la investigación

VARIABLES	DIMENCIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	METODOLOGÍA
Independiente: Agua subterránea con arsénico	Concentración inicial	Arsénico	mg/L	Diseño de investigación Experimental
	Porcentaje de remoción	Arsénico	%	
Dependiente: Electrofiltración	Operacionalización	Intensidad de corriente	voltios	Tipo de investigación Aplicada
		Tiempo	minutos	
		Características	Nº de electrodos	unidad
	capacidad	volumen		



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

La investigación presentada por Mohoraa et al. (2017) tuvo por objetivo esencial "evaluar la eficiencia del reactor de electrocoagulación como proceso independiente en la eliminación de arsénico que contiene el agua del subsuelo". Para ello realizaron pruebas mediante laboratorio utilizando un reactor con capacidad para procesar 300 litros por día, equipados con electrodos bipolares de placa de (Fe) para determinar su capacidad de retiro de arsénico presente en las aguas del subsuelo sin tratar, el espacio de los electrodos fue de 1,2 cm. Los electrodos de Fe se conectaron en modo bipolar a la fuente de alimentación de proceso de coagulación cambiándolos en intervalos de 30 minutos con el fin de minimizar la pasivación del electrodo de Fe. El agua subterránea tratada se recogió después de un período deseado del flujo de efluentes del reactor, filtrado en un filtro de membrana de 45 μm .



En sus resultados obtuvieron los parámetros ideales de operatividad del reactor EC que fue un caudal de 12 L/h, carga de carga de 54 C/L, densidad de corriente de 1,98 amperios por metros cuadrados, caudal de 12 litros por hora. El reactor EC pudo retirar el 96 por ciento del As de las aguas subsuelo sin tratar y cubrió con el límite que hace mención la (OMS) respectivo de 10 microorganismos de arsénico por litro en un periodo experimental de cuatro horas. La alternativa de polaridad del electrodo de Fe a los treinta minutos registró con éxito su inactividad de los electrodos de Fe y siguió una operación constante del reactor con una elevada efectividad en la erradicación de Arsénico.

La investigación presentada por Ramírez et al. (2018) tuvo por objetivo "evaluar método de (EC) en un modelo experimental para eliminar el flúor y arsenico en agua de los pozos del Valle de Gadiana". La investigación se llevó a nivel experimental, utilizando liquido artificial, con características similares al depósito hídrico. Se aplicó una estación de tratamiento que incluyo EC, seguido de la filtración y sedimentación de las pruebas. Este método permitió conseguir agua que cumplió con el parámetro de 0.7 miligramos por litros para flúor y 0.010 miligramos por litros para arsénico, indicado por la (OMS). Los costos fueron accesibles, dado que se tomaron en cuenta los gastos iniciales del prototipo a nivel escala, abordando solo uno punto cinco litros de pruebas y realizando el proceso de filtración forma manual.

El informe elaborado por el autor Manchego & Zabala (2019) tuvo por propósito "Desarrollar un sistema de electrocoagulador a nivel laboratorio que genere un método de erradicación de arsénico en agua". Se optó por una metodología experimental donde construyeron de un prototipo basado en un



reactor tipo Batch con nivel de capacidad más alto fue de 3,375L. La distribución elegida para la implementación electroquímica fue pruebas basadas en una distancia entre electrodos incluyendo hierro y aluminio, fue de quince milímetros. Durante un periodo práctica, se llevó a cabo la elaboración del montaje inicial, prepararon la solución patrón, Luego, utilizando la Ley de Faraday, calcularon el voltaje necesario teóricamente para la remoción de la concentración. Para las pruebas de laboratorio se eligieron diez V. indicados para realizar los ensayos siguientes, debido al poco empleo del potencial energético y a las propiedades identificadas que mostraron los flóculos formados. Mediante un experimento se notaron variaciones en los niveles de temperatura, concentración, pH, y SDT, en diferentes transcurso de tiempo entre (diez, veinte, treinta y cuarenta min.). obtuvieron una mejor eficiencia en los ejemplares de diez min. esto se debe al contacto del agua con los hidróxidos formados a través de coagulación en el sitio, facilitando la adsorción apta del Arsénico mediante burbujas de (H) que facilitaron la ascensión de los flóculos, favoreciendo su eliminación. Después se, se ejecutó la experimento final, que implicó la examinación de disoluciones en secuencia. Permiten determinar los términos óptimos de las celdas electrocoagulación para remover el contaminante, el resultado, lograron una eficacia superior en las cantidades de remoción entre 250 miligramos por litros a 500 miligramos por litros de arsénico. Esto permitió alcanzar una reducción del contenido de arsénico por encima del 90%, teniendo como referencia el cumplimiento de los componentes requeridos en la normatividad ambiental vigente en Colombia.

El estudio presentado por Yáñez (2020) tuvo por objetivo la "eliminación Tanto de flúor como del arsénico, encontrados en el agua del sub suelo de la



ciudad de Querétaro". Para ello, tomó muestras de aguas subterráneas que presentaron arsénico As (V) y As (III) siendo esta última más abundante y más difícil de eliminar debido a su mayor toxicidad, para facilitar su eliminación se empleó una cantidad inicial de 1 miligramo L^{-1} de hipoclorito de sodio, que ayuda a la oxidación del arsénico trivalente y la oxidación pentavalente. utilizando electrodos de aluminio y hierro. La óptima eliminación conjunta de ambos contaminantes se logró mediante la electrocoagulación con electrodos de aluminio, estos con un ámbito laboral de 40 centímetros cuadrados, en batch, con una flujo de corriente de $6 mA \cdot cm^{-2}$, con un tiempo de electrocoagulación de 6 min, una distancia electroda de 4mm, agitación de 100 rpm, para una muestra de agua sintética que replican las características del agua del subsuelo, con estas condiciones antes mencionadas se logró una remoción por debajo de los LMP para consumo y su debido uso establecidos en la NOM-127-SSA1994, de igual manera estando por debajo de los limites propuestos por la OMS.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El trabajo investigativo realizado por Arévalo (2016) tiene como principal objetivo "examinar el efecto en el lapso de permanencia de una preparación sintética de arsénico en disolución y la intensidad de corriente utilizada en la reducción del porcentaje de As (III) en una solución hídrica a través de la técnica de EC" Para ello en su metodología se emplearon electrodos de acero ASTM A-36 de 5.0 x 5.0 x 0.2 centímetros y ánodos de aluminio serie AA-1050, teniendo noventa y seis electrodos en total siendo utilizados (cuarenta y ocho de cada tipo); en un reactor de electrocoagulación donde se llevaron a cabo 48 pruebas; Conservando la conexión entre los campo de pH inicial, velocidad de agitación,



electrodos. Las conclusiones indicaron que tanto el aumento del periodo de permanencia como la intensidad de corriente utilizada influyeron de manera considerable en el Tasa de disminución de los niveles de arsénico en la solución, siendo el tiempo de permanencia ligeramente más influyente que la intensidad de corriente, como se evidenció mediante (ANOVA) análisis de varianza, analizado con el programa EXCEL, con un valor de aceptabilidad de noventa y cinco por ciento. De igual manera, aumentando el valor del pH promedio en el lapso de permanencia de las pruebas analizadas la mejor eficacia de eliminación es de 99.20 por ciento logrando un lapso de permanencia de 45 min. y a una densidad de corriente de 40 miliamperios por centímetro cuadrado, en el lapso de permanencia de las muestras sometidas a ensayo, teniendo una superior eficacia de velocidad en la erradicación, se obtuvo a los quince minutos de prueba aplicada en las densidades de corriente para todos los niveles.

El informe presentado por el autor Paitan & Palomino (2017) tiene como propósito principal "Examinar la depuración de arsénico existente en el agua del distrito de Quero". Mediante la aplicación de técnicas de electrocoagulación". En el enfoque metodológico se llevaron a cabo el análisis físico-química del agua objeto de investigación para comprender los parámetros involucrados se aplicó la técnica de espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para determinar la presencia de arsénico, donde se obtuvieron resultados que indican los niveles de arsénico presentes 0,0543 miligramos de arsénico por litros la cual excede lo establecido en ECA para el agua. Para ello utilizaron un volumen de uno coma ocho litros de agua durante cada etapa del diseño experimental, se implementó el proceso de electrocoagulación con el uso de un rectificador de tensión diferentes rangos de: cero a cincuenta voltios y de



ceros a diez A., siguiendo con las pruebas iniciales para elegir los electrodos incluida la distancia entre ellos como uno de los factores clave: se implementó tres placas de aluminio como cátodos y tres placas de hierro como ánodo dispuestos en grupos distanciados a un centímetro y un perímetro superficial de aproximadamente $0,08856$ metros cuadrados de electrodos y la pruebas, logrando $28,23$ amperios por metros cuadrados en densidad y 25 minutos como lapso de resistencia, una eliminación promedio de $97,73$ por ciento de arsénico y una cantidad promedio de arsénico final de $0,0012$ miligramos de arsénico por litro, estos resultados confirman que lo planteado en este documento de investigación es una adopción aceptable para el tratamiento del Agua con contaminantes de Arsénico.

El estudio presentado por Velásquez (2022) tuvo por objeto “analizar la efectividad de la electrocoagulación con un tratamiento adicional en el proceso de las aguas en San Borja, Lima”. En su enfoque metodológico, se empleó la implementación de una celda de tipo batch con un potencial de treinta L. (equivalentes 0.5 por ciento del potencial real la PTSB); en el lugar se implementaron veinte electrodos dispuestos en paralelo (diez de Fe y diez de Al) se aplicaron en el tratamiento seis a doce amperios de intensidad de corriente, en el lapso de tiempo de diez, veinte y treinta min en un total de veintiocho ensayos, incluyendo cuatro tomas de controles y los demás como tratamientos. Las conclusiones obtenidas revelaron que las causas determinantes para un tratamiento eficaz de la electrocoagulación es el tiempo de (treinta min.) y la fuerza de la corriente eléctrica (12 amperios) La experimentación y aplicación de la técnica de electrocoagulación mostró resultados altamente satisfactorios para su implementación como un tratamiento suplementario de aguas residuales de



San Borja, logrando una reducción de 439.4 a 36.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la conductividad y una reducción del 98 por ciento en la concentración de arsénico; además, se observaron cambios en el pH dentro del rango de 6.5 unidades a 7.8 unidades y en la temperatura de $\Delta 6.2\text{ }^\circ\text{C}$. a $\Delta 0.8\text{ }^\circ\text{C}$.

2.1.3. Antecedentes regionales

Porto (2014) el propósito principal consiste en "Determinar la erradicación de arsénico a través del método de electrocoagulación de aguas - Ananea". Para llevar a cabo su metodología, el autor implemento un reactor a escala de laboratorio con ejecución tipo batch con las siguientes especificaciones: Un par de electrodos de acero inoxidable con una estructura mono polar, Tres dispositivos anódicos fabricados de aluminio, cuya área activa de aluminio abarca 288 centímetros cuadrados., un volumen de celda de 1.0 L y una distancia entre los electrodos de 1.5 centímetros. Las conclusiones de los experimentos sobre la eliminación de As (V) mediante electrocoagulación se adecuaron a los enfoques teóricos de absorción a temperatura constante, mostrando una buena concordancia con el modelo de Langmuir ($K_L = 555.56$ y $R^2 = 0.994$, $a_L = 83.57\text{ mg As}^{5+}/\text{g Al(OH)}_3(\text{s})$) dentro del rango de concentraciones evaluadas (25min de electrocoagulación y 0.3 a 2.0 mg As^{5+}/L). en cuanto a la cinética de eliminación de arsénico pentavalente las conclusiones de los experimentos indican que el método de cinética pseudo segundo orden ($k_2 = 9.185 \times 10^{-3}\text{ g}/\text{mg} \cdot \text{min}$, $q_e = 19.06\text{ mg As}^{5+}/\text{g Al(OH)}_3(\text{s})$ y $R^2 = 0.986$) se ajusta con mayor precisión en Las mediciones experimentales dentro del intervalo de tiempo evaluados (dos a treinta min.) con una concentración inicial de 0.323 g y 5.0mg As^{5+}/L de coagulante $\text{Al(OH)}_3(\text{s})$ producidos. Mediante una



estructura compuesta central notable se logró un porcentaje elevado de eliminación de arsénico (%R) del 92.57 por ciento, lo que representa el 0.0075 mg As/L en arsénico como concentración final, bajo las siguientes condiciones operativas: tiempo (T) de 17.18 minutos, densidad de corriente (DC) de 1.87 mA/cm² y arsénico en cantidades iniciales de 0.101 miligramos por litros.

El estudio presentado por Alanoca (2020) tiene por objetivo "examinar la reducción de metales pesados a través de la electrofiltración acuática del subsuelo de la residencial Villa magisterial ubicado en la ciudad de Juliaca - Puno a escala de laboratorio". En su enfoque metodológico, se empleó un método estadístico factorial 2A2B DCA totalmente aleatorio, las operaciones de parámetros incluyeron A: (lapso de tratamiento, cincuenta min, sesenta min) B: (amperaje de corriente continua, veinticinco volteos, treinta volteos); El electrofiltro diseñado es de forma cilíndrica con dimensiones veinte L de capacidad, treinta centímetros de altura, veintiocho centímetros de diámetro y se utilizaron ocho electrodos de acero inoxidable, cuatro cátodos, cuatro ánodos y 2 filtros de depósito de 1 micra, se evacuó los líquidos tratados mediante los filtros conectados a un tubo PVC de 1/2" en la base del reactor. Se obtuvo una depuración del 96.1% para el arsénico, empleando la combinación específica independientes de las variables As (60 min, 25 Volteos).

La indagación realizada por Mamani (2019) su propósito es "diagnosticar el arsénico y sus cantidades en las aguas del subsuelo del distrito de Juliaca". Se eligieron 20 pozos tubulares en total de las cuales analizaron los parámetros fisicoquímicos. En los hallazgos indicaron que la cantidad de arsénico en el pozo 11 mostro mayor concentración y en el pozo 8 presento la menor concentración



de arsénico siendo $146 \mu\text{g L}^{-1}$ y $17 \mu\text{g L}^{-1}$. Sin embargo, diecinueve de los veinte pozos tienen cantidades promedio de $73.5 \mu\text{g L}^{-1}$ de arsénico; concluyendo que las aguas del sub suelo en la ciudad de Juliaca se encuentran contaminadas con arsénico y sobrepasan las normativas establecidas de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ de As.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Arsénico en aguas subterráneas*

La contaminación de arsénico en las aguas se origina a través de procesos de lixiviación natural y se dispersa hacia los acuíferos, pozos del subsuelo y lagos. La alta concentración de arsénico tiene un origen como fuente principalmente natural, manifestándose en aguas del sub suelo (Huillca y Apaza, 2019) en forma de arseniatos y arsenitos, los cuales varían según las condiciones redox, la actividad biológica y el pH (García, 2013).

Los grados superiores de concentración no están limitadas a ciertos entornos o contextos determinados, siendo detectadas en acuíferos bajo situaciones oxidantes y con un pH elevado, así como en zonas hídricas bajo condiciones reductoras, reservas con actividad geotérmica, reservas perjudicadas por las acciones relacionadas con la minería generando depósitos minerales, y reservas asociados con otros métodos de origen humano (agricultura, zonas urbanas actividades industriales, etc.). Por otro lado, la mayoría de las reservas con elevados niveles de arsénico su origen es de procesos geoquímicos naturales (Quispe, 2022). La contaminación con arsénico es mayor debido a los minerales o rocas volcánicas las cuales tienden a ser mayor en las aguas superficiales (Córdova, 2013).



Una porción de la precipitación recibida (bien sea lluvia, nieve o granizo) recorre sobre suelo terrestre formando corrientes de agua en arroyos y ríos, lo que constituye la escorrentía superficial. Otra porción penetra en el suelo, llenando espacios entre partículas y grietas; una vez saturados, estos espacios, el agua fluye hacia abajo por efecto de la gravedad hasta alcanzar manantiales, corrientes de agua o incluso mares, dando lugar así a la escorrentía subterránea (Fuentes, 1993).

2.2.2. Arsénico

De origen griego "Aarsenkon" cuyo significado es "potente". Es un componente químico conocido como arsénico. Su descubrimiento se atribuye a Alberto Magno alrededor de 1250, quien lo obtuvo a base de calor del óxido de (As) con jabón, un proceso que despertó la curiosidad de quienes practicaban la alquimia de la época. Este elemento puede formar compuestos tanto inorgánicos como orgánicos y se muestra en diversas fases de oxidación, tales como arsenito As^{3+} , iones como arseniato As^{5+} , o semimetálico As (0), arsina As^{3-} , (Porto, 2014)

En otras formaciones minerales, el arsénico puede estar presente, tales como los $FeO(OH)$ y óxidos, y en pequeñas medidas, los de aluminio y manganeso. En estas estructuras, el arsénico puede ser parte integrante o estar adherido a la superficie. También, los fosfatos son un conjunto de minerales que podrían contener cantidades significativas de arsénico, (p. ej., apatita) (Porto, 2014).

Por otra parte, Córdova (2013) el arsénico (As) es un metal que se localiza en gran cantidad en la superficie de la tierra, representando aproximadamente

un 5×10^{-4} % de la misma. Este elemento ocupa el vigésimo lugar en términos de abundancia en la superficie de la tierra. El arsénico puede originarse tanto de las actividades volcánicas como de fuentes naturales o la descomposición de rocas, así como de fuentes generadas por la actividad humana, como la industria metalúrgica, la minería y los pesticidas que contienen arsénico.

2.2.3. Propiedades del arsénico

Según Tapia & Huanca (2019), el arsénico (As) se identifica como un metaloide con un tono gris metálico o amarillo. Este elemento se encuentra en aguas tanto del sub suelo como de la superficie terrestre, así como en suelos. Existe en diversos estados de oxidación y formas químicas, siendo las más comunes las formas aniónicas de arsenito y arseniato. A 887 grados Kelvin o 614,85 grados Celsius, el arsénico experimenta la transición de fase conocida como fusión, y su densidad se estima en 5.73 g/cm^3 .

Tabla 2

Propiedades físicas y químicas del arsénico

Propiedades	Especificación
Nombre químico	As
Número atómico	33
Masa atómica	74.92g/mol
Densidad	5.72g/mol
Punto de ebullición	614°C
Punto de fusión	817°C
Solubilidad en agua	Insoluble
Estructura electrónica	(Ar) 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
Grupo VA	N, P, As, Sb, Bi
Estado de oxidación	0, -3, +3, +5

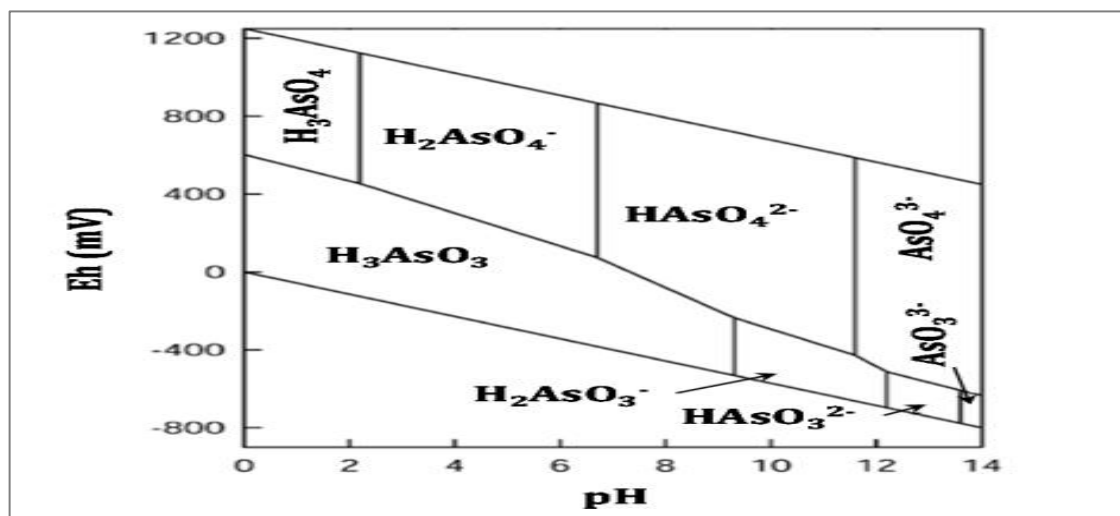
Nota. Tabla referenciada de (Guevara, 2021)

2.2.4. Estados del arsénico

Los estados y formas químicas del arsénico pueden dividirse en inorgánicos e orgánicos, y con estos últimos pudiendo existir como trivalentes o pentavalentes. Los compuestos inorgánicos suelen manifestarse como oxidaciones en solución (como arsenito y arseniato), y en forma de óxidos, cloruros y sulfuros en estado sólido, o integrados en minerales más complejos (García, 2013). Los compuestos inorgánicos predominan en la naturaleza y son precursoras de las diversas formas orgánicas mediante procesos de biotransformación. (García, 2013) El grado de oxidación del arsénico y su capacidad para moverse, las condiciones redox están principalmente determinados por (el potencial redox Eh y el pH) del entorno. En ambientes acuosos, el arsénico generalmente se encuentra en forma de disolución, siendo el arseniato una forma habitual que tiende a adherirse con menor intensidad a medida que el pH aumenta. (López et al., 2016)

Figura 1

Diagrama Eh-pH de especies acuosas predominantes de arsénico



Nota. El valor del pH y del Eh del medio influirán en la prevalencia de una forma específica de arsénico (García, 2013)

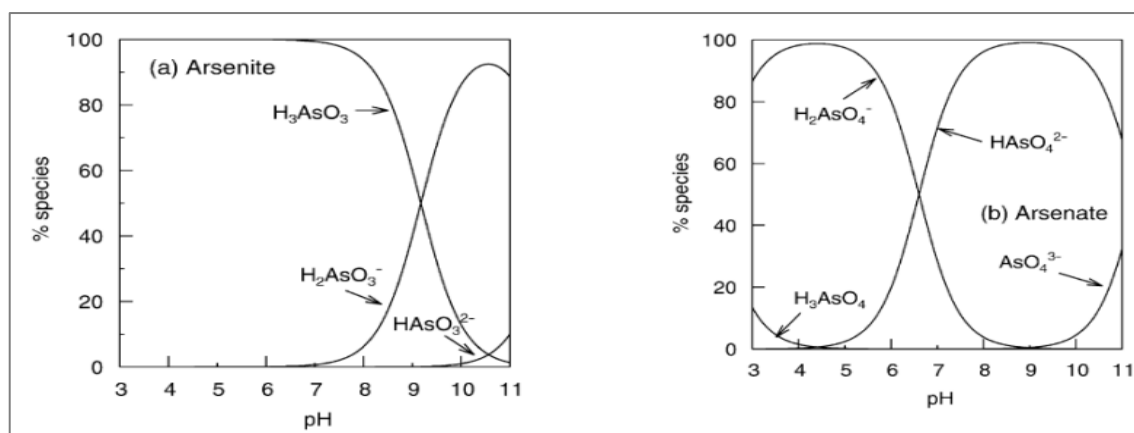
El arsénico en su forma trivalente (As (III)) adopta la forma de ácido arsenioso y sus derivados de descomposición (AsO_3^{3-} , HAsO_3^{2-} , H_2AsO_3^- , H_2AsO_3 y HAsO_3^{2-}), son predominantes en condiciones oxidadas y alcalinas. A pesar de ello, en ambientes reductores y sin oxígeno, la presentación no ionizada de As (III) [$\text{As}(\text{OH})_3$] se encuentran con mayor frecuencia, siendo también la más peligrosa y difícil de eliminar. Por otro lado, el arsénico pentavalente (As (V)) se halla mayormente en forma de H_3AsO_4 y Los productos resultantes de su descomposición asociados (H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} y AsO_4^{3-}), los cuales son predominantes en condiciones oxidadas y ácidas en medios acuosos y aeróbicos (López et al., 2016)

2.2.5. Toxicidad del arsénico

“El riesgo asociado al arsénico está determinado por su nivel de oxidación y la naturaleza del grupo al que esté ligado. Los compuestos inorgánicos de arsénico muestran una toxicidad superior en comparación con los orgánicos” (García, 2013).

Figura 2.

Especies de arsenito y arseniato en función del pH



Nota. a) Formas químicas del Arsénico (V) en relación al pH. b) Formas químicas del Arsénico (III) en relación al pH (López et al., 2016)



El arsénico en su forma trivalente ingresa a las células en forma de pH neutro a mediante la acuagliceroporinas, que son transportadores de proteicos de glicerol, presentes en microorganismos, levaduras y mamíferos. Su potencial nocivo radica en su potencial para agruparse a los sulfhidrilo de los fragmentos de cisteína en las proteínas, provocando su inactivación y generando un alto nivel de toxicidad. (López et al., 2016)

La toxicidad del arseniato (As(V)) radica principalmente en su capacidad para reemplazar al fosfato, ya que posee una estructura similar, lo que puede resultar en la inhibición de la fosforilación oxidativa y su ingreso a las células mediante el mecanismo de transferencia de fosfato. (López et al., 2016).

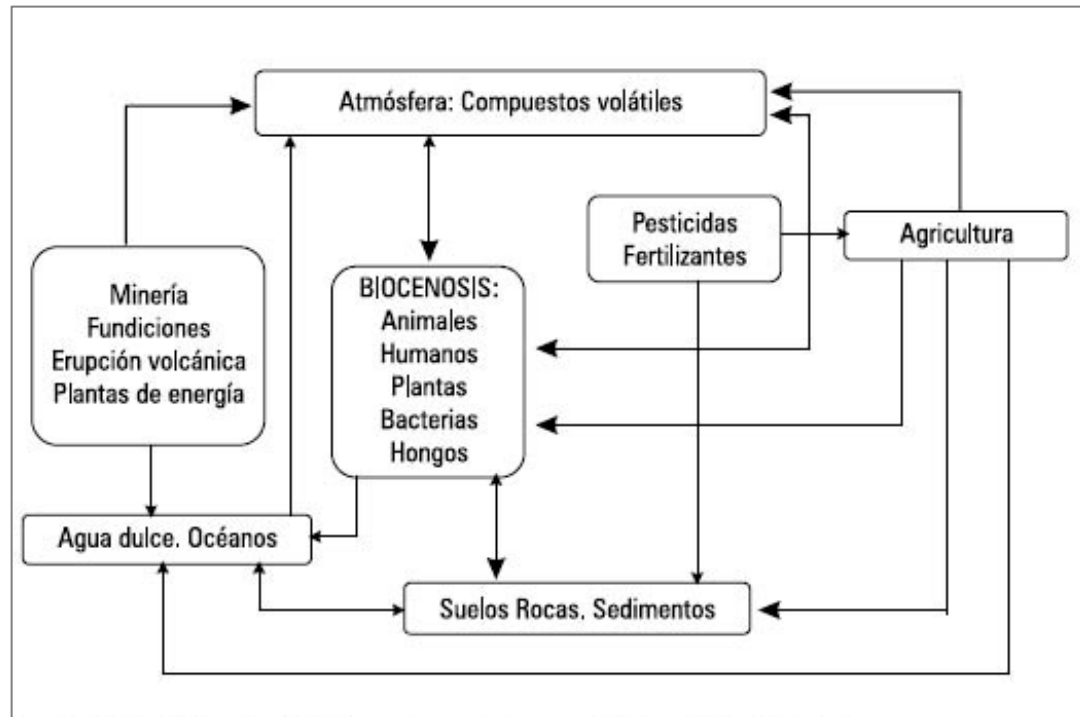
2.2.6. Ciclo del arsénico

Se evidencia el proceso mediante el cual el arsénico, presente originalmente en sedimentos y rocas, se disuelve en el agua, alcanzando de manera natural ríos y océanos, o bien siendo extraído por actividades humanas con propósitos industriales, llegando igualmente a los cuerpos de agua mencionados. Una vez en estos ecosistemas acuáticos, el arsénico se integra en los ciclos vitales de los organismos vivos y posteriormente puede pasar a la atmósfera. Aunque el origen predominante del arsénico en el agua es natural, las emisiones humanas a la atmósfera, provenientes de fuentes como chimeneas, pesticidas, pinturas y la irrigación de terrenos áridos con agua contaminada con arsénico, también desempeñan un papel relevante. La extracción humana de arsénico de suelos y minas con fines antropogénicos tiene como consecuencia una interrupción del ciclo natural del arsénico, además de

una nueva incorporación al ciclo en cantidades significativas. (Alarcón et al., 2013).

Figura 3

Ciclo del Arsénico



Nota. Imagen referenciada de (Ramírez, 2013)

Las alteraciones significativas en el ciclo del arsénico son evidentes debido a la actividad humana, lo que conlleva a la presencia abundante de este elemento en el contexto natural y en los organismos vivos. (López et al., 2016)

2.2.7. Efectos del arsénico sobre el bienestar general

Se ha reconocido que el arsénico figura entre los elementos más nocivos para la salud humana, puesto que los cuerpos hídricos con este metal contaminado son utilizadas en numerosas comunidades para cocinar, irrigar cultivos y beber sin tratamiento previo. Los primeros signos de su consumo prolongado suelen manifestarse a los cinco años, manifestándose como lesiones



en la piel e hiperqueratosis, y pueden desencadenar cáncer de piel. Además, se ha vinculado con el desarrollo de cáncer pulmón de vejiga. De igual modo el arsénico como sus derivados se clasifican como agentes cancerígenos para los seres humanos estos elementos se relacionan con patologías que afectan el sistema nervioso, el catabolismo glucídico y el sistema sanguíneo, efectos adversos durante el embarazo y un impacto negativo en el desarrollo cognitivo (Carranza & Rodríguez, 2020).

La enfermedad más frecuente asociada con la exposición al arsénico es la arsenicosis, y su aparición está mayormente relacionada con una deficiente o insuficiente purificación del agua potable destinada a la ingesta humana (Manchego & Zabala, 2019). De este modo, la exposición al arsénico puede manifestarse de manera aguda, cuando la cantidad de arsénico es alta y en un lapso reducido puede ser crónica, si la cantidad de arsénico es mínima se puede extender a lo largo del tiempo. El consumo de concentraciones elevadas puede resultar en la mortalidad en un corto plazo debido a su rápida asimilación, en contraste con la administración en cantidades menores durante lapsos prolongados, puede resultar en un deterioro gradual hasta el fallecimiento (García, 2013).

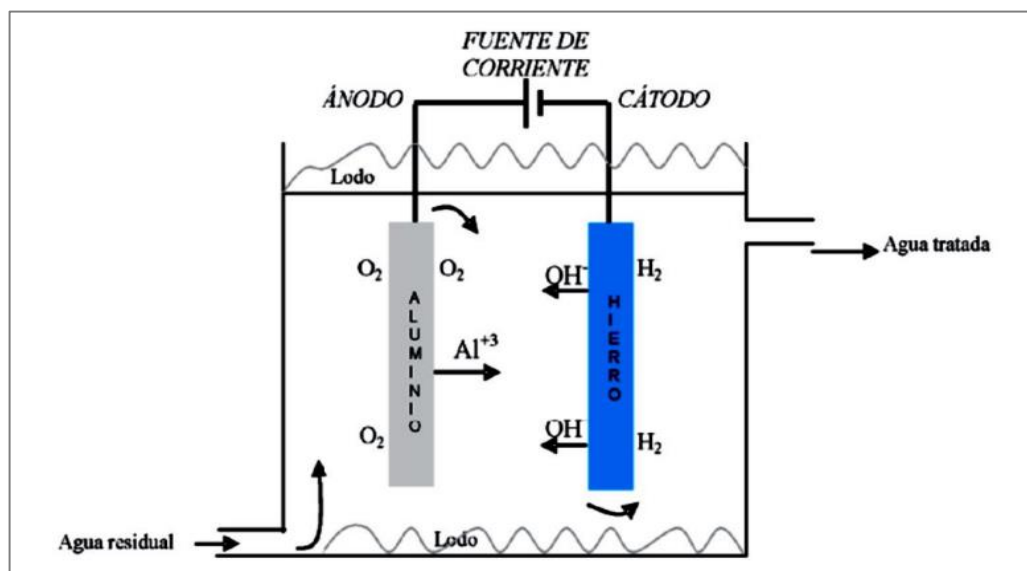
2.2.8. Electrofiltración

La electrofiltración, como técnica ecológica, surgió por primera vez en Estados Unidos en 1904 y se empleó para purificar aguas. Esta metodología implica la fusión de electricidad y procedimientos químicos con el propósito de separar metales pesados, compuestos orgánicos solubles y partículas en suspensión (Manchego & Zabala, 2019).

Esta tecnología representa un método electroquímico altamente eficaz para purificar una amplia gama de aguas contaminadas, y en el lapso de tiempo reciente esta cuestión ha generado un notable interés debido a su destacada eficacia en el tratamiento de diversos contaminantes persistentes, científicamente validada en la erradicación de agentes contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, con una producción mínima o prácticamente nula de subproductos residuales. Durante los últimos diez años, se han realizado acciones de investigación sobre la electrocoagulación para tratar diferentes tipos de aguas residuales, desde aguas subterráneas contaminadas hasta las altamente contaminadas provenientes de refinerías (Yáñez, 2020).

Figura 4

Sistema de electrofiltración con ánodo de aluminio y cátodo de hierro



Nota. Imagen referenciada de (Arévalo, 2016)

Por otra parte, Alanoca (2020), señala que la electrofiltración constituye una técnica convencional fundamental que se utiliza para el tratamiento tanto de aguas destinadas al consumo humano como residuales. Esta técnica implica el establecimiento de un campo eléctrico a través de un medio filtrante, lo que

permite optimizar la eliminación de contaminantes durante el proceso. Se resalta también que la inclusión de una membrana filtrante en el tratamiento electroquímico resulta altamente eficiente, logrando mejoras significativas en la separación entre líquidos y sólidos.

2.2.9. Etapas de la electrofiltración

Según, López (2018) el procedimiento de electrofiltración comprende tres fases para la producción del agente coagulante en el lugar.

- La obtención del coagulante por medio del proceso de oxidación electrolítica que tiene lugar en el ánodo de metal.
- Se observa la alteración de la contaminación en partículas suspendidas, coloidales y emulsiones.
- La generación de flóculos originada por la conglomeración de partículas contaminantes o su adsorción.

2.2.10. Componentes de la electrofiltración

El conjunto de electrofiltración está conformado por:

- a) Celda electrolítica (reactor)** La celda es el contenedor que alberga el electrolito y donde tiene lugar el proceso de electrólisis. Está compuesta por: (cátodo y ánodo) electrodos susceptibles o solubles y (agua residual) dieléctrico o solución electrolítica (Porto, 2014)
- b) Electrodo:** Se trata de un mecanismo destinado a promover la conducción de corriente eléctrica dentro de una solución, mediante el proceso de transferencia de electrones entre los iones que la componen,



ya sea mediante la adquisición o la eliminación de estos electrones por parte de dichos iones (Alanoca, 2020)

- c) **Ánodo:** se trata de un dispositivo que actúa como un conductor de corriente en una reacción electroquímica y se encuentra enlazado a una fuente de energía continua correspondiente al terminal positivo del equipo (Porto, 2014)
- d) **Cátodo:** Se describe como un electrodo de polaridad negativa de un terminal que desempeña el rol de transportar flujo eléctrico con procedimientos electroquímico y se encuentra enlazado a una fuente de energía eléctrica constante en el polo contrario de dicho dispositivo (Alanoca, 2020)
- e) **Filtración:** Implica la separación de partículas suspendidas, que puede llevarse a cabo utilizando medios porosos con flujo ascendente o descendente, y empleando gravedad o presión. Se distinguen dos tipos de filtración: veloz y pausada, dependiendo de la velocidad de este proceso (Alanoca, 2020)

2.2.11. Factores que afectan a la electrofiltración

a) Densidad de corriente

La intensidad de energía empleada es un componente crucial que impacta en el rendimiento de la electrofiltración. Este parámetro regula las distintas reacciones electroquímicas que tienen lugar en la solución, tales como la generación de gas, la electroflotación, velocidad de electrodisolución y las reacciones del agua, así como su difusión y cinética (Yáñez, 2020)



En la celda electroquímica, la energía eléctrica suministrada puede presentarse en dos modalidades: corriente alterna (CA) y corriente continua (CC). La naturaleza única de cómo cada variedad de corriente fluye mediante la dispersión acuosa conduce a reacciones electroquímicas de las aguas tratadas y la diferencia entre las placas. Al utilizar energía directa se observa una impermeabilización en el cátodo, teniendo como resultado una disminución de la eficacia en la eliminación de contaminantes (Paitan & Palomino, 2017).

b) Potencial de hidrogeno

La acidez o alcalinidad (pH) desarrolla una función esencial en el procedimiento de electrofiltración, ya que influye en la conductividad de la solución, la potencial zeta y la electro-disolución. Sin embargo, establecer una correlación directa entre el pH y la eficacia resulta complicado, dado que el pH de las aguas tratadas varía a lo largo del proceso de electrofiltración, siendo comúnmente referido como el pH inicial de la solución (Yáñez, 2020).

Paitan & Palomino (2017), indican que el nivel de acidez o alcalinidad (pH) cumple un rol indispensable en la capacidad de la corriente eléctrica para disolver los metales y formar hidróxidos. Se ha notado en varios estudios que el pH experimenta cambios a lo largo del proceso de electrocoagulación, y estos cambios están relacionados tanto con los materiales de los electrodos como con el pH inicial del agua a tratar (Paitan & Palomino, 2017).

c) Distancia entre electrodos

Conforme la distancia entre electrodos aumenta, se observa un aumento en la caída de voltaje. Por el contrario, cuando la distancia entre los



electrodos se reduce, se evidencia una reducción en el uso de energía. Además, al reducir la separación entre los electrodos, se genera una hidrodinámica turbulenta debido a las burbujas de gas producidas electroquímicamente, lo que resulta en una mayor transferencia de masa y una velocidad de reacción elevada entre las especies de coagulantes y contaminantes (Yáñez, 2020)

d) Conductividad del agua

La efectividad de la densidad de flujo eléctrico está estrechamente ligada a la conductividad y la fuerza iónica del agua o agua residual. Esta efectividad aumenta a medida que la conductividad electrolítica se incrementa, se observa una disminución en la resistividad del agua, lo cual impacta en su capacidad de conducir electricidad (Yáñez, 2020).

La inclusión de ciertos compuestos iónicos como el NaCl y CaCl₂ induce un aumento en la capacidad de conducción del agua. Adicionalmente, la sedimentación de Ca⁺² y Mg⁺² tiene lugar a causa de presencia de carbonatos o sulfatos, se ha observado que la existencia de partículas iónicas cloruro puede mitigar los impactos negativos de las partículas como HCO₃⁻ y SO₄⁼, Generando una capa inerte que se acumula sobre los electrodos e incrementaría la variación de potencial entre ellos, disminuyendo así la eficacia de la corriente. Se sugiere, sin embargo, mantener un índice de cloruro alrededor del 20% para un proceso de electrocoagulación estándar (Paitan & Palomino, 2017).



2.2.12. Ventajas de la electrofiltración

De acuerdo con Porto (2014), la electrofiltración destaca como la alternativa más favorable en términos de costos y repercusiones ambientales. A continuación, se detallan las ventajas principales:

- La técnica de electrocoagulación demanda un equipamiento básico y su utilización es sumamente sencilla. Además, carece de componentes en movimiento, lo que reduce los gastos asociados al mantenimiento.
- Coste de mantenimiento.
- La técnica de electrocoagulación presenta como beneficio la eliminación de las diminutas partículas coloidales, dado que al aplicar un campo eléctrico se genera un movimiento acelerado en estas partículas, lo que favorece su coagulación.
- Durante el proceso de electrólisis, las exhalaciones gaseosas que se forman en el cátodo transportan los agentes contaminantes hacia la superficie de la solución, lo que facilita su concentración o eliminación.
- La fuente energética utilizada es la electricidad, la cual es de bajo costo y está disponible de forma inmediata. El proceso de tratamiento puede ser detenido y reanudado según sea necesario simplemente cortando el suministro eléctrico a los electrodos.
- El método de electrocoagulación presenta el beneficio de suprimir partículas coloidales de tamaño reducido con mayor eficacia, dado el campo eléctrico que se encuentra en acción, acelerando así el proceso de hemostasia.



- La técnica de electrocoagulación opera mediante la incorporación medida de productos químicos, lo que previene la necesidad de neutralizar el exceso de estos elementos. Además, se eliminan las complicaciones relacionadas con el inventario y almacenamiento de los reactivos. Como resultado del tratamiento, el agua tratada carece de color y olor perceptibles.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Agua subterránea

El término "agua subterránea" se emplea para describir el líquido presente bajo la capa superficial de la tierra, contenido en reservas subterráneas conocidas como acuífero, que son espacios porosos y grietas en las rocas. Este recurso hídrico es indispensable para la subsistencia y las ocupaciones de la población ya que proporciona una fuente crucial para la siembra, empresas industriales y el uso para el hogar. La extracción de agua subterránea se lleva a cabo a través de la excavación de pozos y la implementación de sistemas de bombas, sin embargo, su excesiva extracción y contaminación presentan desafíos significativos para garantizar su gestión sostenible (Pacompa, 2021).

2.3.2. Electroquímica

La electroquímica representa una disciplina dentro del ámbito de la química que investiga las relaciones entre la electricidad y los procesos químicos. Su enfoque radica en el análisis de la transferencia de electrones presente en tales reacciones, tanto en entornos químicos como en dispositivos tecnológicos como las celdas electroquímicas. Este campo de estudio dentro de la química se aplica en diversas esferas, abarcando la producción de energía



mediante pilas y baterías, procesos de electroplatación la síntesis de compuestos químicos y la depuración de agua (Yáñez, 2020).

2.3.3. Electrolito

Un electrolito se refiere a una sustancia química que se separa en iones al disolverse en agua, lo que mejora la capacidad de la solución para transportar energía eléctrica. Estos iones posibilitan la transferencia de carga eléctrica durante el procedimiento de electrofiltración, lo que favorece la erradicación de las sustancias como el arsénico del agua. Los electrolitos tienen un papel protagónico en la formación de condiciones electroquímicas propicias para la purificación del agua mediante la electrofiltración, lo que contribuye significativamente a la eliminación de impurezas (Apráez & García, 2015).

2.3.4. Intensidad de corriente

También conocida como corriente eléctrica se define como la medida del caudal eléctrico aplicado durante el proceso de purificación del agua. Este flujo eléctrico facilita el desplazamiento de iones existentes en el agua, lo que favorece la eliminación de contaminantes como el As mediante la membrana del filtro. La intensidad de la corriente ejerce una función esencial en la eficacia del procedimiento, ya que determina la rapidez con la que tienen lugar las reacciones electroquímicas (Velásquez, 2022).

2.3.5. Voltaje

El término "voltaje" hace referencia a la disparidad de potencial eléctrico que se aplica entre los electrodos inmersos en la solución acuosa a tratar. Esta disparidad impulsa la migración de iones existentes en el agua, permitiendo su desplazamiento a través de la membrana del filtro. El voltaje regula la rapidez y



la orientación de las reacciones electroquímicas que tienen lugar durante el proceso de electrofiltración, lo que incide en la eficacia y la idoneidad de la eliminación de contaminantes, como el arsénico (Apráez & García, 2015).

2.3.6. Tiempo de retención

La duración del contacto del agua contaminada durante la electrofiltración alude al periodo en que esta permanece en contacto con el método de purificación electroquímica. Este periodo de contacto es indispensable para la realización de los procesos electroquímicos esenciales en la expurgación de contaminantes, como el arsénico, por medio de la electrofiltración. Un intervalo de permanencia adecuado propicia una traslación eficaz de materia y carga eléctrica entre el fluido y los polos conductores, realzando la eficiencia del proceso depurativo y garantizando la depuración satisfactoria del agua impurificada. (Alanoca, 2020).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

La metodología propuesta para este trabajo de investigación tendrá un diseño de forma experimental utilizando métodos cuantitativos. Esto implica la recolección de información mediante de mediciones numéricas y su posterior análisis estadístico. El propósito principal es calificar la eficacia de la electrofiltración en la purificación de arsénico de las aguas del sub suelo de la Urbanización Perlas del Altiplano.

La investigación de diseño experimental abarca al menos dos conceptos distintos, uno más general y otro más específico. En términos generales, se refiere a la acción de elegir o llevar a cabo una acción y luego observar sus resultados. Los esquemas experimentales mencionados implican la manipulación de tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (conocidos como variables independientes) con la finalidad de discernir su influencia en



otras variables (las dependientes) en un entorno bajo control. En síntesis, se recurre a los diseños experimentales cuando el investigador desea evaluar cómo la alteración de una causa específica puede incidir en otras variables (Hernández & Fernández, 2018).

3.2. Tipo de investigación

El estudio actual se centra dentro de la categoría de investigación de carácter aplicado, porque, se pondrá en ensayo la técnica de electrofiltración como método para la eliminación de As de las aguas subterráneas.

La investigación aplicada se destaca por su orientación hacia la ejecución práctica de los conocimientos obtenidos, fomentando el continuo aprendizaje. Este enfoque implica la implementación y sistematización de prácticas basadas en la investigación, lo que resulta en un conocimiento riguroso, organizado y sistemático de la realidad. Estas investigaciones están dirigidas hacia la resolución de problemas cotidianos o el manejo efectivo de situaciones prácticas (Hernández & Fernández, 2018).

El nivel de investigación de este estudio se caracteriza por ser explicativo, puesto que se centra en identificar las conexiones de causa y efecto entre diversos eventos. Las investigaciones de este nivel se centran en establecer relaciones causales; su objetivo no se limita únicamente a describir o analizar un problema, sino que busca entender las razones detrás del mismo.

3.3. Procedimiento metodológico

3.3.1. Objetivo1: Determinar la concentración inicial de arsénico presentes en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano

La tabla subsiguiente evidencia los parámetros examinados, los cuales fueron sometidos a análisis siguiendo las directrices de los Métodos estandarizados APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005.

Tabla 3.

Parámetros evaluados

N°	Parámetro	Unidad	Método
1	Arsénico	mg/L	Established guidelines for the examination of water and wastewater AA/HG. APHA. AWWA. WEF. 3114 C. 22nd Ed. 2012.
3	Potencial de hidrógeno	Und. pH	Prescribed protocols for the scrutiny of potable and waste waters APHA-AWWA-WEF Part-4500-H+B. Hydrogen Ion Concentration. Electrometric Technique 23rd Ed. 2017

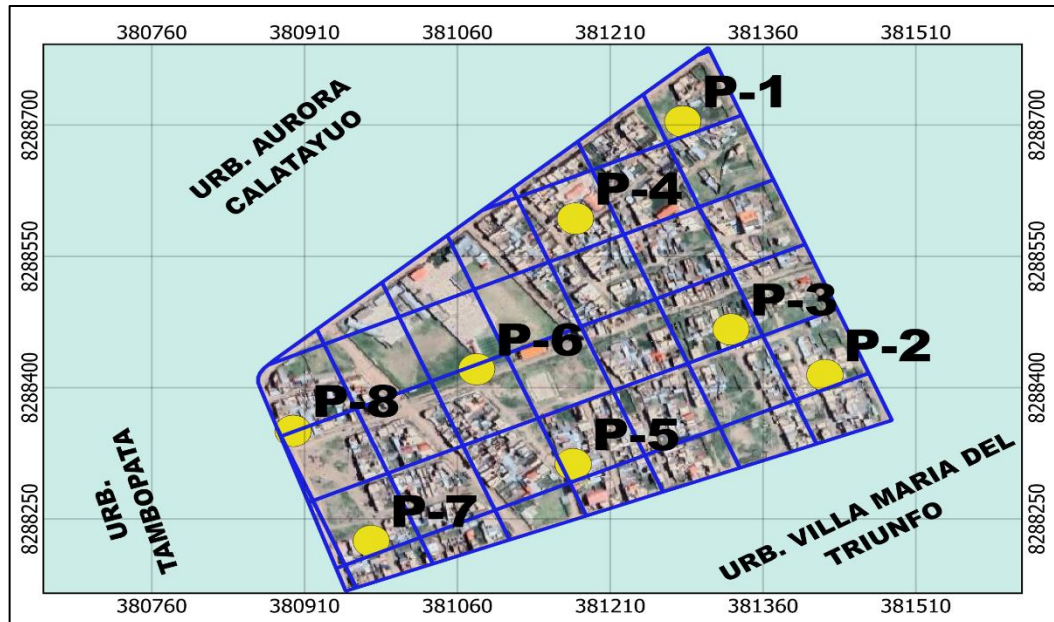
Nota. Métodos normalizados APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005.

a) Reconocimiento y estratificación de los puntos de muestreo

En un principio, se emprende un recorrido por la urbanización Perlas del Altiplano del distrito de Juliaca con el fin de identificar la zona para realizar una estratificación para los muestreos. Para la gradación se realiza un patrón de muestreo "aleatorio sobre rejilla regular".

Figura 5

Patrón de estratificación de puntos de muestreo



Nota. obtenido y procesado en el software QGIS 3.14.1

Tabla 4

Datos de los puntos de muestreo

Punto	Coordenadas		Sistema de coordenadas
	Este	Norte	
P-1	381281.15 m E	8288704.14 m S	UTM WGS84 - 19S
P-2	381420.64 m E	8288414.52 m S	UTM WGS84 - 19S
P-3	381328.52 m E	8288466.63 m S	UTM WGS84 - 19S
P-4	381175.77 m E	8288593.21 m S	UTM WGS84 - 19S
P-5	381173.63 m E	8288312.67 m S	UTM WGS84 - 19S
P-6	381078.86 m E	8288421.11 m S	UTM WGS84 - 19S
P-7	380975.47 m E	8288224.91 m S	UTM WGS84 - 19S
P-8	380898.69 m E	8288350.71 m S	UTM WGS84 - 19S

Nota. "UTM" universal transversal de Mercator



b) Toma de muestra de aguas subterráneas

Las muestras de agua subterránea se recolectan siguiendo las pautas determinadas en el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos" (ANA, 2016), En este sentido, el Manual de buenas prácticas en la indagación de sitios contaminados, para garantizar la exhaustividad del proceso de extracción de agua que garantizará la calidad del monitoreo, toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Se considera los equipos personales necesarios (guantes descartables, mascarillas, zapatos de seguridad o botas de jebe).
- Para la toma de muestras en pozos tubulares, se purga durante unos minutos, de esta manera se asegura que el agua que se extraiga para el análisis represente las condiciones del acuífero y no del agua almacenada en el pozo. Luego de que el pozo haya sido debidamente purgado se lleva a cabo la obtención un ejemplar de agua de 500 ml para su análisis.
- Para la obtención de ejemplares de pozos artesanales se toma en un balde con la ayuda de una cuerda para alcanzar el nivel del agua, se tiene mucho cuidado de no rozar las paredes del pozo y se sumerge alrededor de 20 a 30 cm y posteriormente se realiza la obtención de muestra de 500 ml de agua.
- El recipiente se llena con un espacio mínimo de aire para favorecer la agitación durante el análisis.
- Cuando las muestras destinadas al análisis se colocan en recipientes de borosilicato y no pueden ser analizadas de inmediato, se colocan en un



contenedor refrigerado para su preservación hasta que sean transportadas al laboratorio.

- laboratorio.

Se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones

Primero: En cuanto al etiquetado, se desarrolla una etiqueta que incluirá los siguientes detalles: el nombre, la ubicación exacta de monitoreo, fecha y hora, el tipo de ensayo realizado, las condiciones de preservación necesarias, así como también el nombre del operador que tomó la muestra.

Segundo: Se procederá a completar un formulario de seguimiento para el transporte de la muestra, asegurando así su entrega segura al laboratorio designado.

Tercero: posterior a la recolección de las muestras de aguas subterráneas, se garantizó la preservación de las mismas mediante un sistema de refrigeración durante el trayecto al laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, donde los parámetros fueron evaluados siguiendo las directrices establecidas en los Métodos normalizados. APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005.

Figura 6.

Muestreo de aguas subterráneas



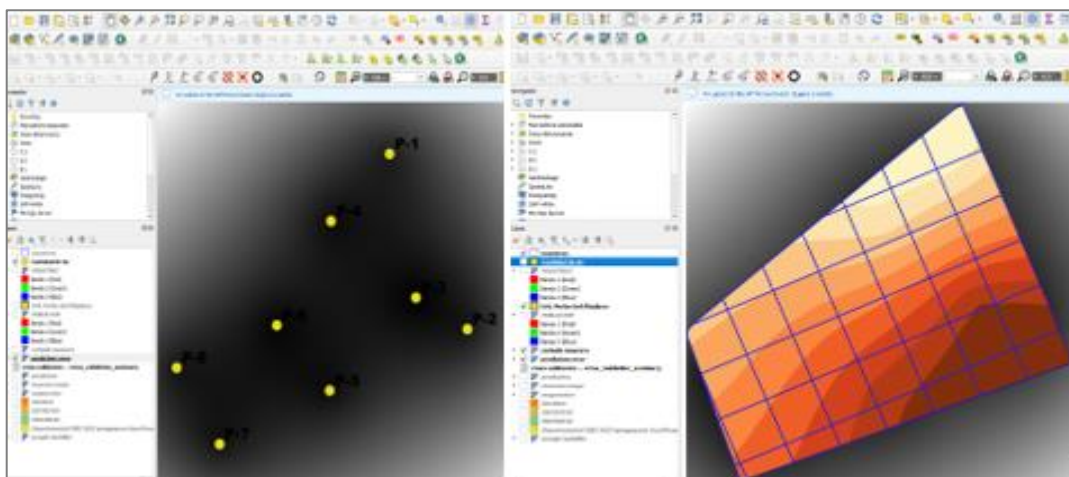
Nota. muestreo de aguas subterránea – acciones in situ

c) Dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas

Para determinar la dinámica del arsénico existente en la capa de agua subterránea de la urbanización Perlas del Altiplano se utiliza el software Qgis 3.34.4 en el cual se carga los datos de los 8 puntos y se realiza la interpolación de Kriging.

Figura 7.

Procesamiento de la dinámica del arsénico en aguas subterránea



Nota. imágenes referenciadas del Software QGIS 3.34.

3.3.2. Objetivo 2: Identificar la intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas

Para el desarrollo del presente objetivo se consideraron tanto los períodos de retención como la magnitud de la corriente eléctrica, como factores determinantes en los procedimientos de depuración acuática subterráneas, tal como se indica en el contenido presente en la Tabla 5.

Tabla 5.

Características de los tratamientos

N° Tratamiento	Código de muestra	Tiempo de retención	Densidad de corriente	Cantidad de muestra	Replica
1	RA – T1	60min	25 voltios	20L	3
2	RA – T2	60min	30 voltios	20L	3
3	RA – T3	50min	25 voltios	20L	3
4	RA – T4	50min	30 voltios	20L	3

Nota. "RA-T1" remoción arsénico tratamiento 1, 2, 3,4

Con el propósito de alcanzar el objetivo establecido, se llevaron a cabo los protocolos descritos seguidamente:

a) Construcción del electrofiltro

- **Cálculo y disposición del número de electrodos (Fe):** los se cortan en placas rectangulares los electrodos de acero inoxidable con dimensiones de 22 centímetros de longitud, 11 centímetros de altura y 0.2 centímetros de grosor. Posteriormente, se procede a pulirlos, limpiarlos con productos de lavado y enjuagarlos para quitar cualquier óxido de su superficie ya sea

grasa, polvo o suciedad. Se mantiene una separación de 1 centímetro entre las placas durante el proceso.

$$N^{\circ} \text{ electrodos} = \frac{(\text{ancho de celda}) - 2 * (\text{distancia electrodosl a lateral})}{(\text{distancia maxima entre electrodos} + \text{espesor de placa})}$$

$$N^{\circ} \text{ electrodos} = \frac{(280\text{mm}) - 2 * (30\text{mm})}{(10\text{mm} + 20\text{mm})}$$

$$N^{\circ} \text{ electrodos} = 8$$

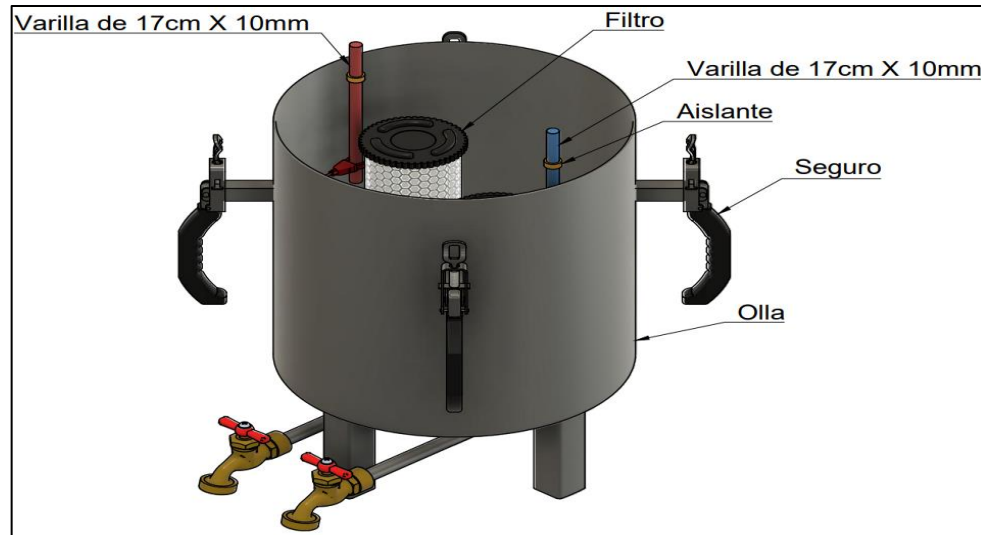
- **Montaje de la celda de electrofiltro:** el sistema de filtrado eléctrico está fabricado con acero inoxidable y adopta una configuración cilíndrica, con un diámetro de 28 centímetros, altura de 30 centímetros y 30 litros de capacidad. Los electrodos de acero se acoplan en un tubo de PVC que presentará aberturas espaciadas a 1 centímetros entre sí, y se insertarán en el interior del electrofiltro. Además, se posición un filtro de recipiente con una 1 micra de 10 pulgadas en medio del electrofiltro, a través de un tubo de 1/2 pulgadas.se realiza la salida del agua.
- **Estimación de la densidad de corriente:** a continuación, se muestran los valores de la extensión en su totalidad del muestreo de las aguas subterráneas con la interacción del campo electromagnético. Y los cálculos realizados se muestran en anexo 4.

Tabla 6.

Cálculo de la densidad de corriente (mA/m²)

Formula	Resultado para 25V	Resultado para 30V
$\delta = \frac{I}{A}$	$\delta = \frac{0.047\text{mA}}{0.1980\text{m}^2}$	$\delta = \frac{0.057\text{mA}}{0.1980\text{m}^2}$
	$\delta = 0.24\text{mA}/\text{m}^2$	$\delta = 0.29\text{mA}/\text{m}^2$

Nota: I: Intensidad de corriente, A: Área, δ : Densidad de corriente

Figura 8*Diseño del electrofiltro*

Nota: diseño realizado en el software Solidworks

b) Pretratamiento

Previo al procedimiento de tratamiento, se lleva a cabo la oxidación de la muestra como parte de la fase preliminar, es un proceso que involucra la conversión de los metales densos disgregados en el líquido a través de la acción oxidativa de los rayos solares. Se tiene 12 muestreos de agua subterránea, cada una de 20 litros, a las cuales se les adicionaron 5ml de H₂O₂ y se expusieron a 9 horas de luz solar, que abarca las 08:00 y las 16:00 horas, dentro de un recipiente de polietileno.

c) Tratamiento de aguas subterráneas en el electrofiltro

La muestra pre tratada se alimenta y se introduce manualmente en el electrofiltro, luego se coloca dentro del reactor por lotes. El proceso inicia empleando una fuente de energía eléctrica en un estado constante que transmite energía a través de la tapa del electrofiltro mediante dos barras de acero anticorrosivo en la misma. La energía con carga positiva se canaliza

hacia cuatro electrodos de acero anticorrosivo, mientras que la carga negativa se dirige a otros cuatro electrodos del mismo material. Estos electrodos se encuentran conectados en serie de manera mono polar (intercalada), con los cables unidos por cabezales de cocodrilo.

Proceso operacional (electrofiltro): intensidad de corriente continua de 25 y 30 voltios, y tiempos de tratamiento de 50 y 60 minutos, distribuidos según un diseño estadístico previamente establecido. Tras finalizar, la muestra tratada se derivará a través de un filtro de 1 micra de porosidad ubicado en el interior del reactor, destinado a retener los flóculos generados in situ. La muestra procesada será conducida fuera del electrofiltro mediante tuberías metálicas de ½ pulgada insertadas en el reactor y alineados con los orificios de salida de los filtros.

3.3.3. Objetivo 3: Determinar el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración

Para la determinación de la eliminación porcentual de arsénico en el agua subterránea de Perlas del Altiplano, se emplearon los datos recopilados en los análisis de laboratorio realizados, utilizando el electrofiltro como método de tratamiento, los cuales se introducen en la ecuación siguiente:

$$\% \text{ As} = \left(1 - \frac{A_{c.f} \text{ As}}{A_{c.i} \text{ As}} \right) * 100$$

Donde:

% : Porcentaje de remoción de arsénico

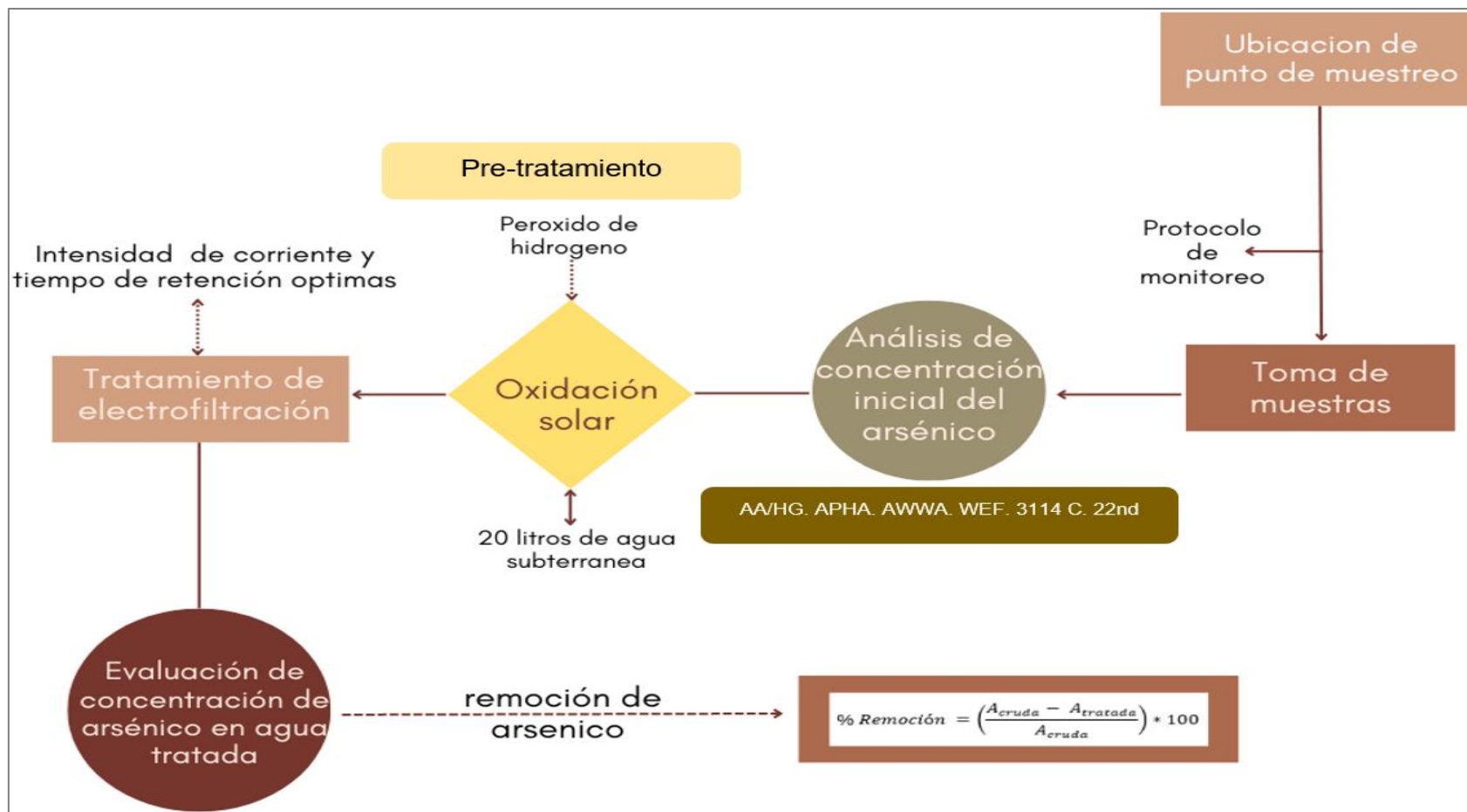
$A_{c.i}$: Agua concentración inicial de arsénico

$A_{c.f}$: Agua concentración final de arsénico



Figura 9

Diagrama de procedimiento metodológico



3.4. Materiales y equipos

Los materiales empleados para el presente estudio fueron los siguientes.

Tabla 7

Materiales y equipos

Cant.	Materiales	Materiales de laboratorio	EPPs
06	Recipientes de polietileno de capacidad de 20L	Matras Erlenmeyer 1000mL	Mascarilla facial
01	Filtro de sedimento de una micra marca hydronix cdc-25-1001	Tubos de ensayo 120mL	Guantes quirúrgicos
01	Lámina de acero inoxidable de 22cm x 11cm marca industrial supply	Papel filtro 47mm	Casco
01	Cable tw-90 12AVGrojo 5m	Tijeras	Chaleco
01	Cable tw-90 12AVGnegro 5m	Cúter de laboratorio	Botas
01	Arco sierra 24" marca truper	Papel toalla	Lentes
01	Alicate universal 8 pulgadas	Cinta masking	
07	Pinzas de cocodrillo color rojo modelo 30AMP NB-345 -Westor	Cooler de Tecnopor	
07	Pinzas de cocodrillo color negro modelo 30 AMP NB-345- Westor	Cronometro digital Marathon	
02	Cinta aislante negro 3m	GPS Marathon	
01	Cuter profesional		
01	Tubos de ½" PVC		
01	Corta tubo para PVC		
01	Pegamento para PVC		



3.5. Técnicas e instrumentos

3.5.1. Técnicas

Constituyen los procedimientos empleados por el investigador para recabar y documentar la información: formularios, test, escalas de valoración y actitudes.

En el estudio llevado a cabo, se emplearon las técnicas de:

- Observación directa
- Estudio de investigaciones, artículos y libros
- Técnicas estadísticas, publicaciones y libros
- Análisis de datos y pruebas estadísticas (ANOVA)

3.5.2. Instrumentos

Los medios de selección de datos constituyen cualquier elemento, mecanismo o estructura (sea tangible o virtual), empleado con el propósito de adquirir, documentar o conservar datos.

En este estudio se emplearon los siguientes instrumentos:

- documento de registro de campo
- Control de la custodia
- Protocolo de monitoreo de agua – (ANA, 2016)
- Directrices para la salubridad del agua potable DSN°031-2010SA.

3.6. Población y muestra

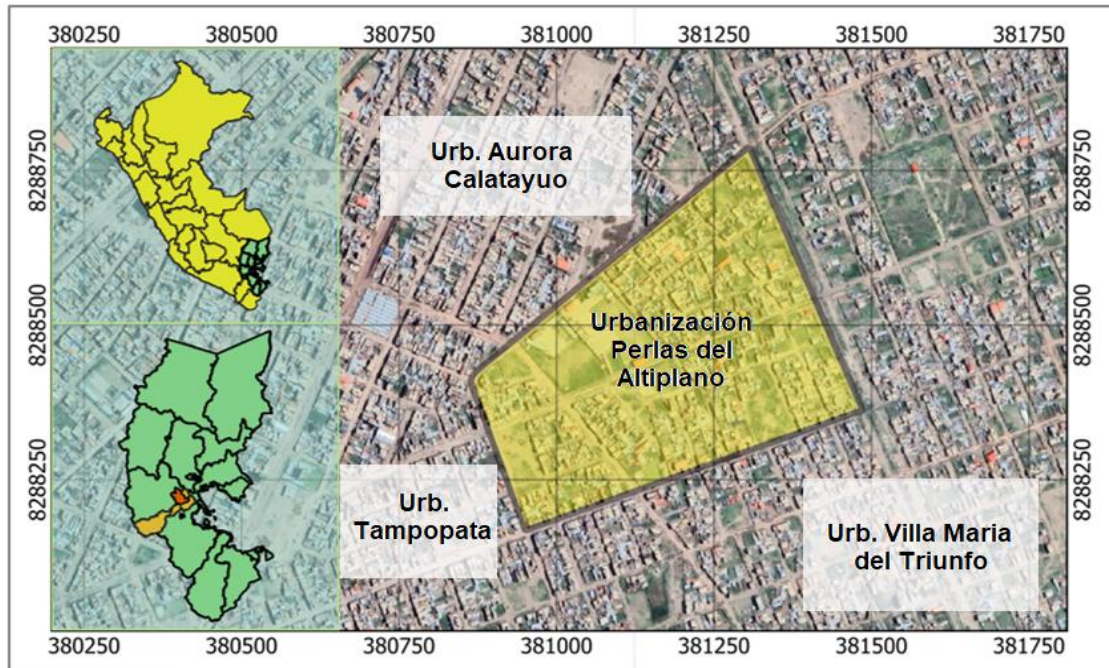
3.6.1. Población

La población objetivo la componen las aguas subterráneas presentes en la Urbanización Perlas del Altiplano, ubicada en el distrito de Juliaca. Como se define en el ámbito investigativo, “la población o universo hace referencia al

conjunto de individuos o elementos sobre los cuales se busca obtener información durante el desarrollo de la investigación”

Figura 10

Ubicación del área en estudio



Nota. mapa diseñado en QGIS 3.34.3 con sistema de coordenada UTM WGS84

3.6.2. Muestra

La muestra en la siguiente estudio fue obtenida de los puntos de la zona estratificado de la Urb. Perlas del altiplano, con un volumen total de 80 L de agua subterránea, se ejecutarán cuatro tratamientos independientes, cada uno con 20 litros. Para su análisis en laboratorio, se requerirá una muestra de 500 mililitros.

“La muestra constituye un subconjunto representativo de la población total” (Hernández & Fernández, 2018).

El método de muestreo empleado en la investigación es no probabilístico, específicamente el muestreo a conveniencia del investigador.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Concentración y dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano

Los análisis realizados sobre la concentración inicial de arsénico en las aguas subterráneas han arrojado resultados significativos que respaldan la hipótesis planteada.

Tabla 8

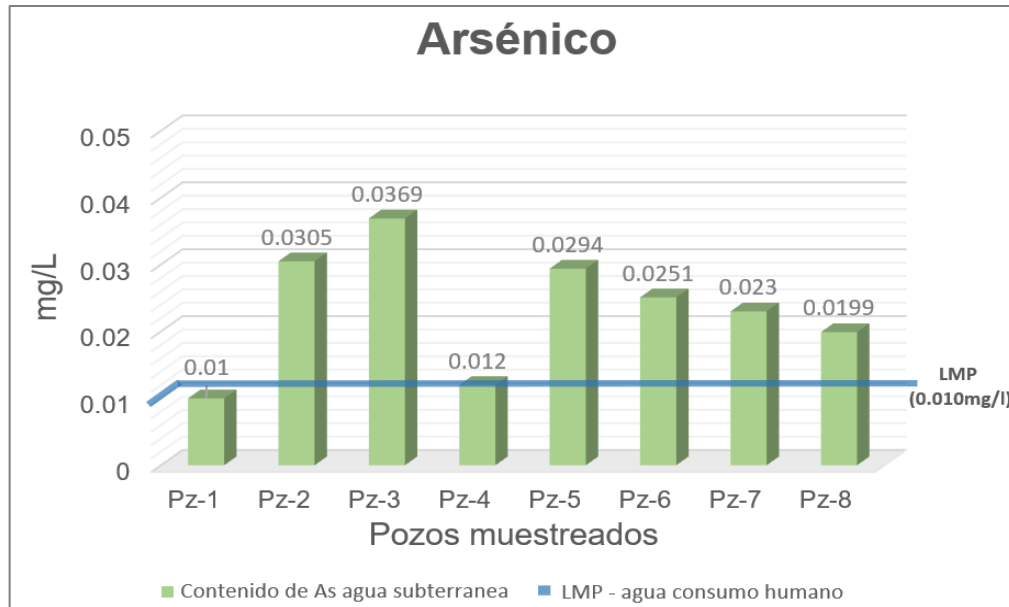
Concentración de arsénico en las aguas subterráneas

N°	Punto	Arsénico	Unidad
1	Pz – 1	0.0100	mg/L
2	Pz – 2	0.0305	mg/L
3	Pz – 3	0.0369	mg/L
4	Pz – 4	0.0120	mg/L
5	Pz – 5	0.0294	mg/L
6	Pz – 6	0.0251	mg/L
7	Pz – 7	0.0230	mg/L
8	Pz – 8	0.0199	mg/L

Nota. datos resultados de laboratorio

Figura 11

Concentración de arsénico en relación al LMP



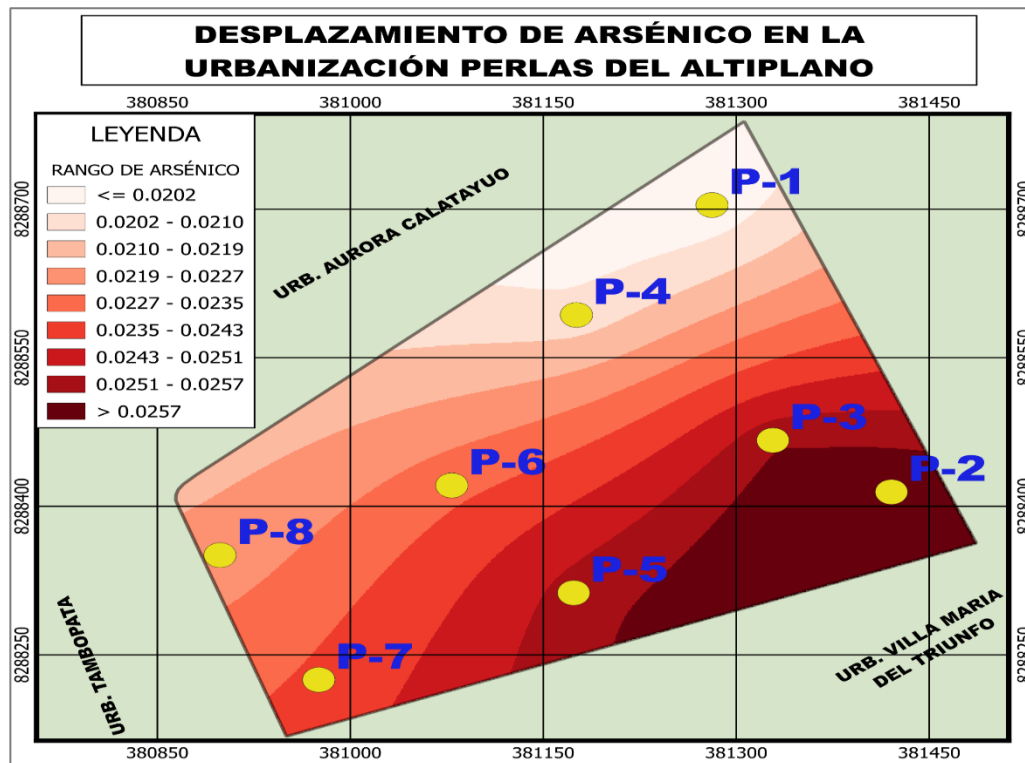
Nota. datos resultados de laboratorio procesado en Excel

En la figura 11 se exhibe la existente de arsénico en las aguas subterráneas de la urb. Perlas del Altiplano, se observa que el pozo 3 registró la concentración más alta de arsénico, con 0.0369 mg/l, mientras que el pozo 1 tuvo la concentración más baja, con 0.010 mg/l. Además, siete de los ocho pozos presentaron un valor promedio de arsénico de 0.0233 mg/l. Estos valores exceden los límites permitidos de arsénico en el agua para el insumo de la población establecido en el DS N° 031-2010-SA. El elevado nivel de arsénico presente en las aguas subterráneas del área de Juliaca, Puno, es atribuible a una contaminación natural. Esto se debe a las características geológicas específicas de la región, donde predominan formaciones rocosas sedimentarias y volcánicas provenientes de la Cordillera Occidental de los Andes. Estas formaciones geológicas albergan diversas especies minerales que contienen arsénico. La erosión y la filtración de estas rocas liberan arsénico en las aguas

subterráneas y superficiales, que pueden ser transportadas bajo condiciones tanto anóxicas como oxidantes.

Figura 12

Dinámica del arsénico en las aguas subterráneas



Nota. Imagen procesada y obtenida de QGIS 3.14.1

La figura 12 exhibe el comportamiento del arsénico existentes en las aguas subterráneas, realizado con la interpolación Kriging utilizando los datos de los 8 pozos monitoreados. Se evidencia una tendencia de acumulación de altas concentraciones de arsénico en dirección hacia la urb. Villa María del Triunfo con un rango >0.0257 , mientras que la concentración de arsénico en la Urb. Aurora Calatayuo es mínima con un rango ≤ 0.0202 .

4.1.2. Intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas

Tabla 9

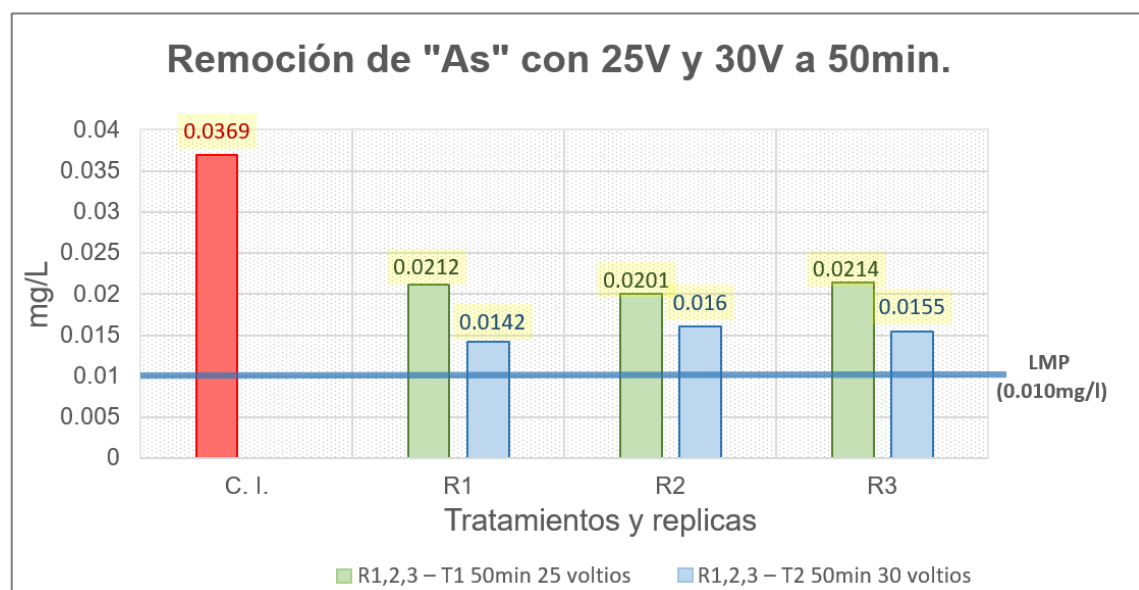
Tiempo de retención e intensidad de corriente en los tratamientos

N°	Código de muestra	Tiempo de retención	Densidad de corriente	Arsénico (mg/L)		
				R1	R2	R3
1	RA – T1	50min	25 voltios	0.0212	0.0201	0.0214
2	RA – T2	50min	30 voltios	0.0142	0.0160	0.0155
3	RA – T3	60min	25 voltios	0.0109	0.0094	0.0097
4	RA – T4	60min	30 voltios	0.0081	0.0090	0.0086

Nota. datos resultados de laboratorio procesado en Excel 2022

Figura 13

Comportamiento del As con 25V y 30V a 50 minutos



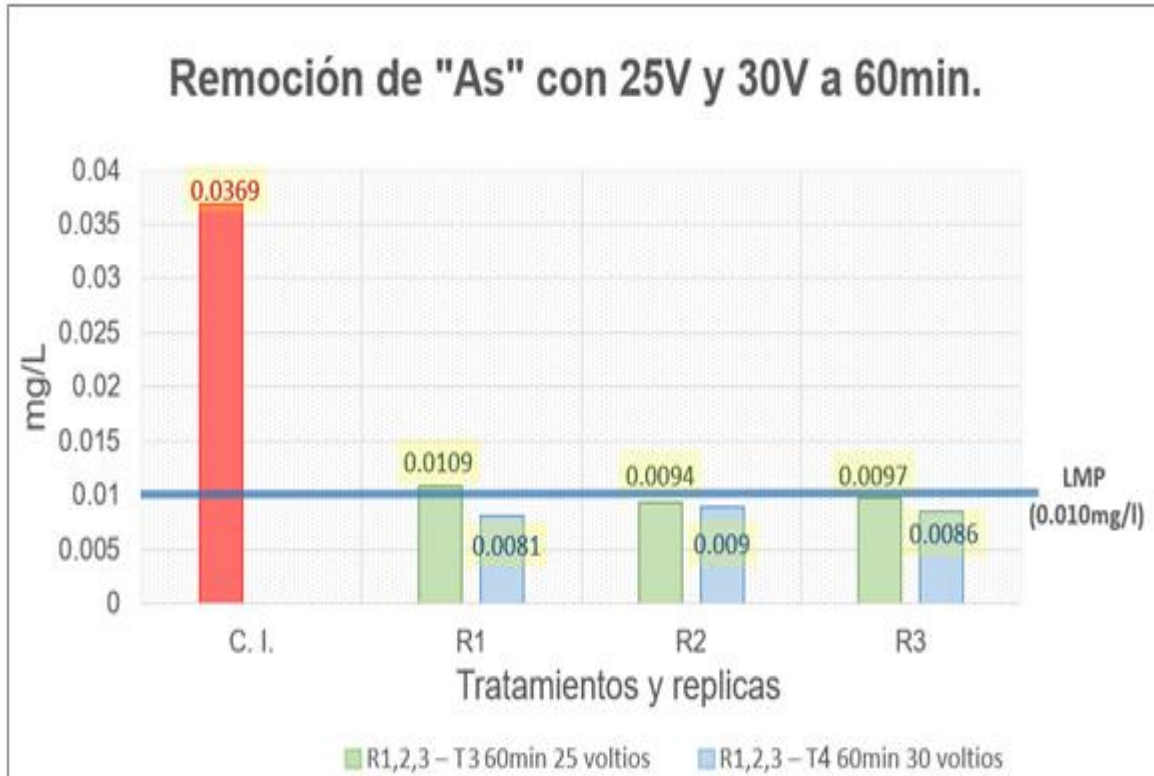
Nota. Imagen procesada y obtenida de Excel 2022



En la figura 13, se exhiben los resultados de los valores del "As" en relación al tiempo de retención e intensidad de corriente en el electrofiltro. Se observa que el T-2 (30V - 50 min) removió en mayor concentración el arsénico con un rango de 0.0142 mg/l - 0.0160 mg/l, presentando un cambio notable, mientras que el T-1 (25V - 50 min) removió el arsénico en un intervalo de 0.0201 mg/l - 0.0214 mg/l. En el proceso de la electrofiltración, se suscitan procesos químicos y físicos que resultan en la eliminación del arsénico. En el proceso de electrólisis, los electrodos actúan como generadores de iones de carga positiva y negativa. El ánodo libera cationes con carga positiva, los cuales migran hacia el cátodo. Este ánodo, también denominado electrodo de sacrificio, experimenta la desintegración de su placa metálica, dando lugar al proceso de oxidación. En contraste con el ánodo, el cátodo funciona como emisor de aniones cargados negativamente, los cuales se desplazan hacia el ánodo por la atracción electrostática. En contraste con el ánodo, el cátodo no experimenta disolución y favorece la reacción de reducción. A mayor magnitud de corriente (30V) en el T-2 aumenta la fuerza del campo eléctrico, favoreciendo la atracción y remoción de las especies de arsénico. Asimismo, el tiempo de retención de (50 min) permite que más iones de arsénico sean capturados por los electrodos antes de que el agua salga del sistema.

Figura 14

Comportamiento del As con 25V y 30V a 60 minutos



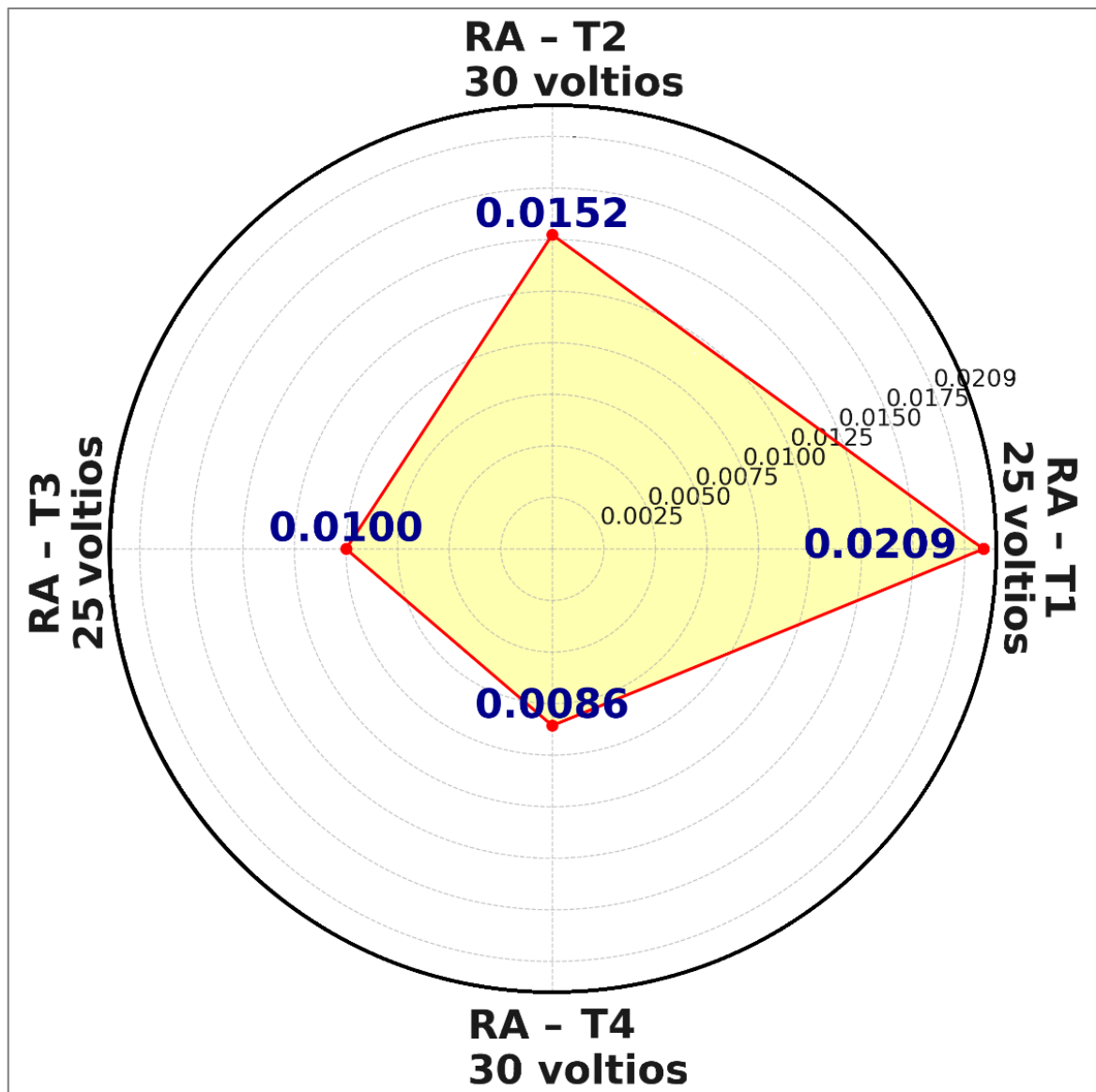
Nota. Imagen procesada y obtenida de Excel 2022

La figura 14, manifiesta la variación del “As” en relación con el tiempo de retención e intensidad de corriente en el electrofiltro. Se observa que el T-4 (30V - 60 min) removió el arsénico en mayor concentración, con un rango de 0.0081 mg/l - 0.0090 mg/l, presentando un cambio notable. Mientras que el T-3 (25V - 60 min) removió el arsénico en un rango menor de 0.0094 mg/l - 0.0109 mg/l. La remoción del arsénico en el electrofiltro se produce debido a varios mecanismos físicos y químicos. Una mayor intensidad de corriente, como en el caso del T-4 (30V), aumenta la fuerza del campo eléctrico aplicado. Esto atrae más eficientemente las especies iónicas de arsénico cargadas, ya sean aniones o cationes, hacia los electrodos de carga opuesta. Adicionalmente, un mayor

tiempo de retención en el electrofiltro, como en los casos de (60 min) permite que el agua permanezca más tiempo expuesta al campo eléctrico. Por lo tanto, la combinación de una mayor magnitud de corriente y un mayor lapso de retención en el electrofiltro favorece la eliminación del arsénico existentes en las aguas subterráneas

Figura 15

Reducción de la concentración de As con 25V y 30V a 50 minutos



Nota. Imagen procesada y obtenida de Excel 2022

La Figura 16 muestra el comportamiento del arsénico (As) a diferentes voltajes y tiempos de retención durante el proceso de electrofiltración. La imagen detalla la diferencia de la concentración de arsénico con respecto al tiempo cuando se aplica 25V durante 50 minutos (RA-T3). Se registra una reducción gradual de la concentración de arsénico de 0.0100mg/L, a medida que transcurre el tiempo; sin embargo, para (RA-T4) se aplica 30V durante 50 minutos. Al igual que en el caso anterior, se aprecia una disminución en la concentración de arsénico con el tiempo, aunque a una medida ligeramente más elevada de 0.0086mg/L en comparación con lo anterior. Ambas gráficas indican que el procesamiento de electrofiltración es efectivo para reducir la concentración de arsénico en el agua, y que un mayor voltaje aplicado (30V en este caso) conduce a una remoción más eficiente del contaminante en un tiempo determinado.

4.1.3. Porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración

Tabla 10

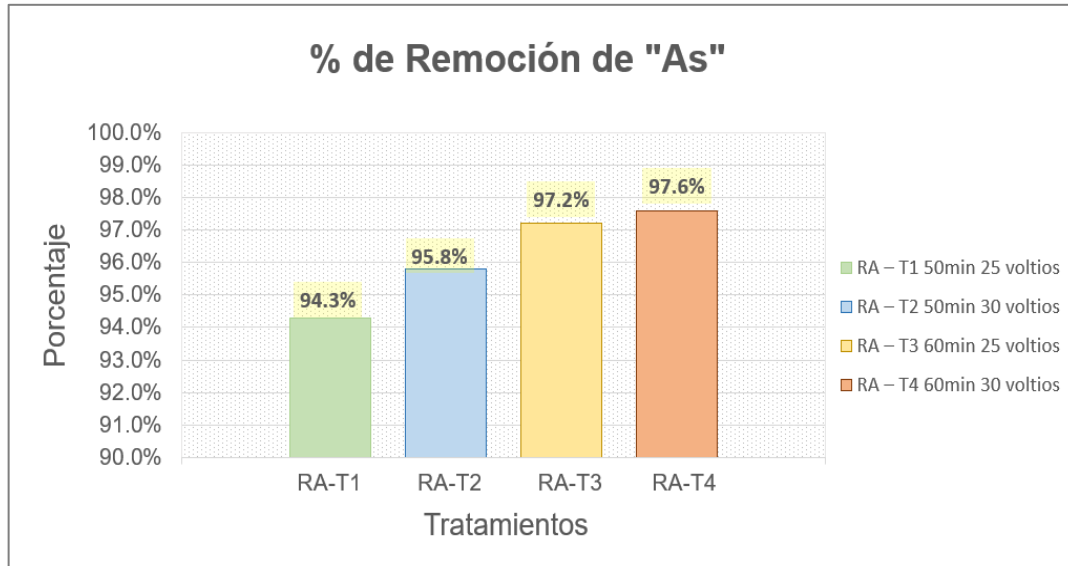
Porcentaje de remoción de materia orgánica

N°	Código de muestra	Tiempo de retención	Densidad de corriente	Arsénico
1	RA – T1	50min	25 voltios	94.3%
2	RA – T2	50min	30 voltios	95.8%
3	RA – T3	60min	25 voltios	97.2%
4	RA – T4	60min	30 voltios	97.6%

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de Excel 2022

Figura 16

Comportamiento del porcentaje de remoción de Arsénico



Nota. Imagen procesada y obtenida de Excel 2022

La figura 15 representa la eficiencia de la depuración de arsénico en el agua subterránea para cada etapa, en relación a la duración del proceso y la fuerza de la corriente eléctrica. Conforme a los hallazgos obtenidos, se puede aseverar que los tratamientos RA-T4 (30V – 60min) y RA-T3 (25V – 60min) lograron índices altos de remoción, con cifras de 97.6% y 97.2%, posicionándose como los más eficaces en la depuración del arsénico en las aguas subterráneas.



4.2. Análisis estadístico

Prueba de normalidad

Se empleó una prueba estadística para establecer la congruencia de los datos con una distribución normal.

hipótesis

H1: Los datos examinados no presentan una distribución normal

Ho: Los datos examinados presentan una distribución normal.

Criterio de decisión

Si, $P > 0.05$ aceptamos la hipótesis nula

Si, $P < 0.05$ Se descarta la hipótesis nula y se ratifica la hipótesis alterna

Tabla 11

Prueba de normalidad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arsénico(tratamientos)	,282	12	,061	,841	12	,078
Dinámica As	,141	8	,200*	,963	8	,841

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

Con el objetivo de evaluar la normalidad de los datos, se consideraron los resultados de arsénico de los 4 tratamientos, los cuales suman un total de 12 datos. Adicionalmente, se incluyeron los 8 datos de la dinámica del arsénico. De acuerdo con Moraguez & Espinosa (2017), para conjuntos de datos con menos de 50, se recomienda aplicar el test de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad.



En la Tabla 16 revela que los valores de significancia (P-valor) de 0.078 y 0.841 para 12 y 8 datos, respectivamente, son mayores que el umbral de significancia de 0.05 ($P > 0.05$). Este resultado implica la persistencia de la H_0 ante la ausencia de datos que la contradigan que plantea que los datos se ajustan a una distribución normal. De ahí que, se ejecuta la prueba paramétrica ANOVA para el análisis posterior de los datos.

4.2.1. Prueba de hipótesis general

Hipótesis

H_0 : La aplicación de la técnica de electrofiltración no remueve el arsénico hasta una concentración por debajo de 0.009mg/l en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023.

H_a : La aplicación de la técnica de electrofiltración remueve el arsénico hasta una concentración por debajo de 0.009mg/l en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023.

Regla de decisión

Cuando " p " < 0.05 rechazamos la H_0 y aceptamos H_a

Cuando " p " \geq 0.05 Aceptamos la H_0 y rechazamos H_a

H_0 : La media de todos los grupos son idénticos

H_a : No todas las medias de los grupos son idénticos

Tabla 12.*ANOVA para hipótesis general*

ANOVA					
Resultados	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2.8E-04	4	9.4E-05	172.37	,0001
Dentro de grupos	4.4E-06	3	8 5.5E-07		
Total	2.9E-04	7			

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

La tabla 12 el análisis de varianza (ANOVA) demuestra una variación significativa desde una perspectiva estadístico entre las medias de los cuatro tratamientos y la muestra control. El p-valor obtenido, 0.0001, se encuentra por debajo del estándar de significancia determinado ($\alpha = 0.05$), lo que señala la existencia de datos contundentes que contradicen la hipótesis nula de igualdad entre las medias. En otras palabras, se confirma que "existen variaciones entre las medias de los distintos grupos". Con base en este resultado, y considerando un nivel de confianza del 95%, se respalda la premisa del investigador ($\alpha > \text{Sig.}$ Se admite H_a) concluyéndose que "La aplicación de la técnica de electrofiltración remueve el arsénico hasta una concentración por debajo de 0.009mg/l en las aguas subterráneas"

4.2.1. Prueba de hipótesis específico 1

Hipótesis

H₀: La concentración de arsénico de las aguas subterráneas no sobrepasa la normativa vigente de 0.010mg/l en la urbanización Perlas del Altiplano

Ha: La concentración de arsénico de las aguas subterráneas sobrepasa la normativa vigente de 0.010mg/l en la urbanización Perlas del Altiplano

Regla de decisión

Cuando " p " < 0.05 rechazamos la H_0 y aceptamos H_a

Cuando " p " > = 0.05 Aceptamos la H_0 y rechazamos H_a

Tabla 13.

T-student para hipótesis específico 1

Prueba de T de muestra única						
Valor de prueba = .010						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Dispersión As	4,101	8	,005	,0133500	,005652	,021048

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

La Tabla 13 se presenta el valor correspondiente al estadístico de prueba t-Student para la hipótesis específica 1. El p-valor asociado a este estadístico es de 0.005, se evidencia que el resultado se encuentra por debajo del nivel de significancia requerido para la validez estadística preestablecido (α) de 0.05. Este hallazgo se obtuvo al analizar la media de las manifestaciones de arsénico en el agua de 8 pozos. En consecuencia, y considerando un nivel de significancia del 5% y un nivel de confianza del 95%, se puede aceptar la H_a ($\alpha > \text{Sig.}$ Se acepta H_a) la propuesta por el investigador es aceptada; concluyendo que "La



manifestación de arsénico de las aguas subterráneas sobrepasa la normativa vigente de 0.010mg/l en la urbanización Perlas del Altiplano”

4.2.2. Prueba de hipótesis específico 2

Hipótesis

H₀: La intensidad de corriente y tiempo de retención de óptima en el electrofiltro es diferente a 30V y 60min para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano

H_a: La intensidad de corriente y tiempo de retención de óptima en el electrofiltro es 30V y 60min para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano

Regla de decisión

Cuando “p” < 0.05 rechazamos la *H₀* y aceptamos *H_a*

Cuando “p” > = 0.05 Aceptamos la *H₀* y rechazamos *H_a*

H₀: La media de todos los grupos son idénticos

H_a: No todas las medias de los grupos son idénticos

Tabla 14.*ANOVA para hipótesis específico 2*

ANOVA DE DOS FACTORES					
Variable dependiente: Arsénico					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,000 ^a	3	9,423E-5	172,371	,000
Interceptación	,002	1	,002	4105,002	,000
Densidad corriente	3,781E-5	1	3,781E-5	69,160	,000
Tiempo retención	,000	1	,000	423,367	,000
Densidad corriente *	1,344E-5	1	1,344E-5	24,587	,001
Tiempo retención					
Error	4,373E-6	8	5,467E-7		
Total	,003	12			
Total, corregido	,000	11			

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

La Tabla 14 evidencia un análisis de varianza ANOVA para muestras repetidas, aplicado a los datos de arsénico de los 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. El análisis estadístico arrojó un valor de p de 0.001, considerablemente inferior al nivel de significancia alfa establecido en 0.05. Este resultado evidencia una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de arsénico en los distintos tratamientos. Al comparar el valor de p con el nivel de significancia alfa ($\alpha > \text{Sig.}$ Se admite H_a) con una probabilidad de error del 5% y un margen de confianza del 95%, se llega a las siguientes conclusiones: "La intensidad de corriente y tiempo de retención de óptima en el electrofiltro es 30V y 60min para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas".

Dado que se sospecha que “existen diferencias significativas entre las medias de los parámetros”, se emplea la prueba de Tukey para realizar un análisis.

Tabla 15.

Prueba de Tukey

Resultados		
HSD Tukey ^{a,b}	N	Subconjunto
Parámetros		
R1 Arsénico	T4(60min-30V)	,013600
R2 Arsénico	T3 (60min-25V)	,013625

Alfa = 0.05.

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

La Tabla 15 muestra el análisis de contraste de Tukey aplicado al contenido de arsénico en función de los diferentes tratamientos, considerando que se detectó una varianza significativa entre los grupos. Los resultados de esta prueba revelan que, en cuanto al arsénico, el tratamiento T4 (60min y 30V) y el T3 (62min y 25V) son los más viables.

4.2.3. Prueba de hipótesis específico 3

Hipótesis

H₀: El porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas no es mayor al 60% aplicando la electrofiltración

H_a: El porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas es mayor al 60% aplicando la electrofiltración.

Regla de decisión

Cuando "p" < 0.05 rechazamos la H_0 y aceptamos H_a

Cuando "p" > = 0.05 Aceptamos la H_0 y rechazamos H_a

H_0 : La media de todos los grupos son idénticos

H_a : No todas las medias de los grupos son idénticos

Tabla 16.

ANOVA para hipótesis específico 3

ANOVA Inter-sujetos					
Variable dependiente: Arsénico					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,000 ^a	3	9,423E-5	172,371	,000
Interceptación	,002	1	,002	4105,002	,000
Tratamientos	,000	3	9,423E-5	172,371	,000
Error	4,373E-6	8	5,467E-7		
Total	,003	12			
Total, corregido	,000	11			

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

La Tabla 16 presenta los resultados del ANOVA para los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Se observa un valor p de 0.000, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Este resultado revela que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los grupos en cuanto a la concentración inicial de arsénico. Esto indica que "existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los grupos". Estableciendo un

nivel de significancia (α) del 5% y un nivel de confianza del 95%, el ANOVA permite admitir la H_a ($\alpha > \text{Sig. Aceptación de } H_a$). Con base en este resultado, se puede concluir que “El porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas es mayor al 60% aplicando la electrofiltración” Al asumir que “existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los grupos”, se procede a determinar el mejor grupo del tratamiento con la prueba de Tukey

Tabla 17*Prueba de Tukey*

Resultados		
HSD Tukey ^{a,b}		
Tratamientos	N	Subconjunto
T4(60min-30)	Arsénico	,013600
T3 (60min-25V)	Arsénico	,013625

Alfa = 0.05.

Nota. Tabla de datos procesada y obtenida de IBM SPSS 22

La Tabla 17 evidencia los resultados de la prueba de Tukey para contrastar los diferentes tratamientos, dado que el análisis previo evidenció una varianza significativa entre ellos. Mediante esta prueba, se identifica que el tratamiento T4 (60min y 30V) y T3 (60min y 25V) son los más idóneos para la depuración de arsénico, a diferencia de las estrategias T-1 y T-2, que no demuestran un efecto considerable.



4.3. Discusiones

Con respecto al resultado del objetivo general, se obtuvo un valor p de 0.0001 en la prueba ANOVA, aduciendo que la aplicación de la técnica de electrofiltración remueve el arsénico hasta una concentración por debajo de 0.009 mg/l en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala de laboratorio. Los resultados obtenidos coinciden con los hallazgos de Velásquez (2022), quien concluye que la aplicación de la electrocoagulación demostró tener resultados óptimos para ser implementada como un tratamiento complementario. En comparación con nuestro estudio, ambos indican una eficacia en la remoción de arsénico, con la diferencia de que nuestro estudio solo trata el arsénico en las aguas subterráneas, mientras que el estudio de Velásquez (2022) trata las aguas de río, tomando en cuenta la influencia de otros posibles contaminantes para su remoción. Asimismo, el estudio presentado por Alanoca (2020) confirma la efectividad del proceso de electrofiltración en lotes para la remoción de sustancias no deseadas, corroborado por el análisis ANOVA con un valor p de 0,000. Ambos estudios respaldan la viabilidad y eficacia tanto de la electrocoagulación como de la electrofiltración. Con la diferencia en la metodología aplicada, puesto que difieren en condiciones y parámetros específicos: tiempo de retención, densidad de corriente, número de electrodos, así como la naturaleza de los contaminantes existentes en el agua de cada estudio.

Dentro de la discusión preocupante a los hallazgos del objetivo específico 1, donde se obtuvo un valor de p de 0,005 mediante la prueba de T-student, se afirma que la manifestación de arsénico de las aguas subterráneas sobrepasa la normativa vigente de 0,010 mg/l en la urbanización Perlas del Altiplano. Los



valores de arsénico registrados se encuentran en un rango de 0.010 a 0.0369 mg/L, siendo superiores a los Límites Máximos Permisibles. Estos datos son similares a los reportados por Paitan & Palomino (2017), quienes encontraron concentraciones elevadas de arsénico mediante el análisis de Espectrometría de Masas con plasma de asociación inductivo (ICP-MS), específicamente de 0,0543 mg As/L en las aguas subterráneas. En cambio, Yáñez (2020) mostró niveles de 0.043 mg/L de arsénico, teniendo valores elevados, lo que sugiere las diferencias de naturaleza y origen de las aguas subterráneas.

Dentro de la discusión concerniente a los hallazgos del objetivo específico 2, donde se obtuvo un valor de p de 0,001 mediante la prueba de ANOVA para muestras repetidas, se deduce que la intensidad de corriente óptima y el tiempo de retención en el electrofiltro es 30V y 60 minutos para la eliminación de arsénico en aguas freáticas. Estas características operacionales se destacan en la remoción del arsénico. Los hallazgos de este estudio son parcialmente comparados con los reportados por Arévalo (2016), quien encontró que un tiempo de retención de 45 minutos y una densidad de corriente de 0,04 V/cm² reducían significativamente los niveles de arsénico. Además, Paitan y Palomino (2017) reportaron reducciones de arsénico utilizando el electrofiltro con un periodo de retención de 25 minutos y una densidad de corriente de 28,23 V/m². Las investigaciones previas avalan la eficacia de las metodologías empleadas de electrofiltración en el tratamiento de las aguas subterráneas; a pesar de ello, se tienen variaciones en los niveles de remoción debido a las diferentes concentraciones. Las diferencias detectadas entre los resultados de este estudio y los citados previamente podrían ser atribuidas a diversos factores operacionales, como el tiempo de retención, la intensidad de campo eléctrico,



tipo de electrodos, la distancia entre electrodos y los niveles de concentración de arsénico. Estos elementos son fundamentales en el método de electrofiltración para remover los metales pesados. La confrontación de nuestros hallazgos con los de otros investigadores fortalece la eficacia de emplear el proceso de electrofiltración para el tratamiento de las aguas subterráneas.

Dentro de la discusión concerniente a los hallazgos del objetivo específico 3, donde se obtuvo un valor de p de 0,000 utilizando la prueba ANOVA, el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas freáticas es mayor al 60% aplicando la electrofiltración. Estos resultados son comparables con el estudio de Porto (2014), quien reportó eficiencias por medio de la electrocoagulación, con un resultado máximo de porcentaje de reducción de arsénico del 92,57%, dando como resultado una manifestación final de arsénico de 0,0075 mg As/L. De manera similar, Manchego y Zabala (2019) exploraron el uso del electrocuagulador en contaminaciones elevadas, obteniendo como resultado la remoción del arsénico superior al 90%. Ambos estudios anteriores reportan eficiencias superiores al 60%; no obstante, varían en las concentraciones de los contaminantes, ya que para el estudio de Porto (2014) se utilizaron aguas subterráneas de la zona Norte, en la investigación de Manchego y Zabala (2019) se utilizaron las aguas subterráneas provenientes de las zonas mineras, y para nuestro estudio se realizó mediante las aguas subterráneas de la zona Sur. Ambas metodologías demuestran ser eficientes, tanto la electrofiltración como la electrocoagulación, siendo una opción válida y efectiva para la remoción de arsénico. La elección entre los métodos dependerá de diversos factores, incluyendo la disponibilidad de los recursos y la concentración inicial de arsénico.



CONCLUSIONES

- Primero:** Se concluye que la aplicación de la técnica de electrofiltración remueve el arsénico hasta una concentración inferior a 0.009 mg/l en las aguas freáticas de la urbanización Perlas del Altiplano. Este dato se corrobora con un valor de significancia de 0.001, obtenido mediante el análisis estadístico ANOVA, cumpliendo así con la normativa de agua para consumo humano.
- Segundo:** Se concluye que la concentración de arsénico en las aguas subterráneas de la urb. Perlas del Altiplano sobrepasa la normativa establecida de 0.010 mg/l. La evidencia empírica de este fenómeno se sustenta en un valor p de 0.005 obtenido con las pruebas t-Student, ya que el arsénico presente en estas aguas subterráneas oscila entre 0.01 mg/l y 0.0369 mg/l. Además, se distingue una orientación al incremento de esta concentración en dirección hacia la urbanización Villa María del Triunfo.
- Tercero:** Se concluye que la intensidad de corriente y el tiempo de retención óptimos en el electrofiltro son de 30 V y 60 minutos (T4). La robustez de este resultado se ve reforzada por un valor p de 0.001, derivado del análisis ANOVA, lo cual permitió remover el arsénico hasta alcanzar un rango de 0.0081 mg/L a 0.009 mg/L en las aguas subterráneas de la urb. Perlas del Altiplano.



Cuarto: Se concluye que el porcentaje de depuración de arsénico de las aguas subterráneas supera el 60% al aplicar la electrofiltración, lo cual se fundamenta con un valor p de 0.000 obtenido mediante el ANOVA. Asimismo, se obtuvieron porcentajes elevados de remoción entre el 94.3% al 97.6%, en las aguas subterráneas de la urb. Perlas del Altiplano.



RECOMENDACIONES

- Primero:** Para futuras investigaciones, se recomienda efectuar pruebas con aguas subterráneas de distintos lugares o tipos de cuerpos de agua (embalses o acuíferos superficiales), basándonos en los resultados obtenidos de la electrofiltración que demostraron su eficiencia para la remoción del arsénico.
- Segundo:** Para futuras investigaciones, se recomienda evaluar la calidad del agua en la urbanización Villa María del Triunfo, debido a la identificación del incremento del arsénico hacia esa dirección y sus efectos adversos para la salud de la población. Asimismo, tomar en cuenta otros parámetros adicionales como el selenio y el titanio.
- Tercero:** Para futuras investigaciones, se recomienda optimizar el proceso utilizando densidades de corriente superiores a 30 voltios y un tiempo de tratamiento extendido de al menos 60 minutos, lo cual puede mejorar significativamente la eficiencia de la eliminación de arsénico en acuíferos subterráneos. Esta recomendación sirve como base inicial para optimizar los métodos de tratamiento de agua.
- Cuarto:** Para futuras investigaciones, se recomienda aplicar un pretratamiento de proceso de oxidación solar antes de la electrofiltración, el cual puede mejorar la calidad del agua tratada y aumentar la eficiencia del proceso de eliminación de arsénico en acuíferos subterráneos hasta sobrepasar el 90%. También se debe tomar en cuenta la viabilidad técnica y económica.



BIBLIOGRAFÍA

- Alanoca, R. (2020). Electrofiltración de Agua Freáticas para Remoción de Metales Pesados a Escala de Laboratorio. Repositorio Universidad Peruana Unión.
- Alarcón, E., García, J., & Morales, M. (2013). Ciclo del arsénico: Mecanismos de dispersión natural y antropogénica en ecosistemas acuáticos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(4), 345-362. <https://doi.org/https://doi.org/10.12345/rica.v29i4.7890>
- ANA. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Ministerio de Desarrollo Agrario y riego.
- Apráez, S., & García, J. (2015). Análisis exhaustivo de la electrocoagulación como alternativa eficiente para la gestión de aguas depuradas de una industria textil. Repositorio Universidad de La Salle. <https://shre.ink/bF7f>
- Arévalo, C. (2016). Influencia de la intensidad de corriente y la duración de la retención en la eliminación de arsénico en efluentes simulados por electrocoagulación. Repositorio Universidad Nacional de Trujillo. <https://shre.ink/bF7p>
- Carranza, M., & Rodríguez, O. (2020). "Remoción de arsénico de agua de pozo para el consumo humano del caserío Casa Blanca - Mórrope empleando hierro y ácido cítrico". Repositorio Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo". <https://shre.ink/bFhC>



- Córdova, L. (2013). Desinfección y expurgación de arsénico del agua mediante fotocatalisis heterogénea. Centro de Desarrollo de Materiales Avanzados
- DIRESA. (2019). Manejo y gestion de agua.
- Fuentes, J. (1993). Aguas Subterranas. Rivadeneyra, S. A. - Cuesla de San Vicente.
- García, S. (2013). Estudios de la distribución química del arsénico y la bioacumulación de metales en muestras relevantes mdioambiental. Repositorio Universidad Politécnica de Madrid.
- Guevara, C. (2021). Desarrollo de un sistema para la eliminación de arsénico en aguas subterráneas provenientes de un pozo perforado r Comunidad: Punto 1 Sector 2 distrito Mochumí, Lambayeque. Repositorio Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://shre.ink/bF7B>
- Hernández, R., & Fernández, C. (2018). Metodología de la investigación. Mexico: McGRAW-HILL.
- Huillca, M., & Apaza, L. (2019). Evaluación de la presencia y cantidad de arsénico en aguas freáticas utilizadas para el consumo humano en la Asociación Nueva Jerusalén, Juliaca - Puno. Repositorio Universidad Peruana Unión.
- Laissaoui, S. E., Barka, N., Qourzal, S., & Hafsi, M. (2021). Arsenic removal from aqueous solution by electrocoagulation/electroflotation/filtration process using iron electrodes. Separation and Purification Technology. <https://shre.ink/bFhv>



- Laqbaqbi, M., Ouass, A., El Hamouri, B., Yaacoubi, A., & Pertuz, A. (2017). Electrocoagulation-microfiltration hybrid process for the treatment of industrial wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 19, 115-122. <https://shre.ink/bF7s>
- Litter, M. I., Ingallinella, A. M., Oliva, M., Savio, M., & Ramos, L. (2017). Fouling in conventional and agro-industrial membranes for water purification in Moroccan dairy industries. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://shre.ink/bFGL>
- López, R. (2018). Caracterización de un reactor de electrocoagulación para la remoción de silica hidratada, arsénico total y fluoruro contenidos en agua de pozo profundo de la zona bajo aplicando aluminio como electrodos de sacrificio. Repositorio Universidad de Guanajato.
- Mamani, W. (2019). Contaminación de las Aguas por Arsénico (As) el caso del distrito de Juliaca - Perú. Repositorio Universidad Nacional de Juliaca. <https://shre.ink/bFGA>
- Manchego, I., & Zabala, G. (2019). Implementación de un electrocoagulador a escala laboratorio que posibilite la depuración de arsénico en agua. Repositorio Universidad Santo Tomas. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11634/19479>
- Mohoraa, E., Rončevićb, S., Agbaba, J., Zrnićb, K., Tubićb, A., & Dalmacija, B. (2017). Arsenic removal from groundwater by horizontal-flow continuous electrocoagulation (EC) as a standalone process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <https://shre.ink/bF7d>



- Pacompa, E. (2021). Análisis del panorama actual del recurso hídrico subterráneo en el contexto del consumo humano en Juliaca. Repositorio Univesidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. <https://doi.org/https://shre.ink/bF7T>
- Paitan, L., & Palomino, D. (2017). "Remoción de arsénico del agua potable del distrito de Quero provincia de Jauja, por el método de electrocoagulación, a nivel Laboratorio". Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://shre.ink/bFGo>
- Porto, H. (2014). "Evaluación de la remoción de arsenico por electrocoagulación de aguas mineras". Repositorio Universidad Nacional del Altiplano. <https://shre.ink/bF7k>
- Quispe, M. (2022). Niveles de arsénico en pozos artesanales y grado de conocimiento del consumo de agua en familias de 4 urbanizaciones del distrito de Juliaca-San Róman-Puno. Repositorio Universidad Nacional del Altiplano. <https://shre.ink/bFha>
- Ramírez, M., Páramo, J., Reynoso, L., & Murillo, M. (2018). Evaluación del desempeño de la electrocoagulación en la purificación de agua potable, específicamente en la eliminación de arsénico y flúor. Revista de Simulación y Laboratorio.
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, 17(5), 517-568.



- Tapia, N., & Huanca, M. (2019). Remoción de arsenico en agua proveniente del Rio Tambo sector Quelgua con Nanoparticulas de oxido de hierro soportadas en zeolita. Repositorio Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <https://shre.ink/bFhI>
- Velásquez, A. (2022). Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación como tratamiento complementario para las aguas del río Surco en la planta de tratamiento de San Borja (PTSB), Lima-Perú, 2021. Repositorio Universidad Científica del Sur. <https://shre.ink/bFGx>
- Villalobos-Aragón, A., Ellis, A. S., Sipma, J., & Straatsma, G. (2021). Development of an electrochemical filtration reactor for arsenic removal from groundwater. Water Research. <https://shre.ink/bF7c>
- Yáñez, M. (2020). Electrocoagulación para eliminación de arsénico y flúor en agua, con electrodos de hierro y aluminio. Repositorio Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C. <https://shre.ink/bF7a>



ANEXOS



Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	METODOLOGIA
<p>General</p> <p>¿Cuánto será la remoción de arsénico mediante la electrofiltración de aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023?</p>	<p>General</p> <p>Determinar la remoción de arsénico mediante la electrofiltración de aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La aplicación de la técnica de electrofiltración remueve el arsénico hasta una concentración por debajo de 0.009mg/l en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano a escala laboratorio Juliaca 2023</p>	<p>Independiente</p> <p>Aguas subterráneas con arsénico</p>	Concentración inicial	Arsénico	mg/L	<p>Diseño de investigación experimental</p>
				Porcentaje de remoción	Arsénico	%	
<p>Específicas</p> <p>¿Cuál será la concentración y la dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano?</p> <p>¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas?</p> <p>¿Cuál es el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración?</p>	<p>Específicas</p> <p>Determinar la concentración y la dinámica del arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano</p> <p>Identificar la intensidad de corriente y tiempo de retención adecuado en el electrofiltro para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas</p> <p>Determinar el porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas tratadas mediante la electrofiltración</p>	<p>Hipótesis Especifica</p> <p>La concentración de arsénico de las aguas subterráneas sobrepasa la normativa vigente de 0.010mg/l en la urbanización Perlas del Altiplano.</p> <p>La intensidad de corriente y tiempo de retención de óptima en el electrofiltro es 30V y 60min para la remoción de arsénico presente en las aguas subterráneas de la urbanización Perlas del Altiplano.</p> <p>El porcentaje de remoción de arsénico de las aguas subterráneas es mayor al 60% aplicando la electrofiltración</p>	<p>Dependiente</p> <p>Electrofiltración</p>	Operacionalización	Intensidad de corriente	Voltios	<p>Tipo de investigación Aplicada</p>
					Tiempo de retención	Minutos	
				Características	Nº de electrodos	Unidad	<p>Enfoque Cuantitativo</p>
	capacidad	Volumen					

Anexo 2. Panel Fotográfico

Foto 1.

Toma de muestra de agua subterránea



Foto 2.

Análisis de la muestra de agua en el laboratorio

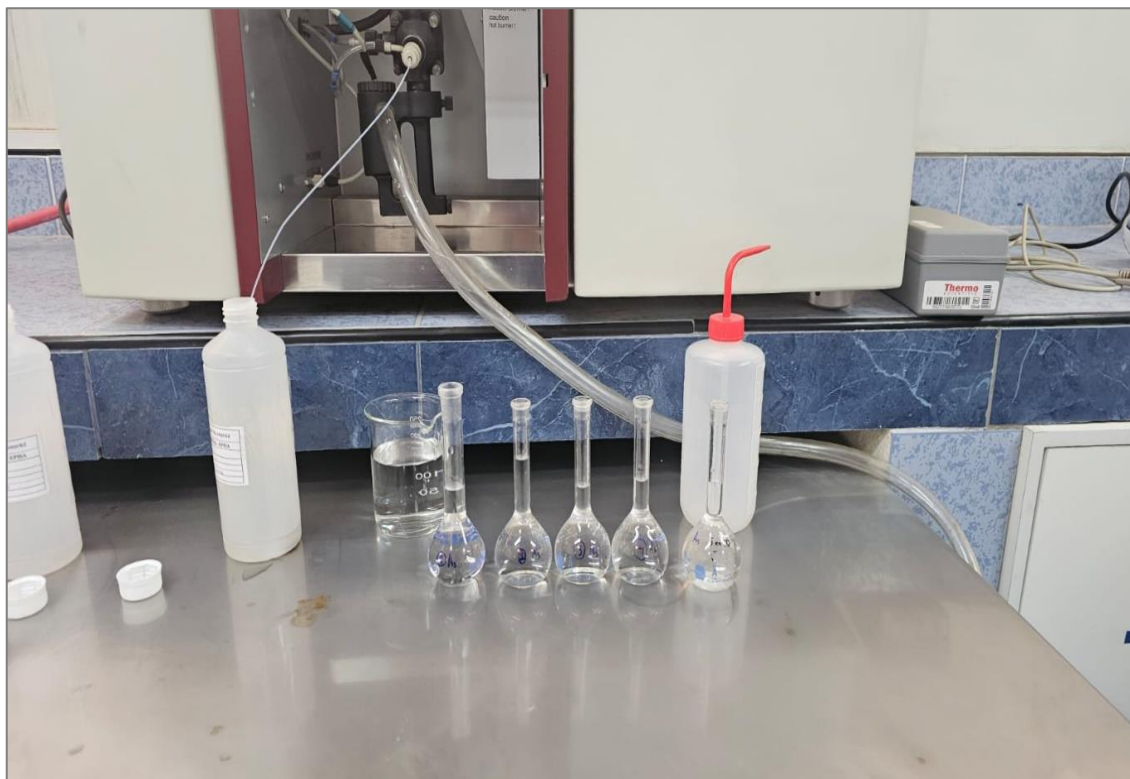


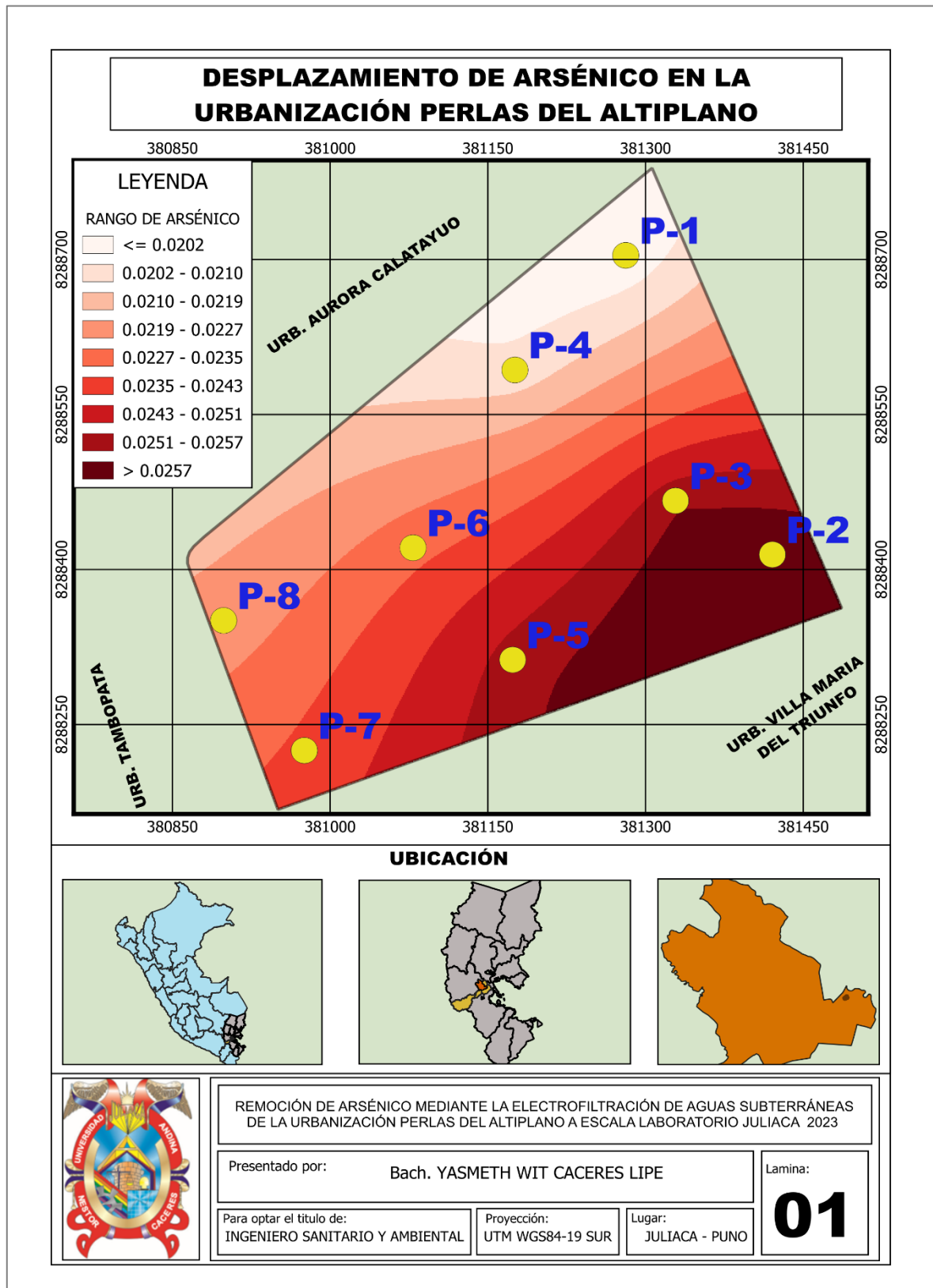
Foto 3.

Análisis de la muestra de agua en el laboratorio



Anexo 3.

Dinámica del arsénico en las aguas subterráneas





Anexo 4.

Cadena de custodia

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

DEPARTAMENTO: PUUCO
 PROVINCIA: SAO ROMAN
 DISTRITO: JULIACA

Datos del cliente

SOLICITANTE: **YASMETH WLT CACERES LIPE** MEDIANTE LA ELECTROFIL-
 TRACION DE AGUAS SUGTERRANEAS DE LA URBANIZACION
 PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2623

N°	Punto de muestreo / Estación	Codigo de laboratorio	Muestreo	Clasificación de la MUESTRA		Ubicación	N° Frascos	PARAMETROS DE ENSAYO		OBSERVACIONES
				Grupo	Sub-grupo			CE (uorm)	pH (libre, e.e., total)	
1	RA-T2-350	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
2	RA-T1-300	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
3	RA-T1-350	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
4	RA-T1-300	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
5	RA-T2-300	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
6	RA-T2-350	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
7	RA-T2-300	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			
8	RA-T2-350	F11/12/23	H	N15-4853	E70-1405	ARSEBICO	4			

Clasificación de la Matriz Agua. Ref: NTP 214.042

RA-12	SUBTRATAMIENTO (MATERIALS - TRATADO)
RA-13	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
RA-14	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)
RA-15	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)
RA-16	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)
RA-17	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)
RA-18	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)
RA-19	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)
RA-20	AGUAS SUBTERRANEAS (MATERIALS - TRATADO)

Observaciones / Comentarios

Legenda

F: Fecha N: N° V: Vidrio P: Pípeto T.M: Temperatura de Muestra

CE: Conductividad Eléctrica

Recepción de muestra:

Nombre: **YASMETH WLT CACERES LIPE**

Fecha: **11/12/23**

Firma: _____

Muestreado por: JAB CLC



Anexo 5.

Resultados del análisis en laboratorio



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA129

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. **Solicitante:** Yasmeth Wit Cáceres Lipe

1.2. **Proyecto :** REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Agua natural – subterránea
- 2.2. **Numero de muestras** : 05
- 2.3. **Muestreado por** : Yasmeth Wit Cáceres Lipe
- 2.4. **Fecha de ensayo** : 16/11/2023
- 2.5. **Departamento** : Puno
- 2.6. **Provincia** : San Román
- 2.7. **Distrito** : Juliaca
- 2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Ubicación	Fecha de monitoreo	Hora de monitoreo
EF1 - I	E: 381337.3 N:8288476.1	15/11/2023	14:43
EF2 - I	E: 381294.3 N:8288487	15/11/2023	15:19
EF3 - I	E: 381207.4 N:8288707.8	15/11/2023	15:44
EF4 - I	E: 381412.1 N:8288531.8	15/11/2023	15:30
EF5 - I	E: 381175.7 N:8288597	15/11/2023	15:28

III.RESULTADOS

N°	Código	Arsénico (mg/L)
1	EF1 - I	0.0294
2	EF2 - I	0.0142
3	EF3 - I	0.0251
4	EF4 - I	0.0678
5	EF5 - I	0.0305

IV.MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 15 de diciembre del 2023.

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mgtr. Ing. Milthon Quispe Huanca
CIP. 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL. FICP

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
E.P. INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Ing. Karen Kelly Quispe

N°B.E.: 00278612
Página 1 de 3



RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA130

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. **Solicitante:** Yasmeth Wit Cáceres Lipe

1.2. **Proyecto :** REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Agua natural – subterránea
- 2.2. **Numero de muestras** : 08
- 2.3. **Muestreado por** : Yasmeth Wit Cáceres Lipe
- 2.4. **Fecha de ensayo** : 16/11/2023
- 2.5. **Departamento** : Puno
- 2.6. **Provincia** : San Román
- 2.7. **Distrito** : Juliaca
- 2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Ubicación	Fecha de monitoreo	Hora de monitoreo
RA – T1 – 25V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	8:00 a.m.
RA – T1 – 30V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	8:20 a.m.
RA – T1 – 25V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	8:40 a.m.
RA – T1 – 30V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	9:20 a.m.
RA – T2 – 25V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	9:40 a.m.
RA – T2 – 30V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	10:00 a.m.
RA – T2 – 25V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	10:20 a.m.
RA – T2 – 30V	E: 377656.6N:88287668.4	11/12/2023	10:40 a.m.





III. RESULTADOS

Nº	Código	Arsénico (mg/L)
1	RA - T1 - 25V	0.0462
2	RA - T1 - 30V	0.0111
3	RA - T1 - 25V	0.0412
4	RA - T1 - 30V	0.0122
5	RA - T2 - 25V	0.0324
6	RA - T2 - 30V	0.0101
7	RA - T2 - 25V	0.0338
8	RA - T2 - 30V	0.0120

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

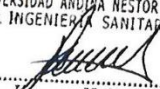
Juliaca, 15 de diciembre del 2023.

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ



Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP: 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
E.P. INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



Ing. Karen Kelly Quispe Quispe
ASISTENTE - LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 31 de diciembre del 2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Yasmeth wit Cáceres Lipe
Dirección: Av. sol 618
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70155808
Teléfono: 978394981 email: yasmethwitcaceres22@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____
Dirección: _____
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____
Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: Ingenierías y Ciencias Puras
Escuela Profesional o Mención: De Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Título o Grado Académico a optar: Ingeniero Sanitario y Ambiental
Asesor: Salvador Teodoro Valdivia Cardenas

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: REMOCIÓN DE ARSENICO MEDIANTE LA ELECTROFILTRACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA URBANIZACIÓN PERLAS DEL ALTIPLANO A ESCALA LABORATORIO JULIACA 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): Arsénico, Agua subterránea, Electrofiltro, Remoción

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.
² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

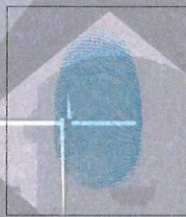
Internacional

Nacional

Línea de investigación: Saneamiento Ambiental - Pz

[Handwritten Signature]

Firma de Autor



huella digital

31 de diciembre del 2024

Fecha