

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y
del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Diseño de un prototipo reductor de dióxido de titanio para
la remoción de boro en aguas subterráneas, Arequipa.
2023

Tesis presentada por el Bachiller:

Martínez Mamani, Fernando Ignacio

ORCID: 0009-0008-8333-0991

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Mg. Medina Ramos, Robert Joaquín

ORCID: 0000-0001-5504-0446

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Abril del 2024

Dictamen: 009302-C-EPIA-2024

Visto el borrador del expediente 009302, presentado por:

2013150381 - MARTINEZ MAMANI FERNANDO IGNACIO

Titulado:

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO REDUCTOR DE DIOXIDO DE TITANIO PARA LA REMOCIÓN DE BORO
EN AGUAS SUBTERRÁNEAS, AREQUIPA. 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



Diseño de un prototipo reductor de dióxido de titanio para la remoción de boro en aguas subterráneas, Arequipa 2023

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

4%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

tesis.unjbg.edu.pe

Internet Source

1%

2

repositorio.ana.gob.pe

Internet Source

1%

3

portalciencia.uclm.es

Internet Source

1%

4

es.scribd.com

Internet Source

1%

5

scholarhub.ui.ac.id

Internet Source

1%

6

bibliotecadigital.udea.edu.co

Internet Source

1%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off

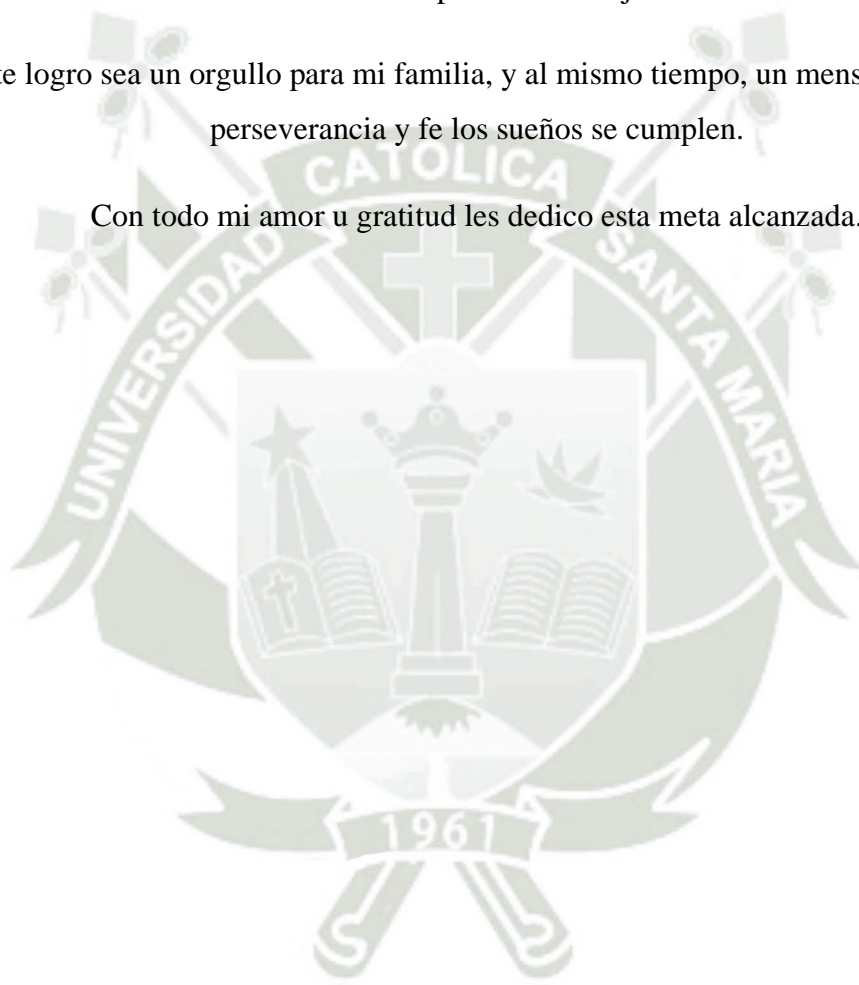
DEDICATORIA

A mi madre, que continúa apoyándome en todos mis proyectos. Le debo lo que soy.

A mis amigos del colegio, buenos profesionales y excelentes personas, que mantuvieron el contacto a pesar del trabajo.

Que este logro sea un orgullo para mi familia, y al mismo tiempo, un mensaje de que con perseverancia y fe los sueños se cumplen.

Con todo mi amor u gratitud les dedico esta meta alcanzada.



AGRADECIMIENTO

A mi madre, por darme la oportunidad de estudiar y haberme formado con valores durante todo este tiempo, que siempre me apoyo incondicionalmente en la parte moral para poder llegar a ser un profesional.

A mi abuela, que me hizo dar cuenta de las cosas en que erraba y me enseñó que no es necesario ser “mayor” para ser fuerte o valiente.

A mis amigos, quienes me acompañaron en la aventura del aprendizaje y con quienes tengo muy buenos recuerdos, quienes aportaron un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

A mi Asesor de Tesis, Ing. Robert Joaquín Ramos por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, durante todo el desarrollo de la tesis.

A mis profesores, que me enseñaron no solo los conocimientos científicos, sino modos y formas de actuar y desempeñarme como profesional.

RESUMEN

La región de Arequipa es catalogada como “la ciudad blanca” y está caracterizada por la formación de sus diferentes formas geológicas volcánicas, en su mayoría descritas como rocas ígneas, las características de estas rocas es que presentan en su estructura alto contenido de Boro que al entrar en contacto con cuerpos de agua subterráneos entran en solución. En nuestro caso de estudio, el distrito de Socabaya donde posee estas formaciones geológicas evidenciando un contenido de Boro de 3.05 mg/L, superando así los ECAs. Es importante resaltar que el agua extraída del acuífero en Socabaya es utilizada para el regadío de diferentes cultivos de consumo primario. La presente investigación tiene como objetivo diseñar un prototipo de oxido reducción en base a la creación de una placa de aluminio con aleación del dióxido de titanio con el objetivo de depurar las aguas subterráneas del boro presente y mejorar la calidad de los regadíos, por ello se tomó una muestra de agua subterránea en un pozo de extracción en el distrito de Socabaya que es para uso agrario, en el monitoreo de Boro se evidenciaron concentraciones de 3.005mg/L el mismo que fue comparado con los estándares de calidad cuyo valor es de 2.45mg/L. Se ha realizado pruebas con el dióxido de titanio para la remoción de boro, por ello se elaboró una curva de calibración con las siguientes concentraciones 0.1mg/l, 0.25mg/l, 0.5mg/l, 0.75mg/l y 1mg/l de boro con sus respectivas absorbancias 0.139mm, 0.407mm, 0.831ppm, 1.217mm y 1.634mm. En las evaluaciones previas para cuantificación se trabajó con el valor de 1mg/L realizado en la curva de calibración de boro en la misma se determinó las condiciones adecuadas con dióxido de titanio con un tiempo de tratamiento de 45 minutos y a un pH de 10 con un porcentaje de remoción del 74.47%. mostrando una remoción de 0.74mg/l. Por otra parte para optimizar el proceso se realizó una aleación de m/m con una placa de aluminio y dióxido de titanio con una fuente de energía de 30 voltios, con la finalidad de aumentar la eficiencia de remoción, se ingresó el agua subterránea de Socabaya con un valor de 2.45mg/L de boro y se logró remover un 82.03% obteniendo un valor de boro de 0.45mg/L.

En conclusión, el prototipo a escala laboratorio es altamente eficiente en la remoción de boro, por otra parte el prototipo puede ser implementado a escala real en los pozos de extracción tubular que permitirá mejorar la calidad del agua subterránea en el distrito de Socabaya para el uso agrario y en consecuencia mejorar la calidad de los alimentos sembrados en esta zona.

Palabras Clave: remoción de boro, aleación electroquímica, aguas subterráneas, prototipo

ABSTRACT

The region of Arequipa is classified as “the white city” and is characterized by the formation of its different volcanic geological forms, mostly described as igneous rocks. The characteristics of these rocks are that they present a high content of Boron in their structure, which upon coming into contact with underground water bodies they come into solution. In our case study, the Socabaya district where it has these geological formations showing a Boron content of 3.05 mg/L, thus exceeding the ECAs. It is important to highlight that the water extracted from the aquifer in Socabaya is used for irrigation of different crops for primary consumption. The objective of this research is to design a prototype of oxidation reduction based on the creation of an aluminum plate with a titanium dioxide alloy to purify groundwater from the boron present and improve the quality of irrigation, which is why a sample was taken of groundwater in an extraction well in the district of Socabaya that is for agricultural use, for this the monitoring of Boron showed a concentration of 3.005mg/L, which was compared with the quality standards whose value is 2.45mg/L. Tests have been carried out with titanium dioxide for the removal of boron, therefore a calibration curve was developed with the following concentrations 0.1mg/l, 0.25mg/l, 0.5mg/l, 0.75mg/l and 1mg/l of boron with their respective absorbances 0.139mm, 0.407mm, 0.831ppm, 1.217mm and 1.634mm. In the previous evaluations, the appropriate conditions were determined with titanium dioxide with a treatment time of 45 minutes and at a pH of 10 with a removal percentage of 74.47%. On the other hand, to optimize the process, an m/m alloy was made with an aluminum plate and titanium dioxide with an energy source of 30 volts. With these parameters, an improvement in the boron removal efficiency was evident to 82.03. %. Obtaining a boron value of 0.45mg/L.

In conclusion, the laboratory-scale prototype is efficient in the removal of boron, which will allow improving the quality of groundwater in the Socabaya district for agricultural use and consequently for the food grown in this area.

Keywords: boron removal, electrochemical alloy, groundwater, prototype

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	1
MARCO METODOLÓGICO	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Problemática de la Investigación.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.2.1. Justificación ambiental.....	3
1.2.2. Justificación económica.....	4
1.2.3. Justificación Social.....	4
1.2.4. Justificación Tecnológica.....	4
2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
3. HIPÓTESIS.....	5
CAPITULO II	6
FUNDAMENTO TEORICO	6
1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Aguas subterráneas.....	17
2.1.1. Boro (B).....	18
2.1.1.1. Constituyente químico de las aguas subterráneas.....	19
2.1.1.2. Propiedades Físicas y Químicas.....	19
2.1.1.2.1. Propiedades Físicas.....	19
2.1.1.2.2. Propiedades Químicas.....	20
2.2. Procesos de Oxidación Avanzada.....	22
2.2.1. Fotocatálisis.....	23
2.2.2. Fotocatálisis Heterogénea.....	24

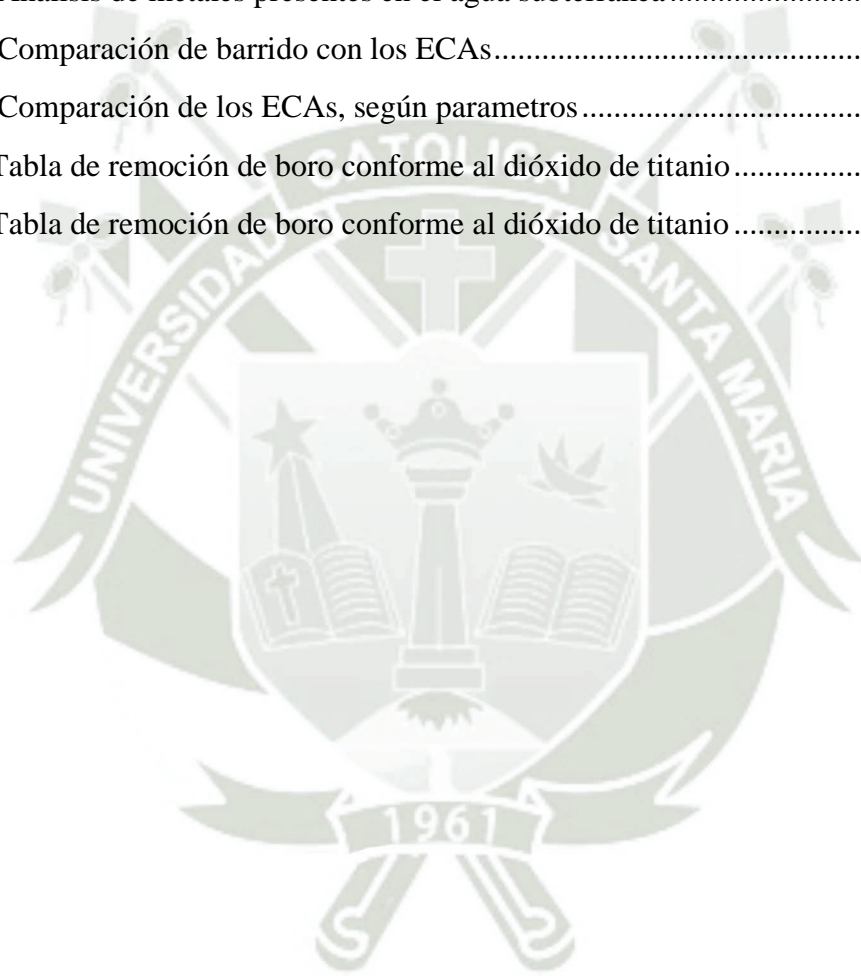
2.2.3. Parámetros que influyen en la Fotocatálisis Heterogénea.....	24
2.2.4. Dióxido de titanio (TiO ₂)	25
2.2.4.1. Utilización del Dióxido de Titanio	26
2.2.4.2. Mecanismos de Dióxido de titanio.....	26
2.2.4.3. Dióxido de titanio modificado con materiales no metálicos	27
2.2.4.4. Dióxido de titanio modificado con materiales no metálicos	27
2.2.4.5. Estructuras del dióxido de titanio	27
3. MARCO LEGAL	28
CAPITULO III.....	29
METODOLOGÍA	29
1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	29
1.1. Tipo	29
1.2. Nivel.....	29
1.3. Operacionalización de variables	29
2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3. METODOLOGÍA	30
3.1. Determinación del área de estudio.....	30
3.1.1 Determinación de las concentraciones de boro a nivel laboratorio.	31
3.2. Evaluación de las variables que implican en la eficacia del prototipo con dióxido de titanio.....	44
3.3. Establecer de la eficiencia del prototipo mediante un análisis comparativo.....	45
3.4. Recreación un prototipo 3D reductor a base de dióxido de titanio con técnicas de aleación metálica.....	46
CAPITULO IV	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
1. RESULTADOS	47
1.1. Determinación las concentraciones de boro a nivel laboratorio.....	47
1.2. Evaluación de las variables que implican en la eficacia del prototipo con dióxido de titanio. 51	
1.2.1. Aumento de la eficiencia de la aplicación de dióxido de titanio acoplado a lámina de aluminio	52

1.3. Determinación la eficiencia del prototipo mediante un análisis cuantitativo.....	54
CAPITULO V.....	57
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS	63
Anexo 1: Análisis físico químico de metales presentes en la muestra de agua subterránea	64
Anexo 2: Análisis físico químico , determinación de metales totales (Boro).....	65
Anexo 3: Fotografías.....	66



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de Variables	29
Tabla 2 Calculo ingenieril.....	38
Tabla 3 Preparación de soluciones estándar	40
Tabla 4 Determinación de la absorbancia del boro.....	41
Tabla 5 Análisis de metales presentes en el agua subterránea.....	47
Tabla 6 Comparación de barrido con los ECAs.....	48
Tabla 7 Comparación de los ECAs, según parametros.....	49
Tabla 8 Tabla de remoción de boro conforme al dióxido de titanio.....	51
Tabla 9 Tabla de remoción de boro conforme al dióxido de titanio.....	54



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Mapa de cuerpos hídricos en el distrito de Socabaya.....	30
Figura 2 Mapa del punto de toma de muestras	31
Figura 3 Toma de Muestras	33
Figura 4 Obtención de la solución estándar de boro a 10 PPM.....	39
Figura 5 Solución estándar de 1000 ppm en 1L.	39
Figura 6 Análisis de curcumina	39
Figura 7 Curcumina en baño maría.....	40
Figura 8 Curva de calibración experimental de boro.....	41
Figura 9 Obtención del boro para la curva de calibración.....	42
Figura 10 Solución estándar de 1000 ppm en 1L.	43
Figura 11 Análisis de curcumina	44
Figura 12 Curcumina en baño maría.....	44
Figura 13 Sistema de aleación electroquímica	52
Figura 14 Aleación de aluminio con dióxido de titanio.....	53
Figura 15 Prototipo a escala real.....	55

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Arequipa es catalogada como “la ciudad blanca”, misma que toma fuerza a partir de sus diferentes volcanes que rodean la ciudad, este nombre se le da por la presencia de diferentes formaciones geológicas volcánicas, las que dan origen a rocas como la tourmalina, riolita, taculita, entre otras, estas son catalogadas como rocas ígneas y su característica primordial en su composición es el boro, sílice, aluminio, hierro, calcio y magnesio, que a lo largo de los años han mostrado modificaciones en su estructura por los diferentes fenómenos geomorfológicos existentes.

Arequipa no solo es conocido por sus diferentes formaciones geomorfológicas, más bien también por su alta actividad agrícola y ganadera, entre sus diferentes distritos resalta el distrito de Socabaya por demostrar una alta actividad agrícola y ganadera para lo cual el requerimiento fundamental para este distrito es la disponibilidad hídrica. El distrito de Socabaya no posee fuentes importantes de agua superficial, por lo que requieren la construcción de diferentes pozos tubulares para la extracción del recurso hídrico disponible en fuentes subterráneas.

Las diferentes formas de extracción del agua subterránea han provocado diversos inconvenientes por la construcción de los ya mencionados “pozos tubulares” los cuales intervienen las rocas ígneas presentes en la extensión del distrito de Socabaya provocando así que el agua subterránea tenga mayor contacto con las rocas ígneas presentes aumentando así las concentraciones de boro en las aguas subterráneas. Por otro lado, el uso excesivo de compuestos borados en la agricultura que se encuentra en la cuenca alta añaden un excedente de boro a la napa freática y con estos precedentes la explotación de la napa freática es peligrosa para la agricultura.

En la actualidad existen diferentes procesos de remoción de boro aplicados a aguas superficiales y por otro lado existen métodos de depuración para aguas subterráneas los cuales son muy costosos.

Los procesos de oxidación avanzada, así como también la electrocatálisis logran tener una gran eficiencia de remoción de boro y de algunos otros metales, así como los diferentes componentes metálicos que se encuentren en solución dentro del agua, pero estas tecnologías

pueden ser agresivas con el medio y su instalación requiere de costos muy elevados y un mantenimiento costoso.

La presente investigación propone diseñar un prototipo de oxido reducción a partir de la combinación de la electrocatálisis y el óxido de titanio, el mismo que mediante un proceso de aleación se pueda integrar dentro de las láminas de aluminio para mejorar la remoción de boro presente en las aguas subterráneas. No solo demostrará su efectividad, sino que propondrá un nuevo modelo de remoción aplicable a escala real con la finalidad de mejorar la calidad del agua subterránea para su extracción y uso en la agricultura.





CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la Investigación

Para Li et. al, las diferentes fenómenos geotérmicos y actividades humanas contienen componentes nocivos que por su composición alteran los componentes básicos del agua, estos efectos generan riesgos de la seguridad y calidad del agua, para consumo humano y otras actividades circundantes (2022).

También los autores Liu, et al., nos dicen que no de los compuestos con mayor preocupación es el Boro, su presencia en el medio acuático representa un riesgo sobre el ambiente, la salud de las personas, cultivos y animales con consecuencias a largo plazo, el boro ingresa mediante la extracción de minerales, la quema de carbón, la descarga de aguas residuales, fertilizantes, quema de madera tratada con boruro entre otros (2022).

Nos dice Vizcarra que la ciudad de Arequipa está rodeada de 7 volcanes (Misti, Chachani, Pichu-Pichu, Sabancaya, Ampato, Hualca-Hualca y Coropuna) por sus actividades geotérmicas naturales, composición geológica y otros factores, promueven la generación de diferentes compuestos, entre ellos el boro el cual mediante un análisis multivariado responde a que este componente es de alta significancia en relación con la calidad del agua subterránea (2017).

Los autores Liu et al., define que el boro es un oligoelemento que tiende a formar compuestos por enlaces covalentes en la naturaleza por su pequeño radio atómico, El boro en soluciones acuosas generalmente existen en forma de especies aniónicas de poliborato, moléculas neutras de ácido borónico y moléculas con una sola carga negativa como son los boratos (2022). También Capitão et al., nos enuncian que la ecotoxicidad del boro en el ambiente representa un peligro inminente debido a su alta agresividad en las plantas y su toxicidad en los seres vivos y sistemas acuáticos, no obstante, en el ser humano puede causar náuseas, vómitos, malestares a largo plazo entre otros. (2022)

Ahora bien, para Akpinar et al., esta problemática surge por la escasez del agua para las diferentes actividades antrópicas, reconociendo como un problema inminente en el uso de la agricultura, la sobre explotación de los recursos y el mal uso de los mismos, conteniendo muchas de ellas por disolución geológica boro y otros metales disueltos,

otros por la presencia de contaminación antrópica. Estas actividades han aumentado sobre todo en la disposición inconsciente de los recursos hídricos subterráneos, (2021).

Para culminar Bellido nos referencia que al conocer las diferentes necesidades hídricas de la población arequipeña y la explotación indebida del recurso hídrico subterráneo para uso agrícola y otros. Es importante conocer que evaluaciones del agua subterránea del remanso de Characato se han determinado valores de boro entre 2,96mg/l a 3.43mg/l valores encontrados en las estaciones de monitoreo de Bautista, Yumina, los cuales superan los ECAs (2021). En el entendimiento que el territorio Arequipeño está en una zona volcánica que produce fenómenos geotérmicos aumentando la cantidad de boro en aguas subterráneas, se plantea una solución para disminuir las concentraciones de boro y mejorar la calidad del agua subterránea en cualquier extensión de manera sostenible.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación ambiental

En los últimos años la población arequipeña ha buscado diferentes fuentes de abastecimiento hídrico entre ellas fuentes superficiales (las cuales son reservadas para su potabilización y uso agrario) y las aguas subterráneas las cuales sirven de abastecimiento extra en la construcción de pozos y explotación directa para el abastecimiento de agua en terrenos agrícolas alejados de la fuente superficial. La fuente de ingresos secundaria es primordial para la subsistencia de valles y otros lugares imprescindibles para la agricultura.

No obstante, el agua subterránea procedente de las formaciones geotérmicas y por el efecto de la infiltración aguas arriba de los productos agrícolas borados, permite que los cursos de la napa freática subterránea lleguen con concentraciones de boro considerables los cuales para su extracción es peligrosa para el cultivo, animales y los seres humanos. El prototipo a realizar permitirá remover el boro eficientemente proponiendo una forma innovadora para la instalación del mismo en los diferentes pozos de extracción de agua subterránea. Y a su vez traerá los siguientes beneficios como la mejora de la disponibilidad hídrica para los cultivos, la reducción de riesgos de la salud y el medio ambiente, la innovación en la depuración de contaminantes y la sostenibilidad en el tratamiento de agua.

1.2.2. Justificación económica

Las nuevas líneas de investigación con respecto a la disminución de boro en aguas subterráneas varían de acuerdo con la generación de microorganismos eficaces, para la transformación y metabolización del boro, esta forma de biorremediación involucra tener diferentes parámetros controlados. Por otro lado, la generación de un diseño a base de dióxido de titanio involucra la disminución de las concentraciones de boro, mediante la reutilización debido a que este diseño utiliza las técnicas de aleación de metales para la producción del mismo que puede disminuir las concentraciones de boro y sea económicamente viable en cada lugar que se necesite. Las ventajas que tendrá la elaboración del trabajo es la reducción de costos en la depuración del boro en aguas subterráneas, por otro lado, se reduce los costos en la implementación de los sistemas de riego para poder obtener el agua.

1.2.3. Justificación Social

La presencia de boro en las aguas subterráneas es muy preocupante para las diferentes actividades humanas, su origen natural y antrópico van en aumento esto involucra que diferentes zonas de explotación acuífera poseen contenido de boro limitando a su explotación adecuada. El prototipo innovador a base de dióxido de titanio permitirá la reducción y remoción efectiva del boro trayendo consigo el incremento en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo aumente considerablemente las producciones agrícolas y la mejora de la calidad de vida para las personas y los animales.

1.2.4. Justificación Tecnológica.

En la actualidad existen diversas metodologías y prototipos que ayudan a la remoción del Boro en aguas subterráneas; sin embargo, las tecnologías más eficientes tienen costos de inversión, operación y mantenimiento elevados. Se tiene como referencia diversos estudios de la ciudad de Arequipa donde se presentan niveles de Boro que superan los límites máximos permisibles; por ello es preciso plantear soluciones de bajo costo como esta propuesta en la que una aleación de dióxido de titanio podría mejorar la calidad del agua subterránea para la remoción de las concentraciones de boro y así contribuir con la sociedad científica.

2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo reductor a base de dióxido de titanio para la remoción de boro en aguas subterráneas.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la zona de estudio y estimar las concentraciones de boro a nivel laboratorio.
- Evaluar las variables que implican en la eficacia del prototipo con dióxido de titanio.
- Establecer la eficiencia del prototipo mediante un análisis cuantitativo.
- Recrear un prototipo reductor a base de dióxido de titanio con técnicas de aleación metálica.

3. HIPÓTESIS

Dado que la ciudad de Arequipa por sus características geológicas origina diversos fenómenos geotérmicos internos que combinados con actividades agrícolas aumentan las concentraciones de boro en las aguas subterráneas, a su vez se han desarrollado diferentes tecnologías para la remoción de metales como la oxidación, electrocatálisis entre otros, es probable que mediante un diseño innovador con un enfoque en el proceso de óxido reducción en base a la aleación de dióxido de titanio se puedan reducir insitu las concentraciones de boro y otros contaminantes presentes en el agua subterránea, mejorando su calidad y aumentando la disponibilidad de la misma para diferentes usos agrarios.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para iniciar con la problemática en mención se realizaron estudios por Khan et al., donde evalúan los parámetros fisicoquímicos geo temporales y Metales Pesados Contaminación en aguas subterráneas de la región de Khulais—provincia de Makkah, Arabia Saudita. Este estudio tuvo como objetivo evaluar y comprender los procesos que influyen en las características hidro geoquímicas del acuífero costero en la región de Khulais en Arabia Saudita. Se tomaron muestras de agua subterránea de diecinueve ubicaciones durante el invierno y el verano de 2021, y los datos de los principales iones y elementos traza se examinaron e interpretaron mediante el software ArcGIS. Las concentraciones de sólidos disueltos totales (TDS) oscilaron entre 480 y 15 236 mg/L y 887–18 620 mg/L en invierno y verano, respectivamente. Se observó que la concentración de TDS en agua subterránea está influenciada por el flujo de agua subterránea, la intrusión litogénica, antropogénica y de agua de mar en este estudio (2021) en comparación con 2016. La concentración de nitrato (NO_3^-) y estroncio (Sr) en la mayoría de las muestras excede la concentración de agua potable. La ocurrencia de altas concentraciones de bromuro (Br), fluoruro (F), hierro (Fe) (invierno y verano) y aluminio (Al), Boro (B), cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu) y manganeso (Mn) (invierno) también fue exhibido y observado hasta más de límites de agua potable y riego. La parte central del área de estudio fue afectada por la intrusión de agua de mar. Se midió la conductividad hidráulica de la capa superior del suelo, y varió de 0,24 a 29,3 m/día. Con base en la conductividad eléctrica (CE) y la tasa de absorción de sodio, la mayoría de las muestras de acuíferos no fueron aptas para riego (SAR)(2022).

Viendo otro caso similar el estudio realizado por Chucuya et al., donde realizan una caracterización Hidro geoquímica e identificación de Factores que Influyen en la Calidad del Agua Subterránea en Acuíferos Costeros, Caso: La Yarada, Tacna, Perú, donde se observaron que el acuífero costero La Yarada presenta contaminación antropogénica y geogénica que afectan negativamente la calidad de las aguas subterráneas para uso poblacional y agrícola. En este escenario se aplicaron métodos estadísticos multivariados en 20 parámetros fisicoquímicos e isotópicos de 53 pozos de bombeo de aguas subterráneas en

octubre de 2020, con el objetivo de caracterizar los procesos hidro geoquímicos que dominan las aguas subterráneas del acuífero costero y los factores que los provocan para optimizar el efectivo gestión de los recursos hídricos, delimitando áreas afectadas por más de un proceso de salinización. Las muestras se agruparon en tres conglomerados (C1, C2 y C3) con análisis de conglomerados, la distribución espacial de C2 y C3 (reclasificados en diagramas rígidos), facies hidro geoquímicas evidenciadas asociadas con las direcciones de flujo y recarga regidas por los lineamientos estructurales (NE -SO), favoreciendo unas zonas más que otras, surgiendo diferentes facies y procesos hidro geoquímicos. El análisis factorial se aplicó desde tres enfoques diferentes: (1) elementos principales, (2) elementos traza y (3) parámetros fisicoquímicos e isotópicos; exponiendo 6 procesos hidro geoquímicos distinguibles en el acuífero y los factores que los causan: (i) salinización—intrusión marina, (ii) lixiviación de fertilizantes y disolución de (Ca^{2+} , Mg^{2+}), (iii) mezcla de aguas residuales (NO_3^-), (iv) condiciones reductoras (Fe, Mn, Al), (v) aportes de (B, Sr), (vi) mezclas conservadoras y disolución (Como, F). Se validó con índices de calidad de agua (ICA) de acuerdo a los límites nacionales, delimitando 67 km² paralelos a la costa con calidad “mala” a “muy mala” para consumo humano y no apta para riego según diagrama de Wilcox por lo tanto pretratamiento en esta área es indispensable. (2022)

Revisando estos fenómenos los autores Rodríguez et al., realizan una evaluación de los diferentes metales tóxicos (Al, Cd, Pb) y oligoelementos (B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Li, Zn, Ni, Sr, V) en el cernícalo común (*Falco tinnunculus*) de Canarias (España). El estudio reveló que los niveles de oligoelementos y metales tóxicos en esta especie tiene mucho valor científico. Se determinó que el contenido de oligoelementos y metales tóxicos (B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Li, Zn, Ni, Sr, V, Al, Cd, Pb) en hígado, músculo y plumas de 200 ejemplares de canales de cernícalo común (*Falco tinnunculus canariensis*) de Tenerife. Cr ($0,82 \pm 2,62$ mg/kg), Cu ($11,82 \pm 7,77$ mg/kg) y Zn ($198,47 \pm 520,80$ mg/kg) son los elementos traza que se destacan en las muestras de plumas; esto puede deberse a su afinidad por los pigmentos que les dan su coloración. Li fue notable en las muestras de hígado (8.470 ± 5.702 mg/kg). Pb se destacó en las plumas (4.353 ± 20.645 mg/kg) > músculo (0.148 ± 0.095 mg/kg) > hígado (0.187 ± 0.133 mg/kg). La presencia de metales en las plumas se correlaciona con una exposición reciente y refleja la contaminación ambiental. Cuando se utilizan plumas de aves rapaces como indicadores de contaminación por metales, es importante saber qué significan los niveles de cada metal. El análisis de los diferentes tejidos y órganos de rapaces, como el cernícalo vulgar, aporta una valiosa

información sobre el grado de contaminación ambiental del ecosistema en el que vive. El género no fue un factor influyente en este estudio. (2022)

Al ver las concentraciones de boro se inicia con un estudio realizado por los investigadores Petrová y Soudek, donde nos muestran la evidencia de la ecotoxicidad de aditivos de zinc y boro, en esta investigación se evaluó la toxicidad potencial del borato de zinc y sus compuestos disociados. Con base en dos pruebas de ecotoxicología diferentes, se estudió su efecto sobre el crecimiento de las plantas. En primer lugar, se investigó el impacto sobre el crecimiento de *Lemna minor*, incluido el efecto sobre el contenido de pigmento. En segundo lugar, se midió la inhibición del crecimiento de las raíces de las especies de plantas superiores *Sinapis alba* (mostaza), *Lactuca sativa* (lechuga) y *Trifolium pretense* (trébol). La prueba de inhibición del crecimiento en *L. minor* fue más compleja y sensible en comparación con la prueba de germinación de semillas de plantas. Las concentraciones ya bajas (10 mg/L) de ZnO, B 2 O 3 y Zn 3 BO 6 condujeron a una disminución en el crecimiento de las frondas ya una inhibición de la conversión de clorofila a en clorofila b. Estos resultados sugirieron que el estrés causado por estos aditivos provocó daños en el aparato fotosintético. La mayor inhibición del crecimiento de las frondas se detectó en las frondas tratadas con B 2 O 3 (92-100%). En ZnO y Zn 3 BO 6, la inhibición del crecimiento de frondas estuvo entre 38 y 77%, siendo el Zn 3 BO 6 ligeramente más tóxico. En la prueba de germinación de semillas, la especie más sensible fue la lechuga, cuyo crecimiento fue inhibido en un 57, 83 y 53% en los tratamientos con ZnO, B 2 O 3 y Zn 3 BO 6, respectivamente. Sin embargo, el efecto inhibitorio en cada planta fue diferente. En lechuga y trébol, la germinación de la semilla y el alargamiento de la raíz disminuyeron con el aumento de las concentraciones del elemento. En contraste, en mostaza, bajas concentraciones de ZnO y Zn 3 BO 6 apoyaron el crecimiento de raíces. Por esa razón, las pruebas más complejas son esenciales para evaluar la toxicidad de los aditivos en el medio ambiente. (2022)

Por otro lado, citando de nuevo a Capitão et al., nos dicen que para resaltar la toxicidad del boro realizan un estudio sobre la toxicidad única y mixta de Boro y nanopartículas de vanadio en el suelo Annelid *Enchytraeus crypticus*: un enfoque de múltiples biomarcadores. El presente estudio evaluó la supervivencia y reproducción de *Enchytraeus crypticus* (28 días) y las respuestas bioquímicas (14 días) cuando se expuso a nanopartículas de vanadio (VNP) y boro (BNP) (simples y mezclas; concentraciones

probadas: 10 y 50 mg/kg). Aunque a nivel de organismo las exposiciones combinadas (VNP + BNP) no indujeron una toxicidad diferente de las exposiciones individuales, el análisis bioquímico reveló un cuadro más complejo. Los VNP presentaron una mayor toxicidad que los BNP. Los VNP (50 mg/kg), independientemente de la presencia de BNP (efectos aditivos o independientes), provocaron una disminución de la supervivencia y la reproducción. Sin embargo, las actividades de acetilcolinesterasa, glutatión S-transferasa, catalasa, glutatión reductasa y los niveles de peroxidación lipídica revelaron alteraciones en la neurotoxicidad, la desintoxicación y las respuestas antioxidantes, según el tiempo y el tipo de exposición (simple o mixta). Los resultados de este estudio destacan diferentes respuestas de los organismos a los contaminantes en exposiciones simples versus mixtas, principalmente a nivel bioquímico. (2022)

Por este motivo Ivanyutin et al., realizaron una evaluación integral del agua potable de fuentes subterráneas de la cuenca del río Salgir, donde el objetivo del estudio fue evaluar el riesgo para la salud de la población de los contaminantes de las fuentes de agua subterránea contenidas en el agua potable ubicadas en la cuenca del río Salgir. Materiales y métodos. Este trabajo presenta los resultados del estudio de la calidad del agua subterránea. Las muestras se extrajeron en la cuenca del río Salgir. El estudio se basó en la prueba de los cálculos de riesgo para la salud establecidos en P 2.1.10.1920-04 y MR 2.1.4.0032-11. Los datos iniciales fueron información sobre los resultados de los análisis químicos de las aguas subterráneas de 2018 y 2019. Resultados. Como resultado del cálculo de los riesgos olfatorios-reflejos y no cancerígenos de ciento setenta y ocho fuentes de agua potable, así como del cálculo de un indicador integral que caracteriza el impacto peligroso del agua en la salud, el papel más importante en la formación de organolépticos Se reveló que los efectos eran proporcionados por el olor del agua y su rigidez, y no cancerígenos, por los nitratos y, en un caso, por boro. Limitaciones: en primer lugar, no se realizó una evaluación del riesgo cancerígeno debido a la falta de datos sobre componentes tóxicos (arsénico, cadmio, plomo y otros) en el agua. En segundo lugar, no todos los asentamientos ubicados en la cuenca del río Salgir están incluidos en el estudio, debido a la falta de datos sobre la calidad de las aguas subterráneas de estos pueblos. Conclusión. Los valores calculados de los indicadores integrales, combinando estos riesgos, permitieron evaluar la calidad del agua en cada toma de agua y los efectos nocivos más significativos del daño a los órganos y sistemas del cuerpo humano. El método utilizado para evaluar la seguridad del agua potable permite desarrollar

medidas para aumentar la eficiencia de su postratamiento antes de suministrarla al consumidor. (2022)

Es así que Bai et al., estudiaron la presencia y riesgos para la salud que representa los metales pesados en el agua potable de pozos autoabastecidos en el norte de China. En este estudio, se recolectaron 156 muestras de agua de pozo autoabastecidas de áreas remotas y dispersas de Mongolia Interior (NMG), Heilongjiang (HLJ) y los suburbios de Beijing (BJ) en el norte de China. Veinticuatro metales pesados fueron identificados mediante el uso de la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), y los riesgos para la salud humana asociados se evaluaron utilizando los estándares de la US Environmental Agencia de Protección (US EPA). Las concentraciones de cuatro metales pesados (As, Fe, Mn y Tl) en HLJ, un metal pesado (Tl) en BJ y diez metales pesados (Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Mo, Se, Tl, y Zn) en NMG superó los límites establecidos por China o la Organización Mundial de la Salud (OMS). El riesgo carcinogénico total (TCR) y el riesgo no carcinogénico total (THQ) que excedieron los límites establecidos se produjeron principalmente en NMG, en comparación con HLJ y BJ. Además, As representó el 97,87 % y el 60,06 % del TCR en HLJ y BJ, respectivamente, mientras que Cr representó el 70,83 % del TCR en NMG. El TCR causado por Cd en las tres áreas tuvo un riesgo insignificante ($<10^{-4}$). As representó el 51,11 %, el 32,96 % y el 40,88 % del THQ en HLJ, BJ y NMG, respectivamente. De acuerdo con los resultados del análisis de componentes principales, los metales pesados en el agua de pozo de HLJ y NMG se originaron principalmente de procesos naturales mixtos y fuentes antropogénicas, mientras que, en BJ, la mayoría de los metales pesados probablemente se originaron de fuentes naturales. En el futuro, el monitoreo a largo plazo de metales pesados en el agua de pozos autoabastecidos debe llevarse a cabo para una amplia gama de sitios de agua de pozo, y el agua de pozo con alta contaminación por As debe monitorearse más y evaluarse completamente antes de usarse como un fuente de agua potable (2022).

De la misma manera Li et al., estudiaron el Mecanismo Génesis y la Evaluación de Riesgos para la Salud de los Altos Boro Agua en el área geotérmica de Zhaxikang, sur del Tíbet. En este estudio, se recolectaron muestras de agua geotérmica y agua superficial del sistema geotérmico Zhaxikang en el sur del Tíbet para investigar las causas de las altas concentraciones de boro en aguas geotermales y el agua polución de la calidad del agua por

su descarga. Los resultados indican que el tipo hidroquímico del agua geotérmica fue HCO_3 -Cl-Na, mientras que el del agua fría de manantial, agua de mina, agua de río y agua de lago fue SO_4 - HCO_3 -Ca-Mg. Los isótopos de hidrógeno y oxígeno muestran que la fuente de recarga del agua subterránea fría era principalmente agua de deshielo y agua meteórica, mientras que además de eso, hay agua magmática para fuentes termales. El boro El contenido de agua geotérmica en el área de estudio es tan alto como 42,36 mg/L, superando con creces el límite de la Organización Mundial de la Salud para el agua potable (0,5 mg/L). El análisis de los componentes iónicos y el modelo PHREEQC indicaron que la disolución de los minerales de silicato y el intercambio catiónico controlaban la composición del agua subterránea y el boro en aguas subterráneas provino principalmente de la volatilización de componentes magmáticos y la lixiviación de sedimentos someros. Se utilizó el índice de calidad del agua en peso de entropía para evaluar la calidad del agua del área de estudio; alrededor del 42,9% de las muestras de agua subterránea son de buena calidad y se pueden utilizar para beber, principalmente agua fría que no se ha mezclado con agua geotérmica aguas arriba. Con la descarga de agua geotérmica en el río (con una proporción de mezcla de ~20 %), la calidad del agua aguas abajo se deterioró gradualmente. La evaluación de riesgos para la salud del agua potable en el área de estudio mostró que el índice de peligrosidad (IH) del agua potable en el área mixta fue superior a 1 (con un promedio de 1.594 para niños y 1.366 para adultos), lo que indica que los niños se encuentran en un mayor riesgo para la salud que los adultos. Agua geotérmica con alta boro El contenido se ha encontrado en todo el mundo, y los efectos adversos de su drenaje natural no pueden ignorarse. (2022)

Otro estudio realizado por Censi et al., revisa el comportamiento del boro y el litio en aguas de ríos bajo condiciones climáticas semiáridas, demostrando que las evaporitas resultan en fuentes potenciales de B y Li para las aguas superficiales. Los resultados de las aguas de los ríos han medido valores de fuerza iónica entre 0,1 y 4,54 M. Las distribuciones de B y Li en estas aguas se estudiaron en fracciones coloidales (CF, extraídas por ultrafiltración del filtrado de 0,45 μm) y disueltos totales (TDF) y en fracciones extraídas de sedimentos del cauce correspondientes, según cambios de la relación B/Li. En aguas de río, CF y TDF mostraron valores de B/Li muy similares, lo que sugiere que solo ocurre un fraccionamiento insignificante entre Li y B en la fase acuosa. Se observó evidencia similar entre los valores de B/Li en TDF y la fracción de sedimento lábil, mientras que surgió una relación inversa entre los valores de B/Li en TDF y en la fracción de sedimento fácilmente

reducible. Esta relación indica que los oxihidróxidos de Mn reaccionan preferentemente con las especies B acuosas en relación con el Li en la interfase sedimentaria del lecho del río. El alcance de las reacciones de oxihidróxido de B-Mn está influenciado por la fuerza iónica, por lo que solo se miden valores de B/Li inferiores a 4 en aguas de río con valores de fuerza iónica superiores a 0,5 M. Comparando B/Li y los valores de fuerza iónica medidos en del río Platani con las de las salmueras óxicas de todo el mundo, se observa la misma remoción preferencial de B en relación con el Li. Esta evidencia sugiere que B se elimina como pares de iones de borato cargados positivamente, formados en la fase acuosa en condiciones de mayor fuerza iónica, que reaccionan con superficies cargadas negativamente de oxihidróxidos de Mn. La reactividad del B observada en relación con el Li podría aprovecharse para reducir el exceso de B de las aguas naturales o residuales, lo que permitiría que las reacciones naturales con los oxihidróxidos de Mn tuvieran lugar en condiciones naturales (2022).

No solo las concentraciones de boro son originadas por procesos geotérmicos así que Da et al., realizan un estudio de exploración de la contaminación antropogénica sobre los boro-isótopos. En este estudio se recogieron 34 muestras de agua para medir las concentraciones y valores de boro. Los resultados indicaron que las concentraciones de boro en el río Huaihe osciló entre 37,99 y 105,99 $\mu\text{g/L}$, mucho más bajo que el de las aguas subterráneas, el agua de riego de las tierras de cultivo y las aguas residuales. Los valores de $\delta^{11}\text{B}$ estuvieron entre -3,12 y 3,21, con un valor medio de -0,44. Hubo variaciones evidentes en la tendencia de boro y $\delta^{11}\text{B}$ entre upstream, midstream y downstream. $\delta^{11}\text{B}$ tenía una correlación relativamente alta con el pH, boro y cloro. Boro se correlacionó positivamente con EC, Na^+ , K^+ , F^- , Li^+ , As y $\delta^{11}\text{B}$, mientras que se correlacionó negativamente con Ca^{2+} y Mg^{2+} en agua. El modelo de ecuación estructural sugirió estructura industrial, población, desarrollo económico y polución emisión tuvo efectos positivos en boro, mientras que la estructura industrial y polución la emisión tuvo efectos positivos en $\delta^{11}\text{B}$. Los contenidos de boro y $\delta^{11}\text{B}$ mostró una ligera diferencia entre las tierras de cultivo, las aguas subterráneas, la planta de tratamiento de aguas residuales y el río Huaihe. El análisis de conglomerados jerárquicos indicó que se produjo la misma fuente entre el río Huaihe y el agua subterránea, entre las tierras de cultivo y la planta de tratamiento de aguas residuales. Un análisis de isótopos estables en el modelo R reveló que el detergente proporcionó la mayor proporción de boro seguidas de detergente en polvo, aguas residuales municipales y aguas subterráneas contaminadas (2022).

Por ello una de las mayores actividades humanas es la descarga de residuos sólidos municipales en vertederos por ello Lukasik y Dabrowska realizaron monitoreos para determinar la calidad del agua subterránea en el área de vertederos municipales en Dębrowa Górnicza (sur de Polonia), evidencia los datos obtenidos de diferentes monitoreos de la calidad del agua de los vertederos municipales de Lipowka I y Lipowka II en Dębrowa Górnicza de los últimos cinco años, mostrando que la calidad del agua en el área se evaluó utilizando el Nemerow utilizando método del índice de contaminación (NPI). Se evaluaron siete parámetros: pH, conductividad eléctrica y las concentraciones de cloruros, sulfatos, iones de amonio, boro y hierro Se utilizaron como nivel de referencia los límites de calidad de agua clase III. Los resultados de los cálculos del NPI muestran que los índices más altos se obtuvieron para los piezómetros PZ5 y T5 ubicados en la salida del agua del vertedero Lipowka I. Los valores más altos del índice de Nemerow se obtuvieron para los iones de amonio y alcanzaron un valor superior a 36 en el piezómetro PZ5 y 17 en el piezómetro T5. Los demás parámetros no indicaron un impacto significativo de los vertederos en la calidad de las aguas subterráneas. Los valores más altos de los indicadores se observaron en 2017. Cabe señalar que, además de las grandes diferencias en el contenido de iones de amonio, los valores de los índices de Nemerow para la conductividad eléctrica específicos para el piezómetro PZ5 son el doble que para los otros piezómetros y cuatro veces mayor que para boro. El índice de Nemerow es un método útil y sencillo para evaluar la calidad de las aguas subterráneas. Incluso se puede utilizar para un pequeño número de parámetros (2022)

Con la revisión anterior Kadam et al., realizan un enfoque integrado para la evaluación de la calidad del agua subterránea a través de la hidrogeoquímica y el riesgo para la salud humana de la cuenca del río Shivganga, Pune, Maharashtra, India. En este estudio realizan un análisis geoquímico cualitativo, los niveles de contaminación y la evaluación de riesgos para la salud humana (HHRA) de las aguas subterráneas son pasos integrales en la gestión de las aguas subterráneas en la región de flujo de basalto de Deccan Plateau en India. Se analizaron muestras de agua subterránea representativas ($n = 68$) recolectadas en el área de la cuenca del río Shivganga del distrito de Pune, Maharashtra, durante las temporadas previas al monzón (PRM) y posteriores al monzón (POM) en 2015 para detectar los principales cationes y aniones. Según los estándares de consumo de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), CE, sólidos disueltos totales, dureza, bicarbonato, calcio y magnesio superaron el límite deseable. Boro y el contenido de fluoruro superó el límite deseable prescrito por la OMS. El polución y la idoneidad para beber se evaluaron

computando polución índice de agua subterránea (PIG), índice de calidad de agua subterránea (GWQI) y HHRA particularmente para boro y toxicidad por fluoruro. Los valores de PIG infieren que alrededor del 6 % de las muestras de agua subterránea tiene un nivel moderado, un 24 % un nivel bajo y un 70 % un nivel insignificante. Polución en la temporada de PRM, mientras que solo 1 muestra (3%) mostró alta polución, el 6% mostró bajo, y el 91% mostró insignificante polución en la temporada de POM. La clasificación GWQI demostró que el 27% y el 15% de las muestras se encuentran dentro de la categoría deficiente, y solo el 15% y el 18% de las muestras caen en la categoría de agua excelente en las temporadas PRM y POM, respectivamente. El índice de riesgo total (THI) reveló que el 88 % de los niños, el 59 % de los adultos y aproximadamente el 38 % de los bebés están expuestos a riesgos no cancerígenos, ya que se observaron valores de THI (>1) para la temporada PRM, mientras que el 62 % de los niños, el 47% de los adultos y el 24% de los bebés son vulnerables a peligros para la salud no cancerígenos durante el período de POM (2022).

Para la solución de esta problemática Yang et al., plantean mecanismos de eliminación de boro mediante el polvo de concha de ostra calcinada. En este trabajo se estudió el proceso de eliminación de B del agua utilizando un agente de precipitación de calcio (Ca) de bajo costo derivado de conchas de ostra usadas. Los resultados mostraron que la tasa de eliminación de B en las aguas residuales simuladas mediante la concha de ostra calcinada (COS) en presencia de fósforo (P) es de hasta más del 90 %, a diferencia de prácticamente ninguna eliminación sin fosfato. Para la eliminación de B, el agua tratada debe ser una solución alcalina con un pH alto superior a 12, donde el B se elimina como $[CaB(OH)_4]^-$ pero no es molecular. Finalmente, se explicó en detalle el mecanismo sinérgico de coprecipitación entre HAP y B disuelto, coprecipitación de oclusión. El método propuesto descubrió la relación entre Ca, P y B, y tenía como objetivo eliminar B sin efectos secundarios. Polución por coprecipitación. (2022)

Otra propuesta de remediación realizada por Akpınar et al., utilizan soluciones acuosas mediante a polietamina -Fe⁺³ adsorbentes de columna adherida. El presente estudio examina boro polución nivel en el agua subterránea y sugiere un sorbente alternativo para eliminarlo de las fuentes de agua utilizadas para riego y bebida. Las columnas de poli-2-hidroxietilmetacrilato (HEMA)-co-glicidilmetacrilato (GMA)-polietilenimina (PEI)-Fe³⁺ se sintetizaron para adsorber el boro compuestos de muestras de agua subterránea real y

solución sintética. Boro se eliminó en un 78,2 % mediante una columna de poli(HEMA-co-GMA)-PEI-Fe 3+ en una cantidad de 54,42 mg/g, pH 8. Sin embargo, la tasa de adsorción más baja se registró entre el 35,8 y el 58,1 % del agua subterránea real donde cantidad adsorbida de boro y sus derivados se encontraron entre 9 y 28,67 mg/g debido a otros iones químicos en muestras reales de agua subterránea. Las columnas cargadas con boro se regeneraron mediante tratamiento con NaOH 0,01 M para la práctica industrial. Los ciclos de regeneración se realizaron con éxito 15 veces con solo una pérdida del 5 % en la capacidad de adsorción de las columnas (2021).

Otra metodología propuesta por Kluczka et al., indica la eliminación del boro mediante sorción en perlas de hidrogel de quitosano modificado. En esta investigación se emplearon microesferas de hidrogel biosorbente híbridas a base de quitosano y manganeso (II-IV) para la eliminación de boro de medios acuosos. Los resultados mostraron que el biosorbente eliminó efectivamente el ácido bórico del medio acuoso a pH neutro durante un tiempo de sorción de 2 h y una relación líquido/hidrogel de 20 mL/g, logrando una capacidad máxima de sorción cercana a los 190 mg/g. El modelado de los datos de equilibrio de sorción indicó que la ecuación de la isoterma de Freundlich proporcionó el mejor ajuste de los modelos de isoterma examinados. Se encontró que un modelo de pseudo-segundo orden describía mejor la cinética de sorción. La unión favorable del manganeso a la estructura del quitosano permitió la sorción de boro y fue confirmado por los métodos FTIR, RS, XRD, SEM e ICP-OES. Boro la desorción del biosorbente gastado se logró con éxito en tres ciclos utilizando una solución de NaOH. En general, los resultados de esta investigación indican que este método es una de las posibilidades para mejorar la calidad del agua y puede contribuir a reducir polución del medio acuático (2021).

Por otro lado los autores Dydo y Turek estudiaron el transporte y la eliminación del boro mediante membranas de intercambio iónico. En este estudio las tasas informadas de transporte de ácido bórico en la DE son tan pequeñas que se ha sugirió que la DE puede ser eficaz para separar ácidos minerales fuertes e iones del ácido bórico en un proceso de desalinización electrodiálisis simple. Esta parece ser la aplicación más prometedora de las membranas de intercambio iónico para el tratamiento de aguas que contienen boro. Aunque las tasas informadas para el transporte de borato en ED son altas, las eficiencias de corriente eléctrica para el transporte de borato son bajas debido a la baja movilidad de borato. Además, los boratos existen solo a un pH alto, en el que existe un grave riesgo de

incrustación de membrana con compuestos básicos de elementos como el calcio y el magnesio. Por lo tanto, la solución diluida debe desmineralizarse antes de la eliminación del borato por ED, lo que desafía la viabilidad económica de todo el proceso. Informes provisionales sobre boro eliminación por diálisis de Donnan (DD) no han proporcionado mucha información sobre la eficacia de boro eliminación de las aguas o su concentración final (2013).

Con las diferentes tecnologías de remoción de boro los autores Tang et al., identifican los Avances recientes en materiales y tecnologías de membranas para boro eliminación. En esta investigación los investigadores acceden y reconocen cada vez más las toxicidades para los seres vivos y la nocividad para la fabricación de semiconductores. Se ha presentado una amplia gama de tecnologías para boro eliminación. Entre ellos, las tecnologías de membranas para boro eliminación han llegado al centro de atención científica. En especial, algunos procesos de membrana emergentes se diseñaron recientemente, por ejemplo, ósmosis directa (FO), ultrafiltración mejorada con polímeros (PEUF), filtración por adsorción de membrana (MAF), destilación de membrana (MD), etc. La mayoría de ellos se demostraron con muchas ventajas competitivas en comparación con los métodos tradicionales. Esta revisión presentará un resumen completo de los avances recientes en las tecnologías de desboronación basadas en membranas desde la perspectiva de los materiales de membrana, la fabricación de membranas y el diseño de sistemas. Se cubrirán las comparaciones entre varios procesos de membrana y las perspectivas de cada tecnología. La información puede servir de inspiración para futuros investigadores y allanar el camino para desarrollar tecnologías de desboronación eficaces y eficientes para los años venideros (2017).

2. MARCO TEÓRICO

La eliminación de boro en aguas subterráneas puede ser un desafío debido a la solubilidad limitada de boro en agua y la complejidad de las matrices de agua subterránea. Un prototipo reductor de dióxido de titanio podría ser utilizado como un método para remover boro de las aguas subterráneas mediante la adsorción del boro en el TiO₂ reducido.

Un posible prototipo podría incluir un sistema de filtración que contenga una columna de dióxido de titanio reducido. El agua subterránea se filtra a través de la columna, y el boro se adsorbe en el TiO₂ reducido. El agua filtrada se recolecta y el boro se queda

retenido en la columna. El TiO_2 reducido podría ser regenerado para su uso continuo mediante la aplicación de una corriente eléctrica o un agente oxidante.

Otro posible prototipo podría ser un reactor químico que contenga una mezcla de dióxido de titanio y un agente reductor, como hidrógeno o carbono, y boro en forma de borato. La reacción química entre el TiO_2 y el agente reductor formaría un compuesto de boro- TiO_2 con una alta capacidad de adsorción, separando el boro del agua subterránea.

Es importante mencionar que estos son solo algunos ejemplos de prototipos potenciales para la eliminación de boro en aguas subterráneas utilizando dióxido de titanio reducido, y que su eficacia y viabilidad deben ser evaluadas mediante experimentos y pruebas en laboratorio y campo antes de ser consideradas para su implementación en un ambiente real.

2.1. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son agua que se encuentra debajo de la superficie terrestre en acuíferos, que son rocas permeables y porosas que contienen agua. El agua subterránea puede ser recolectada mediante pozos o acueductos y utilizada para diferentes usos, como el riego, la industria y el consumo humano.

Existen dos tipos de aguas subterráneas, las aguas libres y las aguas confinadas, las primeras se encuentran en los espacios vacíos de las rocas, y las segundas están rodeadas por rocas impermeables y solo pueden moverse en una dirección.

Los autores Otálvaro et al., nos comentan que el agua subterránea puede ser una fuente valiosa de agua dulce, ya que está protegida de la contaminación superficial y puede ser menos susceptible a las fluctuaciones estacionales en la disponibilidad de agua. Sin embargo, el agua subterránea también puede ser vulnerable a la contaminación si se utilizan mal los productos químicos y si no se gestiona adecuadamente la extracción de agua. Por lo tanto, es importante monitorear y regular el uso de esta agua para evitar su sobreexplotación y contaminación (2011).

Las aguas subterráneas pueden ser utilizadas en procesos de depuración para tratar aguas contaminadas. Algunos ejemplos de cómo se utilizan las aguas subterráneas en procesos de depuración incluyen:

La recarga de acuíferos: Este proceso consiste en devolver el agua limpia al acuífero mediante pozos de recarga. Esto ayuda a mejorar la calidad del agua subterránea y puede ser utilizado para tratar aguas residuales y aguas de riego.

La filtración de agua subterránea: Este proceso utiliza las propiedades naturales de las rocas y los suelos para filtrar y purificar el agua subterránea. El agua se bombea a través de un pozo de recarga y a través de las rocas y suelos para eliminar los contaminantes.

La purificación biológica del agua subterránea: Este proceso utiliza bacterias y microorganismos para eliminar contaminantes del agua subterránea. El agua se bombea a través de un pozo de recarga y a través de un sistema de filtros biológicos para eliminar los contaminantes.

La purificación química del agua subterránea: Este proceso utiliza productos químicos para eliminar los contaminantes del agua subterránea. El agua se bombea a través de un pozo de recarga y a través de un sistema de filtros químicos para eliminar los contaminantes.

En general, para Sahuquillo et al., estos procesos son utilizados para tratar aguas contaminadas con metales pesados, hidrocarburos, nitratos, entre otros. Es importante tener en cuenta que el proceso de depuración a utilizar dependerá de la calidad y cantidad del agua a tratar, así como de los contaminantes presentes y su concentración (2009).

2.1.1. Boro (B)

El investigador Goren et al., nos explica que el boro es un elemento químico que se encuentra en la naturaleza en forma de compuestos, como el borato. Sin embargo, el boro no es originario de la naturaleza en su forma elemental sino el ácido bórico (H_3BO_3) y sus sales. Se puede encontrar en aguas subterráneas varias especies que contienen boro en forma de sales solubles, como el borato de sodio. El boro es esencial para el crecimiento de las plantas, pero en concentraciones demasiado altas puede ser tóxico para algunas especies. La concentración de boro en las aguas subterráneas varía según la geología y la actividad humana en la zona (2022).

Para Haddadi y Sonawane, a medida que se profundiza en las aguas subterráneas, la concentración de boro puede variar debido a diferentes factores geológicos y geoquímicos. En general, en las aguas subterráneas más profundas, se espera que la concentración de boro sea menor debido a la menor cantidad de rocas y suelos que contienen boro y menos interacción con la superficie. Sin embargo, puede haber excepciones si hay depósitos de boro en profundidad o si hay una fuente local de boro, como una mina cercana. Es importante realizar estudios específicos de un área para determinar la concentración de boro en aguas subterráneas a profundidad (2022).

2.1.1.1. Constituyente químico de las aguas subterráneas

El boro es un constituyente químico que puede encontrarse en algunas aguas subterráneas. El boro en concentraciones elevadas puede causar problemas de salud en humanos, como problemas gastrointestinales y respiratorios. Además, el boro puede interferir con el metabolismo de las plantas y los animales, y puede afectar el crecimiento y la reproducción de los organismos acuáticos.

Ahora bien, para Cerón et al., es importante monitorear regularmente el boro en el agua subterránea para asegurar que no se encuentra en concentraciones peligrosas y que el agua sea segura para su uso. Si se detectan niveles elevados de boro en el agua subterránea, se pueden tomar medidas para reducir la exposición, como el tratamiento del agua antes de su uso o la identificación y eliminación de las fuentes de contaminación (2021).

2.1.1.2. Propiedades Físicas y Químicas

Goren et al., nos dicen que los diferentes usos del compuesto a base de carbono que son ampliamente utilizados realzan las investigaciones sobre la eliminación a través del boro debido a sus propiedades, que los convierten en un absorbente viable y a bajo costo siendo un elemento de alta disponibilidad y eficiencia de eliminación (2022).

2.1.1.2.1. Propiedades Físicas

Densidad: La densidad del boro sólido es de 2.34 g/cm^3 , lo que significa que es un material denso y pesado. La densidad del boro líquido es de 1.51 g/cm^3 .

Punto de fusión: El punto de fusión del boro es de 2075°C , lo que significa que es un material que requiere mucha energía térmica para fundirse.

Punto de ebullición: El punto de ebullición del boro es de 3927°C , lo que significa que es un material que requiere mucha energía térmica para vaporizarse.

Conductividad térmica: La conductividad térmica del boro es moderada, lo que significa que es un material que conduce moderadamente el calor.

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica del boro es baja, lo que significa que es un material que no es un buen conductor de electricidad.

Dureza Mohs: La dureza Mohs del boro es de 9, lo que significa que es un material muy duro y resistente.

Estado de oxidación: El boro puede tener dos estados de oxidación diferentes, III y V.

Color: El boro puede ser negro o marrón.

2.1.1.2.2. Propiedades Químicas

Elemento no metálico: El boro es un elemento químico que no es un metal.

Conductividad: No es un buen conductor de electricidad ni calor. El boro no es un buen conductor de electricidad ni calor.

Reactividad: No es reactivo en condiciones normales. El boro no es reactivo en condiciones normales, lo que significa que no reacciona fácilmente con otros materiales.

Estados de oxidación: Forma compuestos covalentes con otros elementos. El boro puede formar compuestos covalentes con otros elementos, lo que significa que comparte electrones con otros elementos.

Solubilidad: El boro no es soluble en agua, lo que significa que no se disuelve en agua.

Compuestos metálicos: El boro puede combinarse con metales para formar compuestos metálicos.

Electrones de valencia: Tiene un alto número de electrones de valencia disponibles para compartir con otros elementos. El boro tiene un alto número de electrones de valencia disponibles para compartir con otros elementos, lo que significa que es un elemento muy reactivo.

Toxicidad del Boro

Nuevamente Goren et al., nos comenta que las cantidades de boro en el medio ambiente superan los límites permisibles por parte de la explotación de los sectores que hacen uso de este elemento químico. La exposición prolongada del boro en aguas subterráneas puede ser un problema si se encuentra en concentraciones elevadas (2022).

Weidner y Ciesielczyk nos dicen que los oxioaniones metálicos se caracterizan por su toxicidad, no biodegradabilidad y alta solubilidad en agua. Las concentraciones de boro en aguas subterráneas pueden variar ampliamente según la geología y la ubicación geográfica. En general, las concentraciones normales de boro en agua subterránea oscilan entre 0,5 y 3 mg/L. Sin embargo, en algunos casos, las concentraciones pueden ser más elevadas debido a la actividad humana, como la agricultura y la industria, que pueden liberar boro al medio ambiente. Sin embargo, el exceso de boro en el agua puede ser tóxico para los seres humanos y otros organismos acuáticos, y puede causar problemas de salud a largo plazo. Es importante controlar la contaminación del boro en las aguas subterráneas y mantener las concentraciones de boro dentro de los límites seguros para prevenir la toxicidad (2019).

Contaminación del Boro

Los investigadores asiáticos Li et al., nos relatan que la contaminación del boro en aguas subterráneas puede ocurrir debido a diferentes fuentes, como la agricultura, la minería, la industria y la actividad humana en general. El uso excesivo de fertilizantes que contienen boro, el vertido de residuos tóxicos que contienen boro, y la actividad minera pueden conducir a niveles de boro en aguas

subterráneas que superan los límites recomendados para la salud humana y el medio ambiente. Siendo que la intensa actividad humana a interrumpido su ciclo natural, siendo que el boro se puede encontrar en un estado de equilibrio durante casi un millón de años (2020).

La exposición al boro en aguas subterráneas puede ser perjudicial para la salud humana si se consumen en grandes cantidades, ya que puede causar problemas gastrointestinales, trastornos neurológicos y reproductivos. También puede ser perjudicial para la salud de los animales y las plantas que dependen de estas aguas.

Una vez más Goren et al., Para reducir la contaminación del boro en aguas subterráneas, es importante implementar medidas para controlar y monitorear las fuentes de contaminación, como la regulación de la agricultura y la industria, y la limpieza y el tratamiento de los sitios contaminados. Además, es importante realizar estudios de monitoreo y evaluación de la calidad del agua para detectar cualquier problema de contaminación temprano y tomar medidas para abordarlo (2022).

2.2. Procesos de Oxidación Avanzada

La oxidación avanzada (AOP, por sus siglas en inglés) nos dicen Wang et al., es un proceso de tratamiento de agua y aguas residuales que utiliza reacciones químicas para oxidar y degradar contaminantes. AOPs utilizan agentes oxidantes altamente reactivos, como el ozono, peróxido de hidrógeno o cloro, para romper las moléculas de contaminantes y convertirlas en compuestos menos tóxicos. Este proceso es efectivo en la eliminación de compuestos orgánicos persistentes (COPs), sustancias tóxicas productos químicos industriales, baja biodegradabilidad y otros contaminantes que pueden ser difíciles de tratar con otros métodos (2023).

Los procesos de oxidación avanzada (AOPs) también se aplican en el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas. Algunos de los AOPs más utilizados para el tratamiento de aguas subterráneas incluyen:

Oxidación por peróxido de hidrógeno (H₂O₂): este proceso utiliza el peróxido de hidrógeno para oxidar los contaminantes y convertirlos en compuestos menos tóxicos.

Oxidación por ozono (O₃): el ozono es un agente oxidante altamente reactivo que puede degradar eficazmente los contaminantes en aguas subterráneas.

Electro-oxidación: este proceso utiliza una corriente eléctrica para oxidar los contaminantes en agua.

Fotocatálisis con dióxido de titanio (TiO₂): este proceso utiliza la luz y el dióxido de titanio como catalizador para oxidar los contaminantes.

Fast et al., comentan que estos procesos son efectivos en la eliminación de contaminantes persistentes y tóxicos, como compuestos orgánicos, metales pesados y productos químicos industriales, que pueden estar presentes en aguas subterráneas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficacia de los AOPs puede verse afectada por factores como la composición química y la concentración de los contaminantes, así como por la presencia de materia orgánica y otros factores que pueden limitar la reactividad del agente oxidante (2017)

2.2.1. Fotocatálisis

La fotocatálisis es un proceso en el que se utiliza la luz para promover reacciones químicas que degradan o mineralizan compuestos tóxicos y contaminantes. La fotocatálisis puede ser heterogénea u homogénea, dependiendo del tipo de material fotocatalítico utilizado.

En la fotocatálisis heterogénea, se utiliza un material fotocatalítico sólido, como el dióxido de titanio (TiO₂), para promover la degradación de compuestos contaminantes en una solución. La luz visible o UV ilumina el material, generando electrones y huecos que participan en reacciones químicas con los compuestos contaminantes, causando su degradación.

La fotocatálisis homogénea implica la utilización de una solución con un compuesto fotocatalítico en disolución, como un complejo metal-orgánico, para promover la degradación de compuestos contaminantes. La luz visible o UV ilumina la solución, generando especies reactivas que participan en reacciones químicas con los compuestos contaminantes, causando su degradación.

Los autores Magallanes et al., recalcan que la fotocatalisis se utiliza comúnmente en la purificación del agua y en la remoción de compuestos tóxicos y contaminantes en el aire y en la superficie. Es una tecnología prometedora debido a su capacidad para degradar compuestos contaminantes sin la producción de residuos tóxicos secundarios (2017).

2.2.2. Fotocatálisis Heterogénea

La fotocatalisis heterogénea es un método que atiende los problemas emergentes como la purificación, desinfección de agua y remediación de desechos peligrosos. Este proceso se caracteriza por un fotocatalizador particulado suspendido en una disolución o puesto en contacto con un sustrato en una fase gaseosa y bajo irradiación con energía suficiente para producir la fotoexcitación. El cual, utiliza un material fotocatalítico sólido para promover la degradación de compuestos contaminantes en una solución. La luz visible o UV ilumina el material fotocatalítico, generando electrones y huecos que participan en reacciones químicas con los compuestos contaminantes, causando su degradación.

También Nevárez-Martínez et al., comentan que el material fotocatalítico utilizado en la fotocatalisis heterogénea suele ser un sólido inorgánico, como el dióxido de titanio (TiO_2), que es conocido por su alta eficacia en la degradación de compuestos orgánicos y su estabilidad en una amplia gama de condiciones ambientales (2017).

2.2.3. Parámetros que influyen en la Fotocatálisis Heterogénea

Los parámetros que influyen en la fotocatalisis heterogénea influyen en la eficacia de la reacción porque afectan la capacidad de los materiales fotocatalíticos para capturar y transportar luz, transferir electrones y degradar compuestos contaminantes. Estos parámetros incluyen el tipo de material fotocatalítico, su tamaño de partícula, la modificación superficial, la intensidad de la luz, el pH de la solución, la temperatura y el tiempo de reacción.

Tipo de material fotocatalítico: La selección de un material fotocatalítico adecuado es clave para lograr una alta eficacia en la degradación de compuestos contaminantes. El dióxido de titanio (TiO_2) es uno de los materiales fotocatalíticos más utilizados debido a su alta eficacia y estabilidad.

Tamaño de partícula: El tamaño de partícula de un material fotocatalítico puede influir en su capacidad para capturar y transportar luz, lo que afecta su actividad fotocatalítica.

Modificación superficial: La modificación superficial de un material fotocatalítico puede aumentar su actividad fotocatalítica al mejorar su capacidad para capturar y transportar luz y para transferir electrones.

Intensidad de luz: La intensidad de la luz utilizada en la fotocatalisis puede afectar la eficacia de la reacción fotocatalítica.

pH: El pH de la solución puede influir en la solubilidad y reactividad de los compuestos contaminantes y en la actividad fotocatalítica de un material fotocatalítico.

Temperatura: La temperatura puede influir en la reactividad química y en la actividad fotocatalítica de un material fotocatalítico.

Tiempo de reacción: El tiempo de reacción es un factor importante en la eficacia de la fotocatalisis heterogénea, ya que puede influir en la concentración y cantidad de compuestos contaminantes presentes en una solución.

También Nevárez-Martínez et al., dice que la optimización de estos parámetros es esencial para lograr una alta eficacia en la fotocatalisis heterogénea y para aplicaciones eficientes en la degradación de compuestos contaminantes en diferentes ambientes y condiciones (2017).

2.2.4. Dióxido de titanio (TiO₂)

Siguiendo con Nevárez-Martínez et al., el cual nos dice que el dióxido de titanio (TiO₂) es uno de los óxidos metálicos, su actividad fotocatalítica y sus propiedades; es considerado no tóxico, resistente a la corrosión y biocompatible. En presencia de radiación UV, las reacciones se producen en la superficie que permite generar especies reactivas como electrones y huecos que pueden provocar reacciones de reducción y oxidación (2017).

Par Li et al., el TiO₂ modificado tiene la capacidad mejorar su actividad fotocatalítica a partir de diferentes mecanismos, incluida la reducción de la brecha de

banda de los materiales a base de TiO_2 , la disminución de la probabilidad de recombinación entre el electrón y el hueco (2020).

2.2.4.1. Utilización del Dióxido de Titanio

La aplicación del Dióxido de titanio (TiO_2) como fotocatalizador dicen Nevárez-Martínez et al., ampliamente utilizado puede mejorar en gran medida la eficiencia de degradación de los contaminantes. Siendo modificado por diferentes materiales en el campo de la fotocatalisis por sus propiedades físicas y químicas en comparación con su estado puro (Li, R., Li, T., & Zhou, Q., 2020). En escala industrial aún requiere incrementar la eficiencia de las reacciones fotocatalíticas en su superficie, las mismas que dependen de los mecanismos de transferencia de masa, cargas e iones. Su importancia y el progreso de la fotocatalisis, se han reportado numerosos métodos de síntesis de nanopartículas de TiO_2 con diferentes propiedades y características (2017).

2.2.4.2. Mecanismos de Dióxido de titanio

Los mecanismos de dióxido de titanio (TiO_2) en la fotocatalisis heterogénea son procesos que describen cómo el TiO_2 interactúa con la luz y los compuestos contaminantes en la solución para causar su degradación. Estos mecanismos incluyen los siguientes:

Absorción de luz: El TiO_2 absorbe luz visible y UV, generando electrones y huecos en el material.

Generación de especies reactivas: Los electrones y huecos generados en la absorción de luz son transferidos a la superficie del material fotocatalítico, generando especies reactivas como los radicales hidroxilos ($\text{OH}\cdot$).

Reacción química: Las especies reactivas generadas en el paso anterior participan en reacciones químicas con los compuestos contaminantes en la solución, causando su degradación.

Transporte de electrones: El TiO_2 puede actuar como conductor de electrones, facilitando la transferencia de electrones entre la superficie del material y las especies reactivas en la solución.

Efecto de superficie: La superficie del TiO_2 puede ser modificada para mejorar su eficacia en la fotocatalisis, por ejemplo, mediante la incorporación de elementos como plata, cobre u otros metales.

Magalhaes et al., nos dicen que estos mecanismos pueden interactuar y afectarse mutuamente, y la eficacia de la fotocatalisis depende de varios factores, incluyendo la estructura cristalina del TiO_2 , la concentración y composición de los compuestos a ser degradados, y la calidad y longitud de onda de la luz incidente (2017).

2.2.4.3. Dióxido de titanio modificado con materiales no metálicos

Para Li et al., los materiales no metálicos utilizado para cargar TiO_2 se dividen en minerales posos no metálicos, vidrios, compuestos de carbono y poliméricos. Como es el tratamiento de aguas contaminadas los compuestos de minerales porosos presentar un área de superficie específica alta y adsorción. Desarrolla la formación del compuesto de minerales porosos no metálicos/nano- TiO_2 , el cual, los contaminantes poder ser adsorbidos a la superficie de nano- TiO_2 a través del intercambio iónico y aumentar la tasa de degradación con el contacto de los catalizadores con los contaminantes (2020).

2.2.4.4. Dióxido de titanio modificado con materiales no metálicos

Nuevamente Li et al., nos dicen que los materiales metálicos como es el acero inoxidable, la malla de níquel y la espuma de níquel es utilizado como portadores de TiO_2 . Los metales son utilizados como soporte siendo que la superficie del metal es similar a la del vidrio. Para la modificación incluyen metales de transición (Cr, Fe Y Cu), metales preciosos (Ag, Au y Pt) y otros como (Ce, La y Nd) (2020).

2.2.4.5. Estructuras del dióxido de titanio

Los autores Tiwari et al., comentan que el dióxido de titanio (TiO_2) puede existir en tres formas cristalinas diferentes: rutilo, anatasa y brookita. La estructura más común es el rutilo, seguida de la anatasa y brookita. Estas estructuras difieren en su arreglo espacial de átomos de titanio y oxígeno. La estructura cristalina de dióxido de titanio como las dos estructuras presentes en el dióxido de titanio, es decir, el rutilo

y la anatasa, tienen una cadena de octaedros de TiO_6 . En este cada Ti $4+$ está rodeado por un octaedro de seis $O^{(2-)}$ (2019).

3. MARCO LEGAL

En Perú, las concentraciones de boro en el medio ambiente están reguladas por la Ley General del Medio Ambiente (Ley N° 28736) y su Reglamento (Decreto Supremo N° 010-2014-MINAM). Esta ley establece límites para la presencia de boro en el agua, suelo y aire, así como para su uso en productos químicos y en la industria. La normativa establece los siguientes límites máximos permisibles para las concentraciones de boro en diferentes matrices ambientales; como en el agua potable (0,5 – 0,7 mg/L), agua residual (10 mg/L), suelo (10 mg/kg de suelo) y aire (no hay un límite específico establecido para la concentración de boro en el aire).

Además, la normativa peruana también establece la responsabilidad de las empresas y organizaciones en la gestión y control de las emisiones y descargas de boro al medio ambiente, así como en la adopción de medidas de prevención y control para minimizar sus impactos negativos en la salud humana y en el ecosistema.

El Ministerio del Ambiente dice que es importante destacar que la regulación y monitoreo de las concentraciones de boro en Perú es responsabilidad del Ministerio del Ambiente y las autoridades locales, y se realiza a través de programas de monitoreo ambiental y controles periódicos en los puntos de descarga y emisiones (2014).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tipo

La presente investigación es de tipo experimental con un enfoque cuantitativo.

1.2. Nivel

La presente investigación cuenta con un nivel experimental ya que manipula dos variables clasificándolas como independientes y dependientes las cuales se detallan a continuación.

1.3. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Cuadro de operacionalización de variables				
Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades	
Independiente	Diseño compacto del dióxido de titanio	Características físicas	Temperatura	°C
			Tiempo	minutos
			Talla	Mm
			Agitación	RPM
			Amperaje	A
			Volumen	Cm3
			Dióxido de titanio	Mg
			Aluminio	Kg
			Potencial redox	mV
				características químicas
Dependiente	Concentración de boro	características químicas	Concentración de boro	mg/L

2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación será del tipo “experimental cuantitativa” por lo que el diseño experimental se llevará a cabo pruebas de tipo ANOVA las cuales nos indicaran la veracidad de nuestros datos y determinar la eficiencia correcta de cada una de las pruebas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Determinación del área de estudio

Para realizar la delimitación primero se estudió la zona, en tal sentido se determinó la extensión geográfica del distrito de Socabaya; Encontrando sus limitaciones correspondientes, las cuales se detallan a continuación:

Por el Norte limita con el distrito de José Luis Bustamante Rivero, por el sur con el distrito de Yarabamba, por el este con los distritos de Mollebaya, Characato y Sabandia, por el oeste con el distrito de de Jacobo Hunter y la cadena de cerros que se extiende de sur a norte.

Posterior a ello se identificó mediante el uso de herramientas GIS la presencia de cuerpos de agua visualizándose en la figura 1.

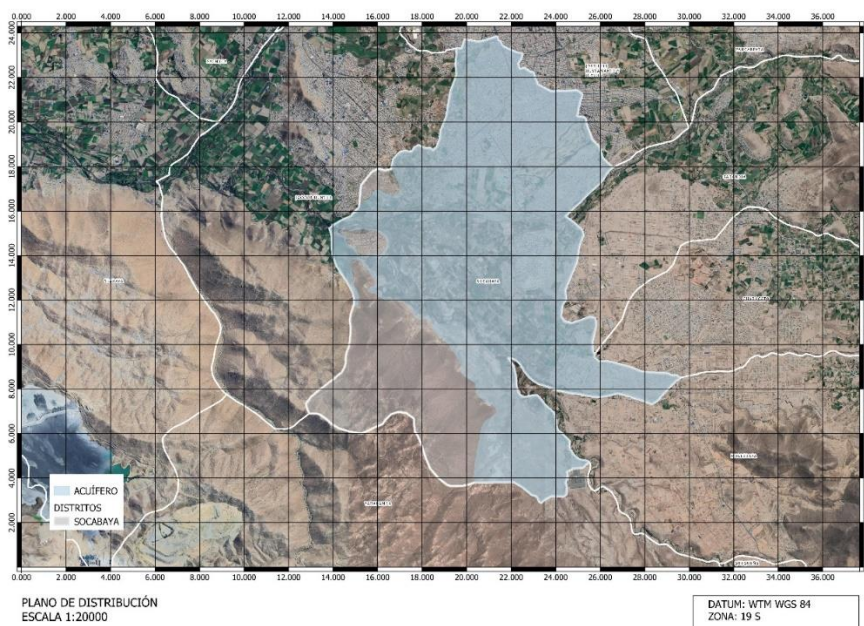


Figura 1: Mapa de cuerpos hídricos en el distrito de Socabaya

Fuente: ARCGIS

Como se observa en la figura anterior la presencia de agua subterránea el cual actualmente es explotada mediante posos de extracción para uso agrícola y uso en la construcción como se puede visualizar en la imagen 03 y 04. En tal sentido mediante una exploración verificada en el lugar se efectuó la realización de un mapa de ubicación del punto de monitoreo el cual se observa en la figura 02

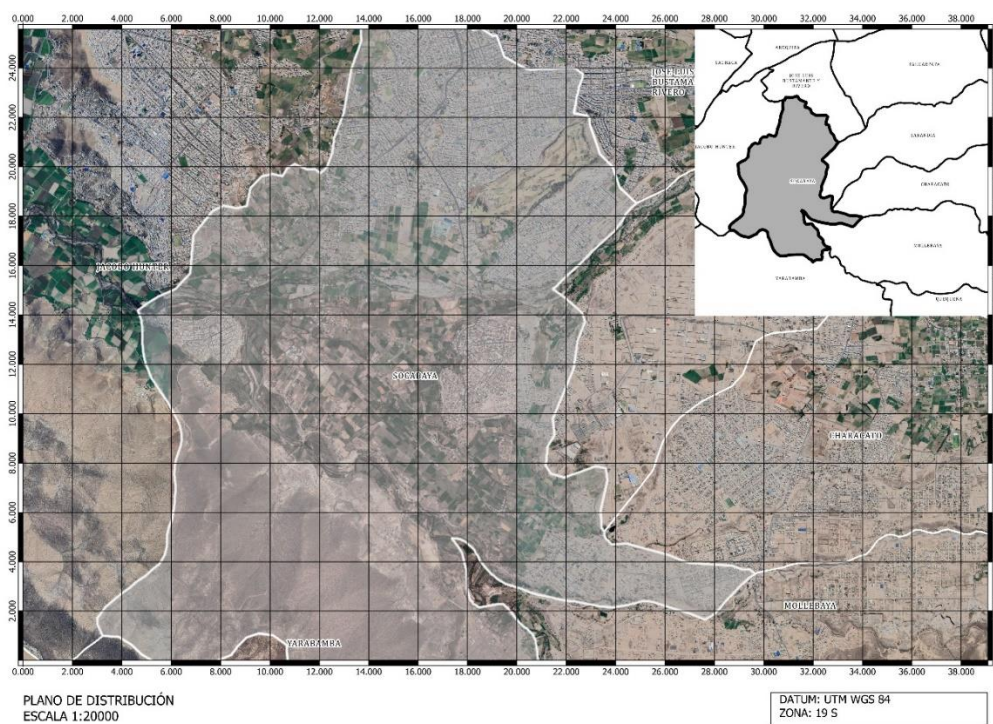


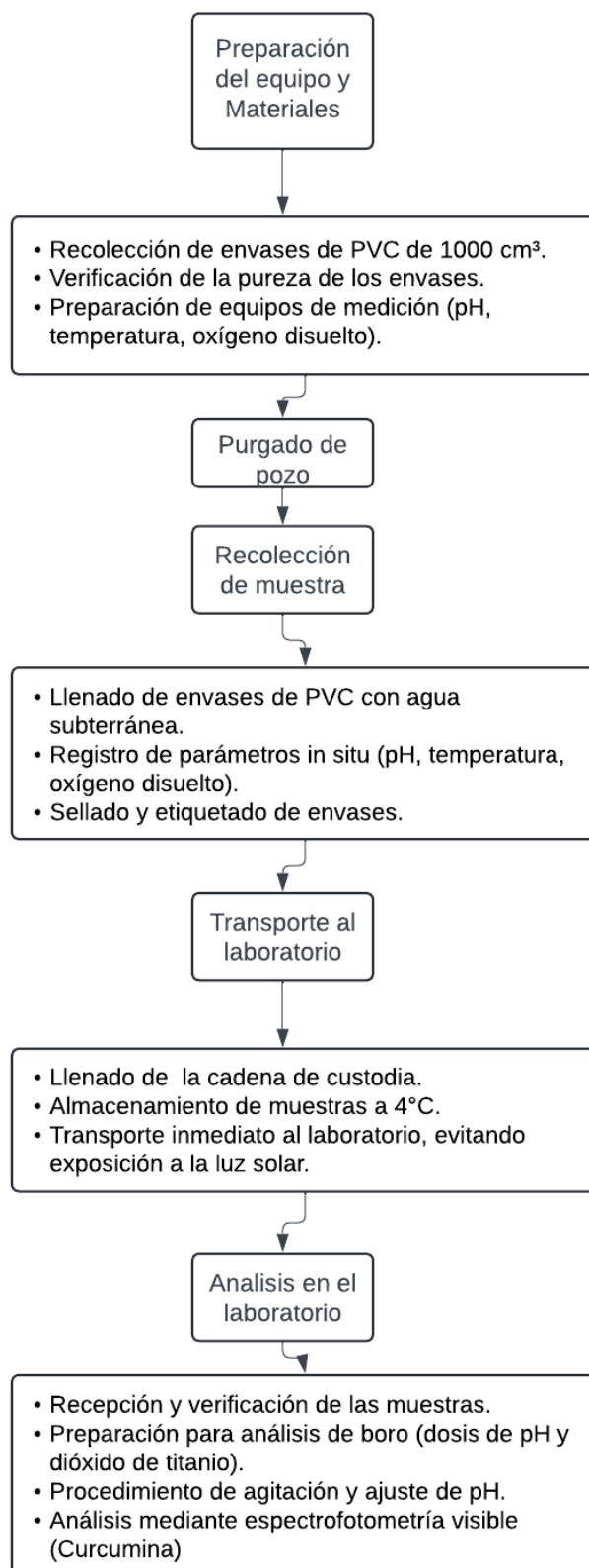
Figura 2: Mapa del punto de toma de muestras

Fuente: ARCGIS

3.1.1 Determinación de las concentraciones de boro a nivel laboratorio.

La fase de recolección de datos geoespaciales, crucial para el análisis, implicó la obtención de imágenes satelitales recientes. Se utilizaron recursos de la página GEOGPS, fundamental en la gestión de bases de datos geográficos e información sobre los diversos cuerpos de agua subterráneos situados en el distrito de Socabaya. Para este propósito, se recurrió a la base de datos de la Autoridad Nacional del Agua, considerando su relevancia y precisión en el registro de datos hidrográficos.

Diagrama de bloques de toma de muestra



Fuente: Elaboración propia

Metodología de detección de boro

Para la determinación de las concentraciones de boro se utilizó la metodología propuesta por Rivera & Arroyo, la recolección de muestras en aguas subterráneas se realizó a través de la captura de información pertinente. Se prepararon envases de PVC con una capacidad de 1000 cm³, y se procedió a purgar el pozo mediante perforación, asegurando la recolección de la muestra mediante la introducción lenta del envase para evitar la formación de burbujas en el recipiente. Durante este proceso, se registraron parámetros tales como el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto en el sitio de la perforación. Las muestras recogidas se almacenaron en una conservadora a 4°C y se mantuvieron alejadas de la luz solar directa (2019).

Para realizar la toma de muestras se procedió con la metodología propuesta por el MINAM el cual indica que para la toma de muestras se necesita ubicar un punto de remanso de extracción de agua. El mismo que fue ubicado con el aprovechamiento del recurso para la agricultura.



Figura 3: Toma de Muestras

Fuente: Elaboración propia

Luego se llevaron las muestras a las instalaciones de la oficina de calidad de la Universidad Católica de Santa María, donde se tomaron 250 ml de muestra a las cuales se aplicaron diferentes dosis de pH y dióxido de titanio, sirviendo este último como absorbente. Se empleó un equipo de Prueba de Jarras, agitándolo durante 45 minutos a 200 rpm. El ajuste del pH se realizó con hidróxido de sodio (NaOH) al 5%, garantizando que se mantuviera dentro del rango de 8.9 a 10. Para determinar la concentración de boro, se utilizó el método de Curcumina mediante espectrofotometría visible.

Obtención de la curcumina

Para la obtención de la curcumina, se pesaron 50 g de cúrcuma, que previamente pasó por un proceso de molienda para obtener un polvo fino. Luego, se horneó a una temperatura de 80 a 90°C. En un matraz de 250 ml se agregaron 200 ml de alcohol etílico como solvente para la cúrcuma, y se filtró la mezcla para separar el extracto de la cúrcuma de los sólidos no deseados. Finalmente, se llevó a cabo una evaporación controlada en un matraz aforado, obteniendo un residuo concentrado que contenía la curcumina. Se extrajeron 50 ml de curcumina y 25 g de ácido oxálico, los cuales se disolvieron en 350 ml de alcohol etílico al 96°. Luego, se realizó el proceso de agitación en un rango de 5 a 7 minutos para homogeneizar la solución. Posteriormente, se añadieron 21 ml de ácido clorhídrico, la solución se filtró y se almacenó en un recipiente de vidrio a una temperatura de 2 a 5°C.

Para determinar una solución estándar de Boro a 1000 ppm, se pesaron 5.70 g de ácido bórico (H_3BO_3) y se vertieron en una fiola de 1 L. Se agregaron 200 ml de agua destilada y se agitó hasta disolver el ácido. Para obtener la solución estándar de Boro a 10 ppm, se extrajo 1 ml de la solución estándar de 1000 ppm y se vertió en una fiola de 100 ml, llenándola a volumen con agua destilada.

Para la curva de calibración, se tomaron alícuotas de 4, 14, 24, 34, 44 y 54 ml, que se vertieron en una fiola de 100 mL y se llenaron a volumen con agua destilada. Luego, se homogeneizaron y se transfirieron a envases de plástico. De cada envase, se extrajo 1 ml de muestra y se preparó un blanco. Para las demás muestras, se añadieron 4 ml de curcumina, se homogeneizaron y se sometieron a baño maría a 55°C hasta eliminar

la sequedad. Los envases se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se les añadió 10 ml de alcohol etílico, agitando suavemente con una varilla de polietileno.

Finalmente, las soluciones fueron trasvasadas a fioles de 25 ml y se llenaron a volumen con alcohol etílico. Se midió la absorbancia de las soluciones y del blanco mediante un espectrofotómetro UV/visible a una longitud de onda de 540 nm.

En cuanto a la determinación del prototipo con dióxido de titanio, las masas evaluadas de dióxido de titanio fueron de 0.5, 1 y 1.5 g. Este fue disuelto en las muestras obtenidas de cromo VI, agitándose suavemente con una varilla de polietileno hasta obtener un aspecto lechoso. Para llevar a cabo el proceso de electrólisis, se utilizaron placas de aluminio, cables tipo caimán, voltímetro y amperímetro para el paso de corriente. Uno de los cables se conectó a la placa de aluminio, mientras que el otro se sumergió en el agua, con un voltaje aproximado de 30 V. El proceso de electrocatalisis tuvo una duración aproximada de 1 hora.

En el primer paso de este proceso, se pesaron 750 mg de Curcumina y 25 g de ácido oxálico. La mezcla se disolvió en 350 ml de alcohol etílico al 96° y se agitó durante cinco minutos. Luego, se añadieron 21 ml de ácido clorhídrico, se filtró la solución y se almacenó en un recipiente de vidrio a una temperatura de 2 a 5°C.

En el segundo paso, se preparó una solución estándar de boro a 1000 ppm, pesando 5.70 g de ácido bórico (H_3BO_3) y vertiéndolo en una fiola de 1 L. Se agregaron 200 ml de agua destilada y se agitó hasta disolver el ácido. Para obtener la solución estándar de boro a 10 ppm, se extrajo 1 ml de la solución estándar de 1000 ppm y se vertió en una fiola de 100 ml, llenándola a volumen con agua destilada.

En el tercer paso, se llevó a cabo una curva de calibración tomando alícuotas de 1, 2.5, 5, 7.5 y 10 ml, vertiéndolas en una fiola de 100 ml, y llenándolas a volumen con agua destilada. Estas muestras se homogeneizaron, se trasladaron a envases de plástico y se extrajo 1 ml de muestra para preparar un blanco. Para las demás muestras, se agregaron 4 ml de curcumina, se homogeneizaron y se sometieron a baño maría a 55°C hasta eliminar la sequedad. Posteriormente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se añadieron 10 ml de alcohol etílico, agitando suavemente con una varilla de polietileno.

Finalmente, las soluciones se trasladaron a fioles de 25 ml, se llenaron a volumen con alcohol etílico y se midió la absorbancia de las soluciones y del blanco mediante un espectrofotómetro UV/visible a una longitud de onda de 540 nm.

Diseño experimental

Para el diseño experimental se presenta las siguientes afirmaciones:

Pre-test: En este apartado verificaremos la concentración de boro presente en las muestras de agua subterránea el cual supera los ECAs ocasionando daños al ambiente y a la agricultura aledaña. Para determinar la eficiencia de los resultados de remoción de boro del prototipo se utilizaron un análisis ANOVA para la remoción del mismo y de los parámetros obtenidos.

Experimento: Para reducir la concentración del boro, primero se realizará una curva de calibración para determinar la remoción de boro obtenido para ello utilizaremos un sistema de oxido reducción para determinar la eficiencia de remoción de dióxido de titanio y en lo posterior mejorar la eficiencia de remoción de boro mediante una aleación de aluminio y dióxido de titanio con la finalidad de aumentar la eficiencia de remoción del contaminante y su aplicabilidad insitu del lugar mediante un modelo de prototipo 3D.

Instrumento.

Se tomarán en cuenta lo siguiente instrumentos y materiales:

Materiales de laboratorio

- Fioles de 25mL, 100mL y 1L.
- Pipetas 1mL, 2mL y 10mL.
- Kit de monitoreo de agua subterránea
- Vasos precipitados de 250 ml
- Fioles de 25 ml, 100ml y 1000ml
- Pipetas 1ml, 2ml y 10 ml

Reactivos

- Ácido bórico
- Acido oxálico
- Curcumina
- Ácido clorhídrico
- Alcohol etílico
- Agua destilada
- Dióxido de titanio
- Hidróxido de sodio

Soluciones

- Ácido bórico 1000 ppm; 10 ppm; 0,1 ppm; 0,25 ppm; 0,5 ppm; 0,75 ppm y 1,0 ppm.
- Hidróxido de sodio 5%

Equipos

- pH-metro portátil
- Baño maría
- Prueba de jarras
- Espectrofotómetro UV-VIS modelo DR 2800
- Balanza Analítica Mettler Toledo
- Agitador magnético
- Voltímetro
- Amperímetro

Preparación de la solución estándar de boro

Se realizó el análisis de masa del ácido bórico H_3BO_3 extrayendo 5.71 gramos, el mismo que fue trasvasado en una fiola de 1 litro en lo que se enrazo a 200 ml con agua destilada, posterior al proceso se procedió a realizar una agitación mecánica para la obtención de una mezcla homogénea

Calculo ingenieril

Tabla 2

Calculo ingenieril

Compuesto	Peso molecular	Formula
Ácido bórico	61.82 g/mol	H_3BO_3
Boro	10.81 g/mol	B

A partir de la tabla anterior se consignan datos extraídos de cada compuesto químico con la finalidad de calcular el peso de ácido bórico y obtener una concentración conocida de 1000gB/L a partir de la siguiente formula:

$$mH_3BO_3 = \frac{PMH_3BO_3 X wB}{PMB}$$

Donde:

mH_3BO_3 : cantidad de masa de ácido bórico a pesar para la obtención de 1000Bmg/L

PMH_3BO_3 : peso molecular del ácido bórico

wB : peso del boro (1g)

PMB : peso molecular del boro

Se reemplazaron los valores de la ecuación anterior y se obtuvo lo siguiente:

$$mH_3BO_3 = \frac{61.83gH_3BO_3 X 1gB}{10.81gB} = 5.71gH_3BO_3$$

Para realizar la concentración conocida, como se pudo observar en la ecuación anterior se procedió a pesar $5.71gH_3BO_3$ y para llegar a la concentración de 1000gB/L se

disolvió en un volumen de 1000ml resultando una concentración base de 1000 PPM a partir de esta concentración se procedió a realizar la preparación de la solución estándar.

Preparación de la solución estándar

Tomando la concentración base de 1000 PPM de boro, se procedió a realizar una solución estándar de 10 PPM de boro, como se muestra en la figura N°

Figura 4: *Obtención de la solución estándar de boro a 10 PPM*

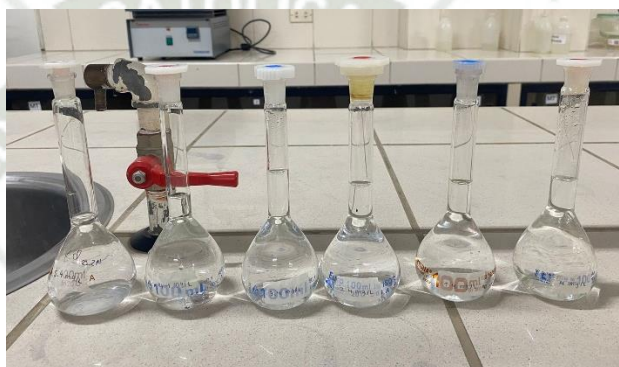


Figura 5: *Solución estándar de 1000 ppm en 1L.*



Figura 6: *Análisis de curcumina*



Figura 7: *Curcumina en baño maría*



Como se pudo observar en la figura anterior se tomó una alícuota de 1 ml y se llevó a una fiola de 100 para realizar la solución estándar de 10 PPM de boro.

Preparación estándar para la curva de calibración

Para la preparación de las soluciones estándar se procedió a tomar alícuotas en un volumen constante como muestra la siguiente tabla.

Tabla 3

Preparación de soluciones estándar

Alícuota	Volumen de enrasado	Concentración
1 ml	100 ml	0.1 ppm
2.5 ml	100 ml	0.25 ppm
5 ml	100 ml	0.5 ppm
7.5 ml	100 ml	0.75ppm

10 ml	100 ml	1 ppm
-------	--------	-------

Elaboración de la curva de calibración

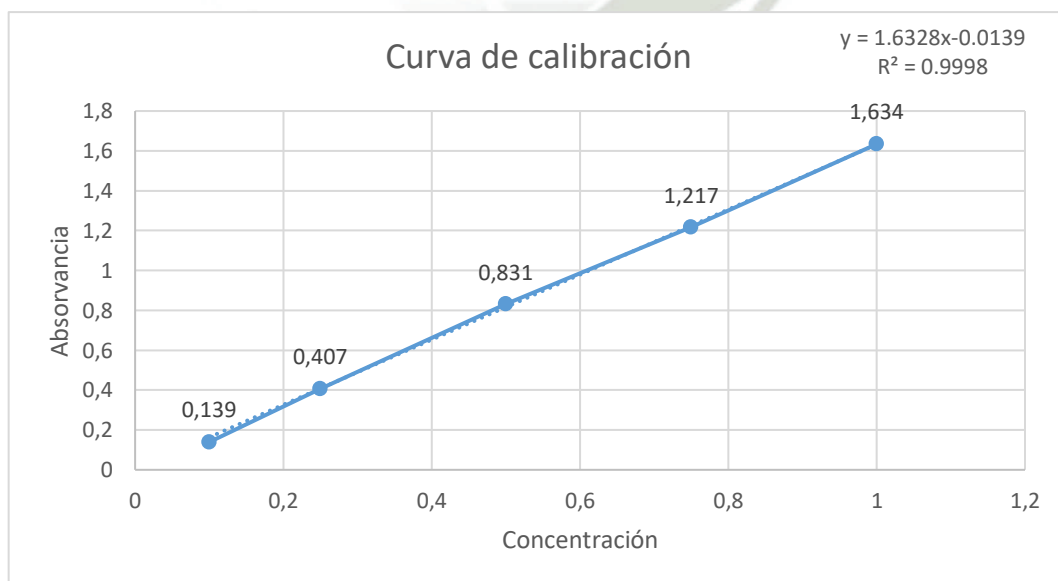
Se elaboró la curva de calibración en base a las soluciones estándar preparadas (0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1) ppm, comprobando la absorbancia según la longitud de onda medida en nanómetros (nm). Los datos obtenidos a partir de la siguiente actividad se detallan en el cuadro siguiente:

Tabla 4

Determinación de la absorbancia del boro

Ensayo	Concentración estándar de B	Absorbancia en nm
1	0.1 ppm	0.139
2	0.25 ppm	0.407
3	0.5 ppm	0.831
4	0.75 ppm	1.217
5	1 ppm	1.634

Figura 8: *Curva de calibración experimental de boro*



Como se puede observar en el gráfico anterior se posee la curva de calibración la cual nos permitirá determinar las concentraciones de boro eliminadas mediante el proceso planteado.

Por otro lado, en la figura anterior mediante la curva de calibración se obtiene la ecuación de la recta

$$y=1.6328x-0.0139$$

$$R^2 = 0.9998$$

Se procedió a calcular la remoción de boro de la siguiente manera:

$$C_e = \frac{\text{absorbancia} + 0.0139}{1.6512}$$

Ejemplo de cálculo

$$C_e = \frac{2.164 + 0.0139}{1.6512} = 1.319 \text{ mg/L}$$

Preparación de los estándares y las muestras

Para la preparación de los estándares se tomó 1 ml de cada solución estándar (0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1) ppm colocándolo en vasos precipitados de 250 ml.

Al término se agregó 4ml del reactivo de curcumina, en el cual se homogenizó y se llevó a baño maría a una temperatura entre 50 y 55°C durante una hora.

Se observó un residuo seco, posterior a ello se agregó 10 ml de alcohol etílico al 96% y con apoyo de una varilla de vidrio se logró homogenizar la muestra para obtener la forma para la calibración de boro como se observa en la figura N°

Figura 9: *Obtención del boro para la curva de calibración*



Figura 10: *Solución estándar de 1000 ppm en 1L.*



Figura 11: Análisis de curcumina**Figura 12: Curcumina en baño maría**

Como se observa en la figura anterior esta obtención nos permitirá evaluar el proceso de remoción de Boro.

3.2. Evaluación de las variables que implican en la eficacia del prototipo con dióxido de titanio.

Para la determinación de los parámetros óptimos se tomó en cuenta la metodología propuesta por Rivera & Arroyo (2019), detallados a continuación:

- **pH óptimo**

Se realizó el experimento con tres valores de pH, optando por valores de 8, 9 y 10.

- **Tiempo de agitación**

Se agitó la muestra durante 15, 30 y 45 minutos, para evaluar la efectividad de la agitación.

- **Masa de absorbente**

Las masas evaluadas de dióxido de titanio fueron de (0.5, 1 y 1.5) g.

Cabe resaltar que las pruebas se realizaron en vasos precipitados que contenían 250 ml de muestra y que fueron agitados a 200 rpm. Para medir la efectividad de cada una de las variables, se tuvo en consideración la concentración de Boro determinada en aguas subterráneas.

3.3. Establecer de la eficiencia del prototipo mediante un análisis comparativo

Para Sartori el método comparativo tiene como objetivo la búsqueda de similitudes y disimilitudes. Dado que la comparación se basa en el criterio de homogeneidad; siendo la identidad de clase el elemento que legitima la comparación, se compara entonces lo que pertenece al mismo género o especie. Las disimilaridades se presentan como lo que diferencia a la especie de su género, y esto no es lo mismo que señalar las variaciones internas de una misma clase; por lo cual se requiere de un trabajo sistemático y riguroso que implique la definición previa de las propiedades y los atributos posibles de ser comparados (1984).

El método comparativo es una herramienta que, a partir de una serie de pasos estructurados, permite comparar y analizar dos o más elementos, con el objetivo de probar una hipótesis o alcanzar un conocimiento novedoso.

En resumidas cuentas, este consiste en hacer comparaciones sistemáticas entre variables (dos o más), que permitan determinar relaciones en términos matemáticos.

Según el estudio de Haddadi et al., la eficiencia del prototipo se midió a partir del porcentaje de remoción de boro utilizando la siguiente fórmula (2022):

$$Eficiencia(\%) = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100$$

Donde:

C_i : es la concentración inicial de boro en mg/L

C_f : es la concentración final del boro en mg/L

3.4. Recreación un prototipo 3D reductor a base de dióxido de titanio con técnicas de aleación metálica.

Sigcha planteó la elaboración de una deposición electroforética (EPD), en la cual se produjeron microestructuras y nanoestructuras. A través de las aleaciones de metales, en este caso, el dióxido de titanio y el aluminio, se pudo generar capas de depósito de contaminantes, ya que estos presentaban carga eléctrica, lo que generó una deposición electroforética anódica y catódica. En el caso de que la carga fuera negativa, la deposición se realizó en el ánodo; por otro lado, si la carga era positiva, la deposición se hizo en el cátodo (2020).

Además, se elaboró un diseño 3D a escala real en Autodesk Revit versión 2017 y Lumion versión 6.5.1 Pro. Para ello, se desarrolló un plano en AUTOCAD 2D para exportarlo y tener las medidas exactas, con la finalidad de diseñar a escala real cómo se instalaría el prototipo en un proyecto de tratamiento de aguas subterráneas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RESULTADOS

1.1. Determinación las concentraciones de boro a nivel laboratorio.

Para el análisis de la muestra y verificación de resultados se llevaron a analizar al laboratorio de la universidad Católica de Santa María el mismo que se encuentra acreditada por INACAL en el análisis para la determinación de metales totales se consideraron los siguientes Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Silice, Sodio, Talio, Titanio, Vanadio, Zinc la metodología utilizada y validada por INACAL utilizada fue la siguiente “Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994”.

Tabla 5*Análisis de metales presentes en el agua subterránea*

Análisis	Unidades	Resultado
Ag	mg/L	0.000
Al	mg/L	0.000
As	mg/L	0.024
B	mg/L	0.005
Ba	mg/L	0.008
Be	mg/L	0.004
Ca	mg/L	103.500
Cd	mg/L	0.000
Co	mg/L	0.015
Cr	mg/L	0.004
Cu	mg/L	0.002
Fe	mg/L	0.000
K	mg/L	52.030
Li	mg/L	0.171
Mg	mg/L	43.640
Mn	mg/L	0.065
Mo	mg/L	0.001
Na	mg/L	208.100
Ni	mg/L	0.004
P	mg/L	0.396
Pb	mg/L	0.005

Sb	mg/L	0.000
Se	mg/L	0.006
Si	mg/L	30.210
Sn	mg/L	0.015
Sr	mg/L	0.989
Ti	mg/L	0.004
Tl	mg/L	0.009

Como podemos observar en la tabla anterior en el barrido de los metales se puede observar que los valores más altos visualmente son calcio, potasio, magnesio, sodio y silicio el cual nos indica que el agua subterránea tiene una dureza muy alta. Los resultados obtenidos demuestran el estudio realizado por Cerón et al., el cual menciona que la presencia de calcio, potasio, magnesio, sodio y silicio en aguas subterráneas se debe principalmente a la disolución de minerales en el agua que se filtra a través de rocas y suelos. El calcio y el magnesio provienen de minerales como calcita, yeso y dolomita. El potasio y el sodio se liberan por la alteración de minerales como feldespatos y micas, y también a través de la disolución de sales como la halita. El silicio, por su parte, se origina de la disolución de minerales silíceos como el cuarzo. Estos elementos se encuentran en el agua debido a procesos geológicos y químicos naturales que ocurren en el subsuelo (2021).

En base a la tabla anterior se realizó la comparación de los metales analizados y comparados con los estándares de calidad ambiental ECAs para determinar los metales que exedan estos valores obteniendo los siguientes resultados en la tabla 6:

Tabla 6
Comparación de barrido con los ECAs

Análisis	Unidades	Resultado	ECAs	Cumple
Ag	mg/L	0.000	-	-
Al	mg/L	0.000	0.9	Si cumple
As	mg/L	0.024	0.01	No cumple
B	mg/L	3.005	2.45	No cumple
Ba	mg/L	0.008	0.7	Si cumple
Be	mg/L	0.004	0.012	Si cumple
Ca	mg/L	103.500	-	-
Cd	mg/L	0.000	0.003	Si cumple
Co	mg/L	0.015	-	-
Cr	mg/L	0.004	0.05	Si cumple
Cu	mg/L	0.002	2	Si cumple
Fe	mg/L	0.000	0.3	Si cumple

K	mg/L	52.030	-	-
Li	mg/L	0.171	-	-
Mg	mg/L	43.640	-	-
Mn	mg/L	0.065	0.4	Si cumple
Mo	mg/L	0.001	0.07	Si cumple
Na	mg/L	208.100	-	-
Ni	mg/L	0.004	0.07	Si cumple
P	mg/L	0.396	-	-
Pb	mg/L	0.005	0.01	Si cumple
Sb	mg/L	0.000	0.02	Si cumple
Se	mg/L	0.006	0.04	Si cumple
Si	mg/L	30.210	-	-
Sn	mg/L	0.015	-	-
Sr	mg/L	0.989	-	-
Ti	mg/L	0.004	-	-
Tl	mg/L	0.009	-	-

Como se puede observar en la tabla 6 al realizar la comparación con los ECAs los parámetros que sobrepasaron los niveles son el Boro y el Arsénico de los 28 valores evaluados. Este comportamiento se evidencia según el estudio realizado por Chucuya et al., (2022).

Tabla 7

Comparación de los ECAs, según parámetros



Como se observa en la tabla 7, el boro y el arsénico pueden sobrepasar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en aguas subterráneas de áreas con geomorfología volcánica debido a su presencia natural en rocas y cenizas volcánicas. En estos entornos, la alteración hidrotermal y la meteorización de las rocas liberan estos elementos, que son solubilizados en las aguas subterráneas. Factores como el pH y la temperatura también afectan la movilidad del boro y el arsénico, especialmente en aguas ácidas propias de zonas volcánicas. Estas condiciones aumentan la solubilidad y movilidad de estos elementos,

elevando su concentración en el agua más allá de los límites considerados seguros por los ECAs, lo que puede representar riesgos para la salud y el medio ambiente.

Por otro lado, se puede observar en la tabla anterior que determinados compuestos no se encuentran dentro de los parámetros, como se pudo observar se encuentran 13 parámetros no evaluados o no incluidos dentro de los ECAs, por lo que la presencia de calcio, potasio y silicio son excesivas. Según la OMS el contenido elevado de estos compuestos involucra una elevada concentración de sales que representan un riesgo no solo para la agricultura y el suelo, más bien también para el sistema de regadío ocasionando taponamientos en dichos sistemas mediante el proceso de precipitaciones.

DISCUSIÓN PRIMERA: El análisis realizado en el laboratorio confirmó que las concentraciones de boro en aguas subterráneas del distrito de Socabaya superan los estándares de calidad ambiental con un valor de 3.002mg/L, por ello el estudio realizado por Khan et al. sobre contaminación de metales pesados en aguas subterráneas de Arabia Saudita evidencia la misma problemática en la ciudad de Arequipa en el distrito de Socabaya (2022). Sin embargo, el estudio de Khan se centró en un análisis amplio de metales pesados, el proyecto actual se especializa en la remoción de boro utilizando un prototipo innovador a base de dióxido de titanio, mostrando un enfoque más especializado en la solución de problemas específicos de contaminación, por otra parte Cerón et al., menciona que la presencia de calcio, potasio, magnesio, sodio y silicio en aguas subterráneas se debe principalmente a la disolución de minerales en el agua que se filtra a través de rocas y suelos. El calcio y el magnesio provienen de minerales como calcita, yeso y dolomita. El potasio y el sodio se liberan por la alteración de minerales como feldespatos y micas, y también a través de la disolución de sales como la halita. El silicio, por su parte, se origina de la disolución de minerales silíceos como el cuarzo. Estos elementos se encuentran en el agua debido a procesos geológicos y químicos naturales que ocurren en el subsuelo. Por estos estudios se coincide con los valores obtenidos a partir de los estudios mencionados. (2021)

DISCUSIÓN SEGUNDA: En cuanto a la remoción de boro existen diferentes avances recientes en materiales y tecnologías de membranas para la eliminación de boro Este estudio se destacó por evaluar las tecnologías de membranas emergentes como la ósmosis directa (FO), ultrafiltración mejorada con polímeros (PEUF), filtración por adsorción de membrana (MAF), y destilación de membrana (MD), destacando su

potencial en la remoción eficiente de boro de las aguas. A diferencia del enfoque basado en tecnologías de membrana de Tang Y. et al., que se centra en la separación física y química para eliminar el boro, el estudio actual adopta una estrategia de adsorción utilizando dióxido de titanio con una efectividad del 74.47%, proporcionando una alternativa potencialmente más sostenible y económica, particularmente útil en contextos con recursos limitados.

1.2. Evaluación de las variables que implican en la eficacia del prototipo con dióxido de titanio.

Con los parámetros anteriores se inició con la medición de la eficiencia de remoción de boro. Cabe resaltar que cada prueba fue realizada por triplicado para la veracidad de cada experimento y disminuir el rango de error.

Tabla 8

Tabla de remoción de boro conforme al dióxido de titanio

PH	Tiempo de agitación	Masa de absorbente	Estándar de boro ppm	Concentración removida de boro	Promedio	% de remoción
8	15	0.5	1.000	0.6438	0.6438	64.33
		1		0.6040		60.40
		1.5		0.6237		62.37
8	30	0.5	1.000	0.5161	0.5160	51.61
		1		0.4958		49.58
		1.5		0.5061		50.61
8	45	0.5	1.000	0.6847	0.6881	68.47
		1		0.6851		68.51
		1.5		0.6945		69.45
9	15	0.5	1.000	0.5436	0.5440	54.36
		1		0.5445		54.45
		1.5		0.5439		54.39
9	30	0.5	1.000	0.5327	0.5440	53.27
		1		0.5330		53.30
		1.5		0.5439		54.39
9	45	0.5	1.000	0.5436	0.5440	54.36
		1		0.5445		54.45
		1.5		0.5439		54.39
10	15	0.5	1.000	0.6466	0.6166	64.66
		1		0.6034		60.34
		1.5		0.5998		59.98
10	30	0.5	1.000	0.5898	0.5829	58.98
		1		0.5799		57.99
		1.5		0.5790		57.90
10	45	0.5	1.000	0.7447	0.7397	74.47
		1		0.7334		73.34

1.5

0.7410

74.10

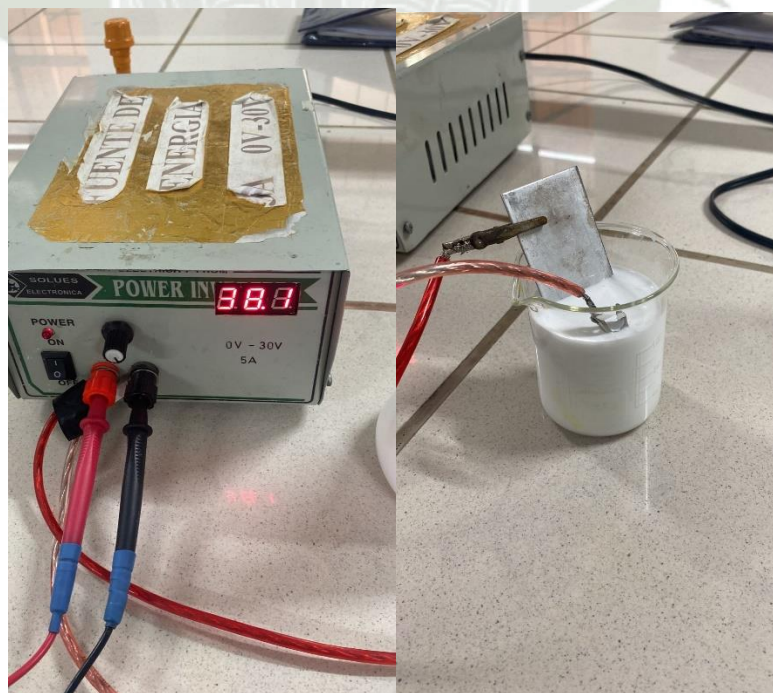
Como se puede observar en la tabla 8 la mayor remoción de boro se encuentra a un PH de 10 y con una masa de 0.5 gramos de dióxido de titanio en un tiempo estimado de 45 minutos.

1.2.1. Aumento de la eficiencia de la aplicación de dióxido de titanio acoplado a lámina de aluminio

Para maximizar la eficiencia de remoción de boro en aguas subterráneas se procedió a realizar un proceso de aleación electroquímica, el cual mediante un análisis de afinidad eléctrica se procedió a elegir una placa de aluminio con un área de 30 cm^2 y un espesor de 4mm.

Se realizó la disolución de 1g de dióxido de titanio en 250 ml de agua destilada, para la aleación del nuevo material se procedió a colocar como ánodo la placa de aluminio y un cátodo cable de cobre, los mismos que se conectan a un voltímetro con una capacidad de 33 voltios medidos en un amperímetro como se muestra en la siguiente figura:

Figura 13: Sistema de aleación electroquímica



Como se pudo observar en la figura 13 el proceso electroquímico se inicia con el dióxido de titanio en solución 1g con un voltaje de 33V con un tiempo aproximado de 3 horas.

Luego del transcurso de 3 horas se procedió a secar la lámina de aluminio con base de dióxido de titanio quedando como se observa en la figura N° 14.

Figura 14: Aleación de aluminio con dióxido de titanio



DISCUSIÓN TERCERA: La aleación basada en dióxido de titanio y una placa de aluminio mediante electrocátalisis, aplicando un voltaje de 30 voltios, ha demostrado ser un método altamente efectivo para la remoción de boro en soluciones acuosas. Los resultados obtenidos, con una remoción de boro del 82.03% en un tiempo de 60 minutos, los mismos que son mas eficientes que los presentados por Akpinar et al., si bien este estudio se enfoca en la química de superficie y la adsorción mediante columnas modificadas, el proyecto actual explora el uso de dióxido de titanio como medio adsorbente, enfatizando la importancia de desarrollar materiales eficaces y accesibles para la purificación del agua.

Ambos estudios contribuyen al desarrollo de tecnologías avanzadas para la remoción de boro, aunque desde perspectivas y metodologías distintas (2021).

1.3. Determinación la eficiencia del prototipo mediante un análisis cuantitativo.

Se determinó la eficiencia del nuevo prototipo armado en base a la placa de aluminio y su aleación con el dióxido de titanio. Por lo que la eficiencia se midió en la tabla siguiente por triplicado con la muestra de agua residual:

Cálculo del porcentaje de remoción:

Se aplicó la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de remoción del prototipo propuesto en determinados tiempos:

$$\%de\ remoci3n = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100$$

$$\%de\ remoci3n = \frac{(2.55 - 1.78)}{2.55} \times 100 = 30.19\%$$

Tabla 9

Tabla de remoción de boro conforme al dióxido de titanio

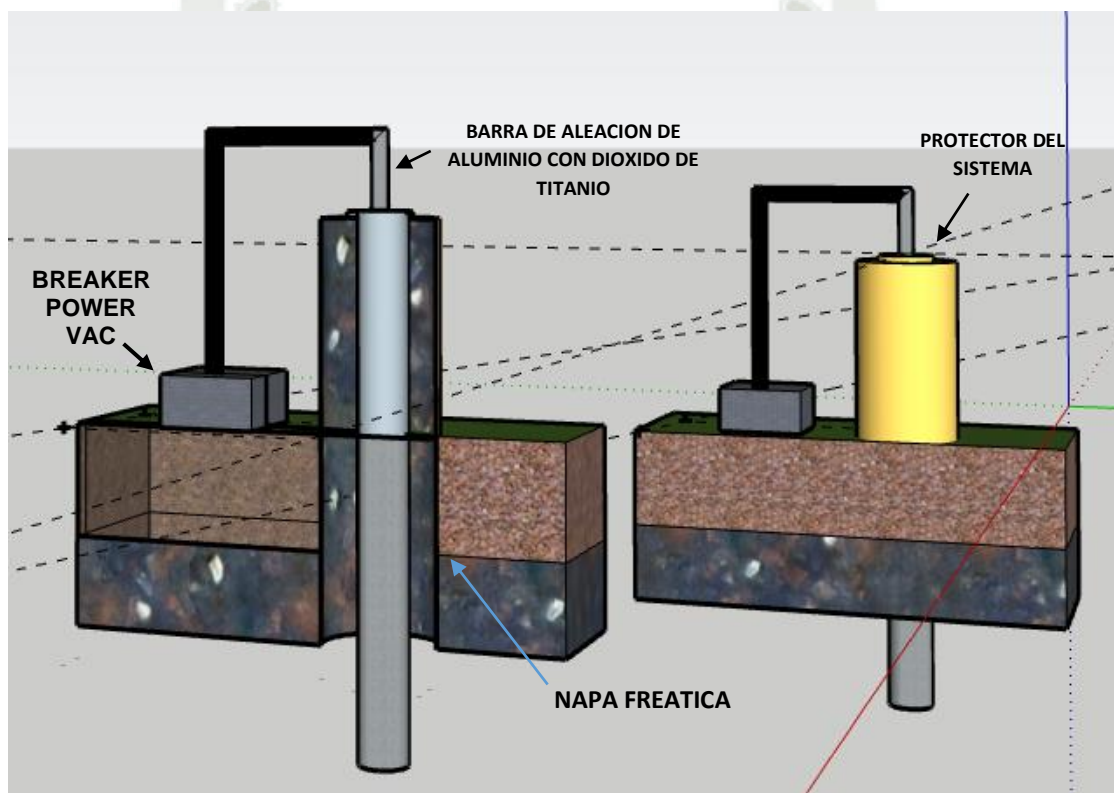
Tiempo de tratamiento en minutos	Concentración de B del agua subterránea	Concentración de B después del tratamiento	Porcentaje de remoción de B	Promedio del porcentaje de remoción de B
10	2.45 mg/l	1.78 mg/l	30.19%	29.8%
		1.80 mg/l	29.41%	
		1.80 mg/l	29.41%	
30	2.45 mg/l	1.12 mg/l	54.28%	54.00%
		1.14 mg/l	53.46%	
		1.12 mg/l	54.28%	
60	2.45 mg/l	0.45 mg/l	81.63%	82.03%
		0.43 mg/l	82.44%	
		0.45 mg/l	81.63%	

Como se puede observar en la tabla 9 el tiempo de remoción más efectivo demuestra su efectividad en un 82.03% el cual demuestra ser eficiente para la remoción de Boro.

1.4.Recreación de un prototipo 3D reductor a base de dióxido de titanio con técnicas de aleación metálica.

Para la recreación de un prototipo a escala se evaluó que el agua subterránea se extrae a partir de pozos de extracción por lo que se presenta los planos en anexos y el prototipo levantado a una escala 3D se observa en la figura 15:

Figura 15: *Prototipo en software 3D a escala real*



Como se puede observar en la figura anterior se encuentra forrado con un tubo de aluminio con aleación de dióxido de titanio unido a un par de cables que proveerán electricidad para el proceso en cantidades adecuados y su almacenamiento para su liberación cada hora después del tratamiento. Las especificaciones se encuentran en el anexo 4.

No obstante, es un prototipo a escala el cual se podrá implementar en las diferentes zonas agrarias donde se extrae el agua subterránea.

Por ultimo las limitaciones que se encontró en la presente investigación se detallan a continuación: Para la toma de muestras se requirió de conversaciones previas con los

agricultores aledaños, otro aspecto a considerar como una limitación fue la obtención del reactivo de curcumina el mismo que la universidad no posee, por lo que se requirió adquirirlo de laboratorios procedentes de la capital (Lima).

DISCUSIÓN CUARTA: Uno de los desafíos más significativos en la investigación y desarrollo de nuevos prototipos para el tratamiento de aguas es su escalabilidad y aplicabilidad en contextos reales. Aunque el prototipo basado en dióxido de titanio muestra resultados prometedores en laboratorio para la remoción de boro, es esencial considerar los factores que influirán en su desempeño a una escala mayor. Estudios anteriores han resaltado la importancia de evaluar no solo la eficiencia de remoción de contaminantes, sino también la viabilidad económica, la facilidad de operación y mantenimiento, y el impacto ambiental de la tecnología propuesta. En este sentido, la discusión se enriquece al considerar cómo se pueden superar estos desafíos mediante el diseño optimizado del prototipo, pruebas piloto en situaciones reales y la integración de sistemas de monitoreo y control que aseguren su eficacia y sostenibilidad a largo plazo.

DISCUSIÓN QUINTA: Una de las limitaciones del prototipo en términos de escalabilidad, los costos y la disponibilidad de materiales pueden aumentar significativamente, y la producción en masa podría enfrentar desafíos técnicos y financieros. La eficiencia observada en el laboratorio podría no replicarse a gran escala debido a las variaciones en las condiciones operativas y en las características del agua subterránea, lo que afecta la remoción del boro. El mantenimiento y la durabilidad del prototipo también son preocupantes, ya que el uso continuo puede desgastar los materiales, requiriendo reemplazos frecuentes y mantenimiento regular, lo cual es un desafío logístico y económico. La integración con los sistemas actuales de extracción de agua subterránea podría necesitar modificaciones adicionales, y la necesidad de una fuente de energía estable podría ser complicada en áreas con infraestructura energética limitada.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- PRIMERA:** La ciudad de Arequipa, al estar ubicada en una zona volcánica, presenta una composición de suelos que naturalmente contiene elevadas concentraciones de boro. Esta presencia de boro en los suelos puede contaminar el agua subterránea de manera natural, ya que el boro es un elemento químico que se encuentra en ciertas rocas volcánicas y puede lixiviar hacia las capas freáticas. Esta contaminación natural del agua subterránea con boro puede tener implicaciones para la salud pública y el medio ambiente, ya que se evidenció una concentración de 3mg/l de boro el cual está por encima de los Estándares de calidad ambiental. Por lo tanto, es importante realizar un monitoreo constante de la calidad del agua subterránea en Arequipa y ubicar en los mismos para la implementación del prototipo de óxido reducción y disminuir sus concentraciones de boro.
- SEGUNDA:** Por otro lado la experimentación con la remoción de boro utilizando dióxido de titanio a partir de la curva de calibración y los resultados obtenidos indica que la mayor eficiencia de remoción de boro se logra utilizando 1 gramo de dióxido de titanio a un pH de 10 y un tiempo de tratamiento de 45 minutos. Este hallazgo sugiere que estas condiciones específicas son críticas para alcanzar una remoción efectiva del boro en las concentraciones estudiadas (0.1 mg/l, 0.25 mg/l, 0.5 mg/l, 0.75 mg/l y 1 mg/l). Es importante destacar que este tipo de información es valiosa para la optimización de procesos de remoción de contaminantes en el agua, ya que permite determinar las condiciones óptimas de tratamiento.
- TERCERA:** Por otra parte, la utilización de una aleación basada en dióxido de titanio y una placa de aluminio mediante electrocatálisis, aplicando un voltaje de 30 voltios, ha demostrado ser un método altamente efectivo para la remoción de boro en soluciones acuosas. Los resultados obtenidos, con una remoción de boro del 82.03% en un tiempo de 60 minutos, destacan la eficacia de esta técnica en la purificación del agua contaminada con boro. Estos resultados son alentadores y sugieren que esta estrategia tiene el potencial

de ser una solución viable para abordar problemas de contaminación del agua por boro en diversas aplicaciones.

CUARTA: La creación del prototipo a escala 3D con una estructura de metal basada en un tubo de aluminio con aleación de dióxido de titanio y una fuente de energía de 30 voltios se presenta como una solución prometedora para su implementación en pozos de extracción de agua subterránea. Esta combinación de materiales y fuente de energía ofrece la posibilidad de mejorar la eficiencia y la efectividad en la extracción de agua subterránea, lo que podría tener un impacto positivo en la disponibilidad de este recurso vital. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este prototipo debe ser sometido a pruebas y validaciones adicionales antes de su implementación en aplicaciones reales para asegurar su rendimiento y fiabilidad en condiciones prácticas.

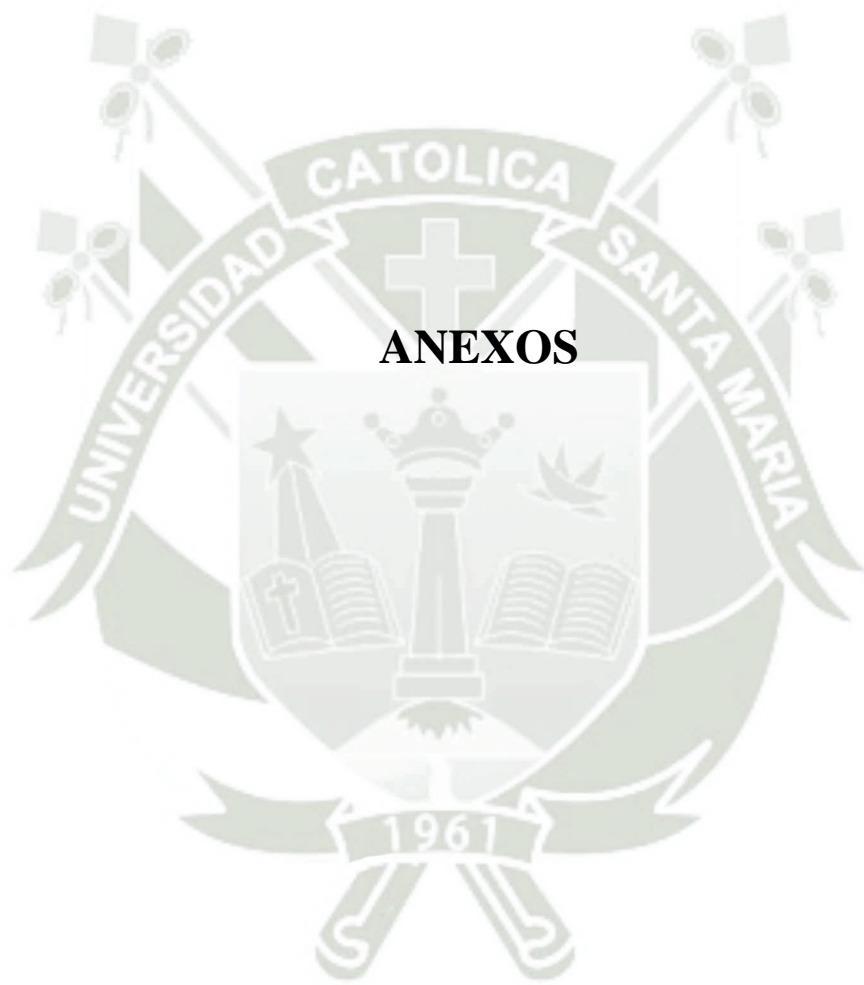
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akpınar, Ş., Koçyiğit, H., Gürbüz, F., & Odabaşı, M. (2021). Boron removal from aqueous solutions by polyethyleneimine- Fe³⁺ attached column adsorbents. *Environmental Research and Technology*, 4(4), 369-376. doi:10.35208/ert.913229
- Bai, M., Zhang, C., Bai, Y., Wang, T., Qu, S., Qi, H., . . . Zhang, C. (2022). Occurrence and health risks of heavy metals in drinking water of self-supplied wells in northern china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19) doi:10.3390/ijerph191912517.
- Capitão, A., Santos, J., Barreto, A., Amorim, M. J. B., & Maria, V. L. (2022). Single and mixture toxicity of boron and vanadium nanoparticles in the soil annelid *enchytraeus crypticus*: A multi-biomarker approach. *Nanomaterials*, 12(9) doi:10.3390/nano12091478
- Censi, V., Zuddas, P., Sposito, F., Cangemi, M., Inguaggiato, C., & Piazzese, D. (2022). Boron and lithium behaviour in river waters under semiarid climatic conditions. *Chemosphere*, 306 doi:10.1016/j.chemosphere.2022.135509.
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Información tecnológica*, 32(1), 47-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>.
- Chucuya, S., Vera, A., Pino-Vargas, E., Steenken, A., Mahlkecht, J., & Montalván, I. (2022). Hydrogeochemical characterization and identification of factors influencing groundwater quality in coastal aquifers, case: La yarada, tacna, peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5) doi:10.3390/ijerph19052815.
- Dydo, P., & Turek, M. (2013). Boron transport and removal using ion-exchange membranes: A critical review. *Desalination*, 310, 2-8. doi:10.1016/j.desal.2012.08.024.
- Fast, S. A., Gude, V. G., Truax, D. D., Martin, J., & Magbanua, B. S. (2017). A critical evaluation of advanced oxidation processes for emerging contaminants removal. *Environmental Processes*, 4, 283-302. <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0207-1>.

- Goren, A. Y., Recepoglu, Y. K., Karagunduz, A., Khataee, A., & Yoon, Y. (2022). A review of boron removal from aqueous solution using carbon-based materials: an assessment of health risks. *Chemosphere*, 133587. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133587>.
- Haddadi, E., Gujar, J. G., & Sonawane, S. S. (2022). Kinetics and isotherm studies for the adsorption of boron from water using titanium dioxide. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1002/cjce.24429>.
- Hernandez Franco, L. L., & Godoy Diaz, N. (2021). Aprovechamiento, caracterización y potabilización de aguas subterráneas en la provincia del Alto Magdalena, caso de estudio Girardot-Cundinamarca (Doctoral dissertation).
- Hou, D., Wang, J., Sun, X., Luan, Z., Zhao, C., & Ren, X. (2010). Boron removal from aqueous solution by direct contact membrane distillation. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 613-619. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.076>.
- Hussain, A., Sharma, R., Minier-Matar, J., Hirani, Z., & Adham, S. (2019). Application of emerging ion exchange resin for boron removal from saline groundwater. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 100906. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100906>.
- Ivanyutin, N. M., Podovalova, S. V., & Dzhaparova, A. M. (2022). Integral assessment of drinking water from underground sources of the salgir river basin. [Интегральная оценка питьевых вод из подземных источников бассейна реки Салгир] *Gigiena i Sanitariya*, 101(5), 493-502. doi:10.47470/0016-9900-2022-101-5-493-502.
- Kadam, A., Wagh, V., Jacobs, J., Patil, S., Pawar, N., Umrikar, B., . . . Kumar, S. (2022). Integrated approach for the evaluation of groundwater quality through hydro geochemistry and human health risk from shivganga river basin, pune, maharashtra, india. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4311-4333. doi:10.1007/s11356-021-15554-2.
- Khan, M. Y. A., El Kashouty, M., Gusti, W., Kumar, A., Subyani, A. M., & Alshehri, A. (2022). Geo-temporal signatures of physicochemical and heavy metals pollution in groundwater of khulais Region—Makkah province, saudi arabia. *Frontiers in Environmental Science*, 9 doi:10.3389/fenvs.2021.800517.

- Kluczka, J., Dudek, G., Pudło, W., Kazek-Kęsik, A., & Turczyn, R. (2021). Boron removal by sorption on modified chitosan hydrogel beads. *Materials*, 14(19) doi:10.3390/ma14195646.
- Li, L., Wang, Y., Gu, H., Lu, L., Li, L., Pang, J., & Chen, F. (2022). The genesis mechanism and health risk assessment of high boron water in the zhaxikang geothermal area, south tibet. *Water (Switzerland)*, 14(20) doi:10.3390/w14203243.
- Li, R., Li, T., & Zhou, Q. (2020). Impact of titanium dioxide (TiO₂) modification on its application to pollution treatment—a review. *Catalysts*, 10(7), 804. <https://doi.org/10.3390/catal10070804>.
- Liu, X., Xu, C., Chen, P., Li, K., Zhou, Q., Ye, M., . . . Lu, Y. (2022). Advances in technologies for boron removal from water: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17) doi:10.3390/ijerph191710671.
- Lukasik, M., & Dabrowska, D. (2022). Groundwater quality testing in the area of municipal waste landfill sites in dibrowa górnicza (southern poland). *Environmental and Socio-Economic Studies*, 10(1), 13-21. doi:10.2478/environ-2022-0002.
- Magalhaes, P., Andrade, L., Nunes, O. C., & Mendes, A. (2017). Titanium dioxide photocatalysis: Fundamentals and application on photoinactivation. *Reviews on Advanced Materials Science*, 51(2).
- Nevárez-Martínez, M. C., Espinoza-Montero, P. J., Quiroz-Chávez, F. J., & Ohtani, B. (2017). Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO₂. *Avances en Química*, 12(2-3), 45-59. ISSN: 1856-530.
- Otálvaro, M. V. V., Pimienta, C. O., & Quintero, M. C. V. (2011). Las aguas subterráneas. Un enfoque práctico.
- Rivera Meza, R. G., & Arroyo Muñoz, E. S. (2019). Evaluación de dióxido de titanio como removedor de boro proveniente de aguas subterráneas del manto acuífero del Distrito de Socabaya.
- Rodríguez-Álvarez, M., Paz, S., Hardisson, A., González-Weller, D., Rubio, C., & Gutiérrez, Á. J. (2022). Assessment of toxic metals (al, cd, pb) and trace elements (B, ba, co, cr,

- cu, fe, mn, mo, li, zn, ni, sr, V) in the common kestrel (*Falco tinnunculus*) from the canary islands (Spain). *Biological Trace Element Research*, 200(8), 3808-3818. doi:10.1007/s12011-021-02974-x.
- Sahuquillo, A., Custodio, E., & Llamas, M. R. (2009). La gestión de las aguas subterráneas. *Tecnología del agua*, 305, 60-67.
- Sigcha Pallo, C. L. (2020). Estudio de la degradación de diclofenaco en medio acuoso mediante fotoelectrocatalisis empleando un fotoánodo de diamante dopado con boro (BDD) modificado con dióxido de titanio (TiO₂) (Bachelor's thesis, Quito, 2020.).
- Skoczko, I., Piekutin, J., Szatyłowicz, E., & Niedźwiecka, M. (2016). Removal of boron from groundwater by filtration through selected filter bed materials. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 861-872. ISSN 1506-218.
- Tiwari, A., Shukla, A., Tiwari, D., Choi, S. S., Shin, H. G., & Lee, S. M. (2019). Titanium dioxide nanomaterials and its derivatives in the remediation of water: Past, present and future. *Applied Chemistry for Engineering*, 30(3), 261-279. <https://doi.org/10.14478/ace.2019.1035>.
- Vizcarra, B. A. R. (2018). CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA REGIÓN SUDOCCIDENTAL DE LA REGIÓN AREQUIPA, ENTRE LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10844/SEraviba.pdf?sequence=1>.
- Wang, H., Wang, Y., & Dionysiou, D. D. (2023). Advanced Oxidation Processes for Removal of Emerging Contaminants in Water. *Water*, 15(3), 398. <https://doi.org/10.3390/w15030398>.
- Weidner, E., & Ciesielczyk, F. (2019). Removal of hazardous oxyanions from the environment using metal-oxide-based materials. *Materials*, 12(6), 927. <https://doi.org/10.3390/ma12060927>.
- Yang-Zhou, C. -, Cao, J. -, Dong, S. -, Chen, S. -, & Michael, R. N. (2022). Phosphorus co-existing in water: A new mechanism to boost boron removal by calcined oyster shell powder. *Molecules*, 27(1) doi:10.3390/molecules27010054.



Anexo 1: Análisis físico químico de metales presentes en la muestra de agua subterránea



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA31G23.004931

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Fernando Ignacio Martínez Mamani
Dirección del cliente : Urb La Planicie H-2 Sachaca
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Fernando Martínez
Descripción de la muestra : Agua Subterránea

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1500 mL
Fecha de recepción : 31/07/2023
Fecha de ejecución de ensayo : 31/07/2023 al 03/08/2023
Fecha de emisión de informe : 04/08/2023
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sílice, Sodio, Talio, Titanio, Vanadio, Zinc)
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/L	0,000
Al	mg/L	0,000
As	mg/L	0,024
B	mg/L	0,005
Ba	mg/L	0,008
Be	mg/L	0,004
Ca	mg/L	103,500
Cd	mg/L	0,000
Co	mg/L	0,015
Cr	mg/L	0,002
Cu	mg/L	0,023
Fe	mg/L	0,000
K	mg/L	52,030
Li	mg/L	0,171
Mg	mg/L	43,640
Mn	mg/L	0,065
Mo	mg/L	0,001
Na	mg/L	208,100
Ni	mg/L	0,004
P	mg/L	0,396
Pb	mg/L	0,005
Sb	mg/L	0,000
Se	mg/L	0,006
Si	mg/L	30,210
Sn	mg/L	0,015
Sr	mg/L	0,989
Tl	mg/L	0,004
Ti	mg/L	0,009

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Scanned with CamScanner

Anexo 2: Análisis físico químico , determinación de metales totales (Boro)



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
 AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA08H23.004954

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Fernando Martínez Mamani
Dirección del cliente : Urb La Planicie H-2 Sachaca
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Fernando Martínez Mamani
Descripción de la muestra : Muestras de agua varios

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 25 mL
Fecha de recepción : 08/08/2023
Fecha de ejecución de ensayo : 08/08/2023 al 11/08/2023
Fecha de emisión de informe : 14/08/2023
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (Boro) Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry EPA Method 200.7 Rev. 4.4 1994	UNIDADES	RESULTADO
Muestra 10 min	mg/L	15,610
Muestra 15 minutos	mg/L	2160,200
Muestra 60 min	mg/L	359,24

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



Q.F. Ricardo A. April Ramírez
COFDA 00624
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC

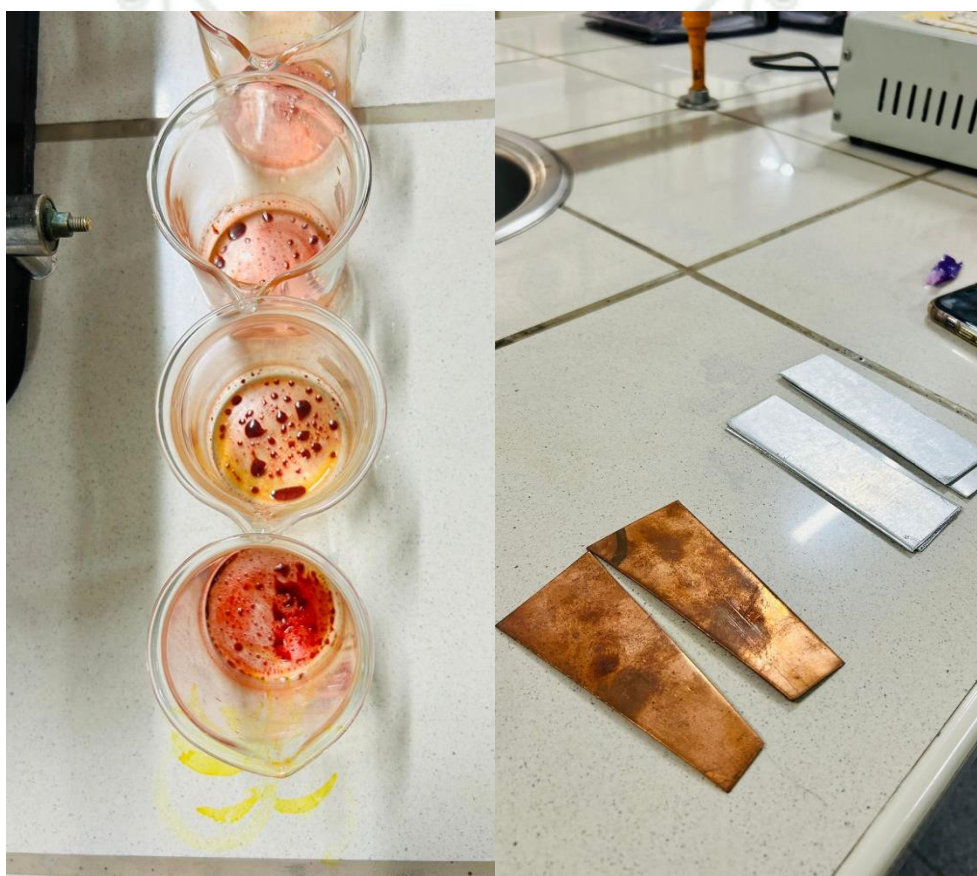
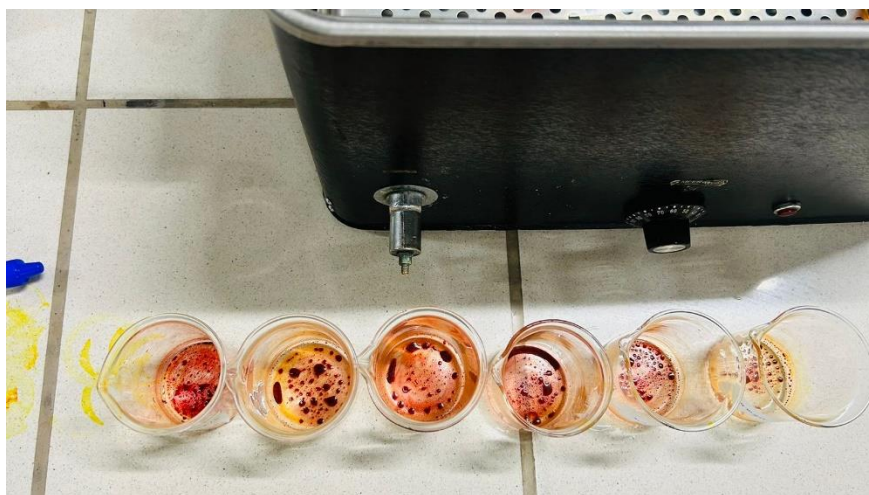


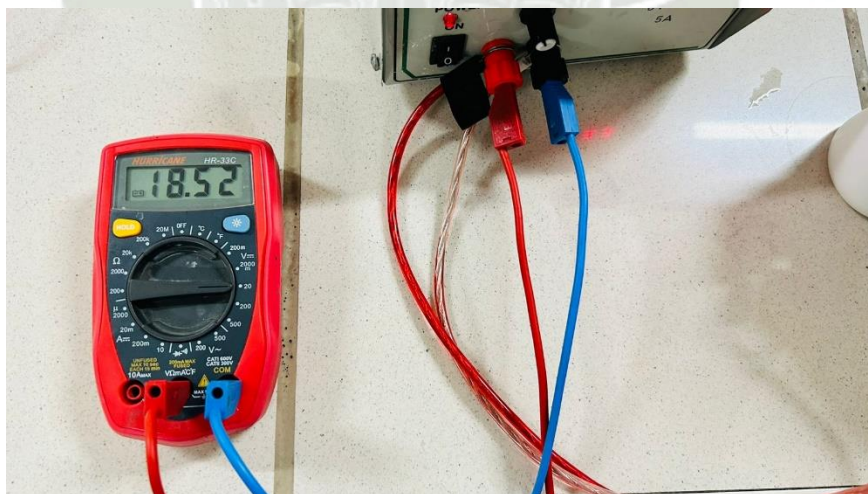
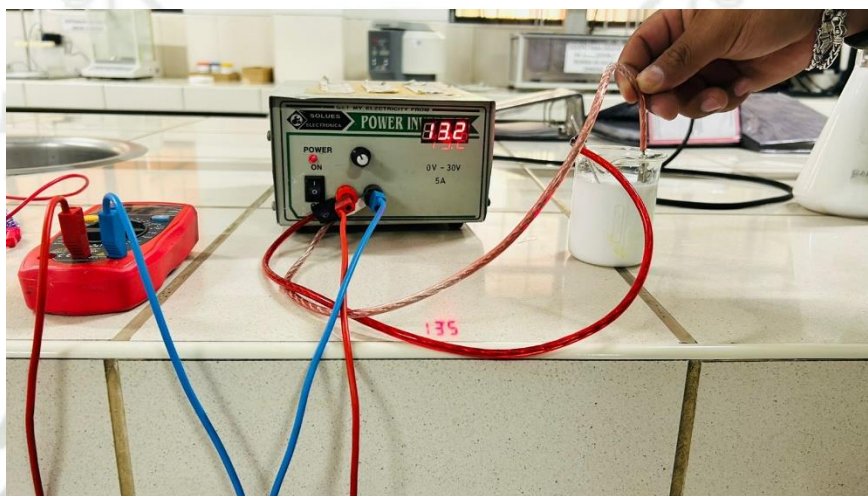
Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

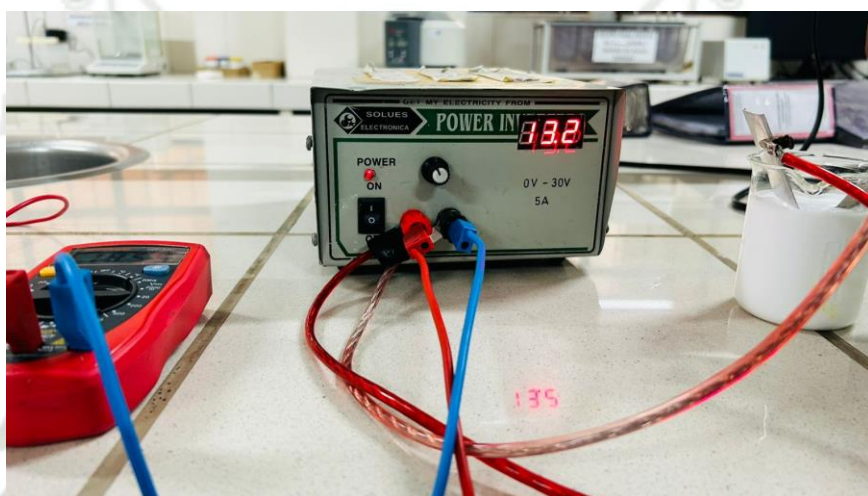
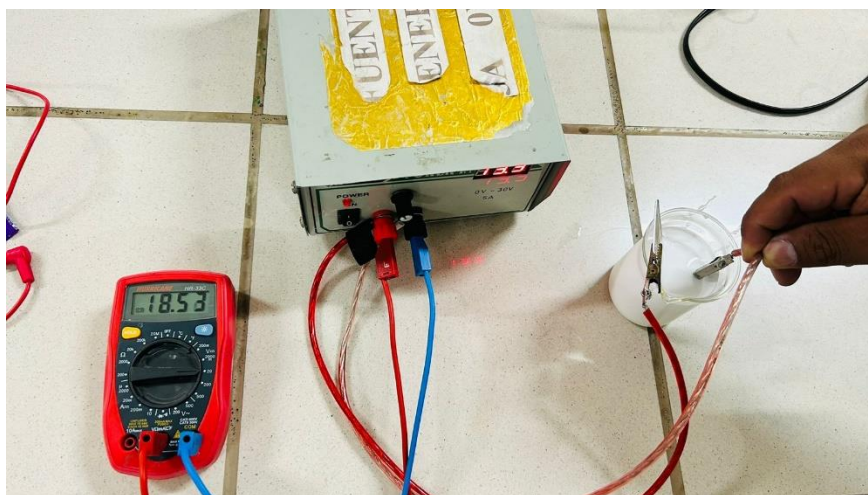
Anexo 3: Fotografías

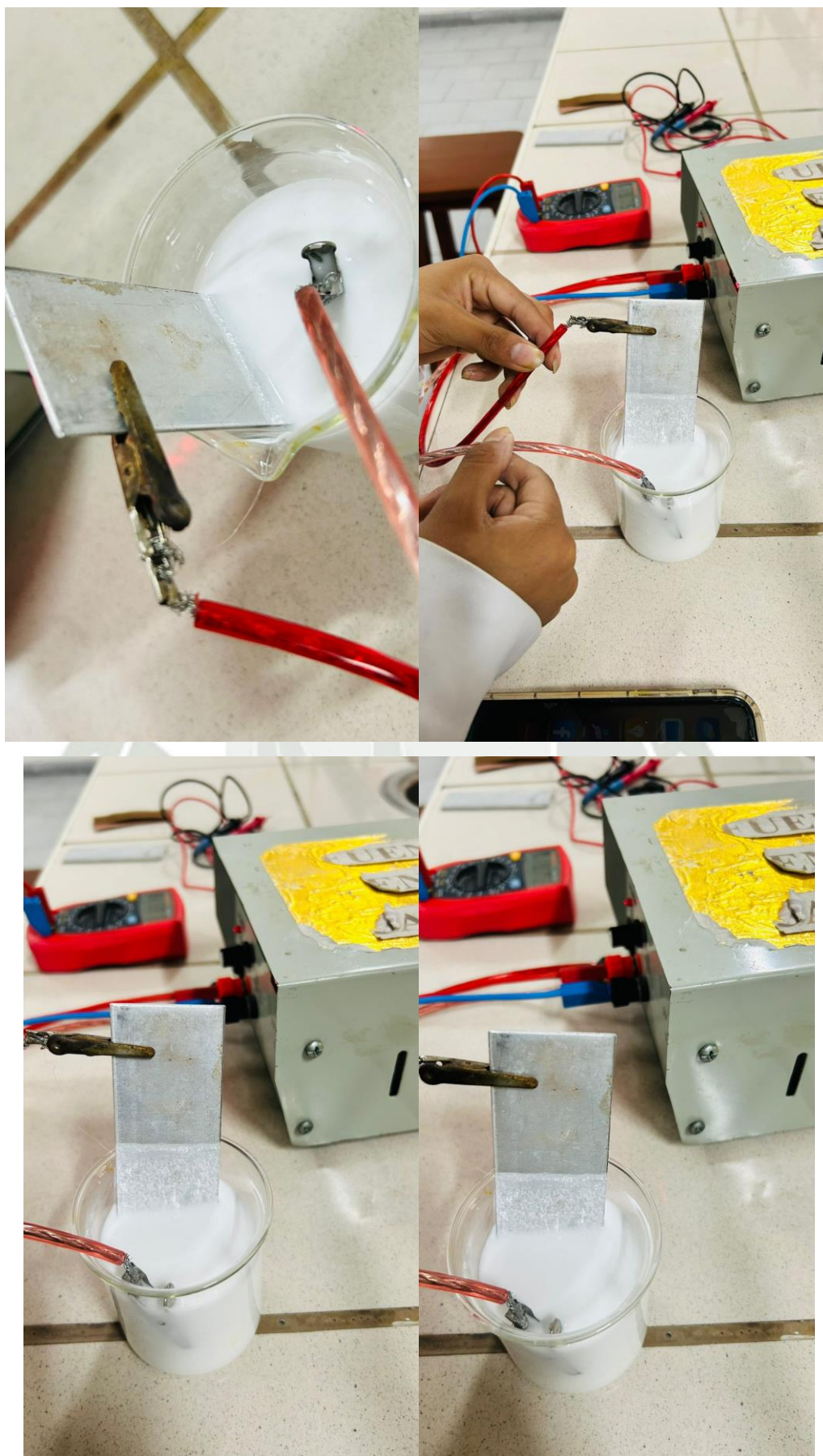


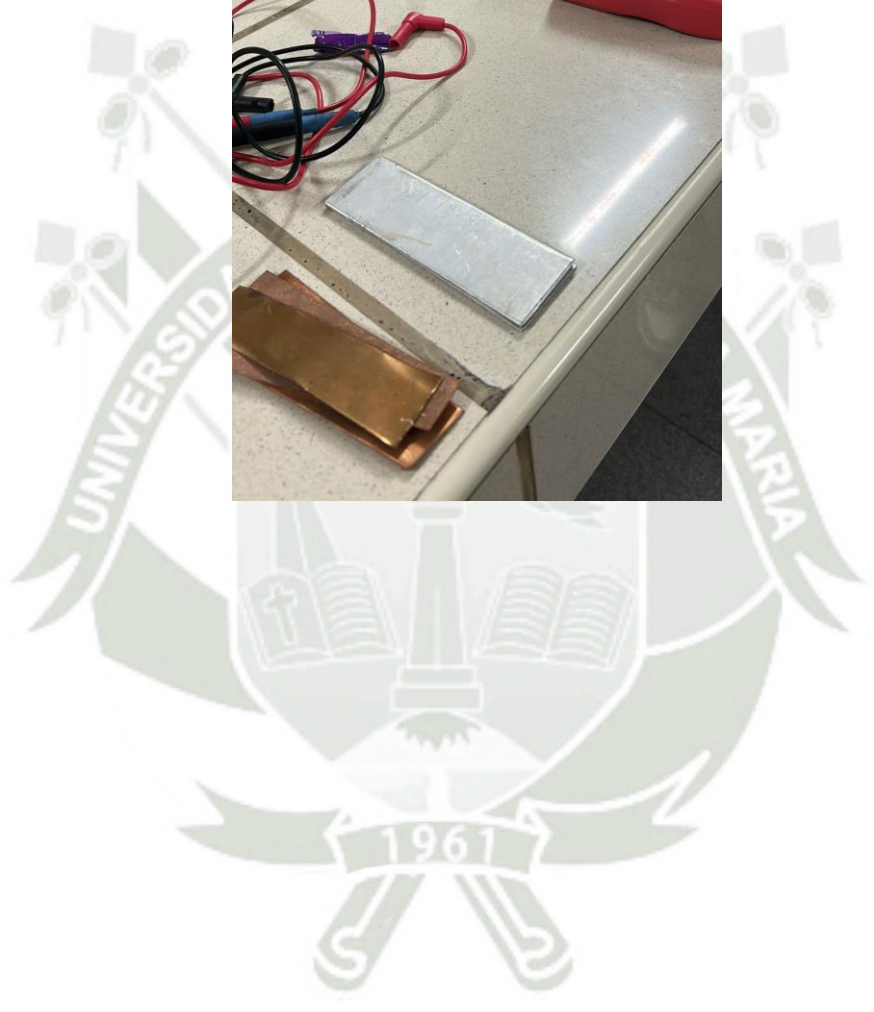
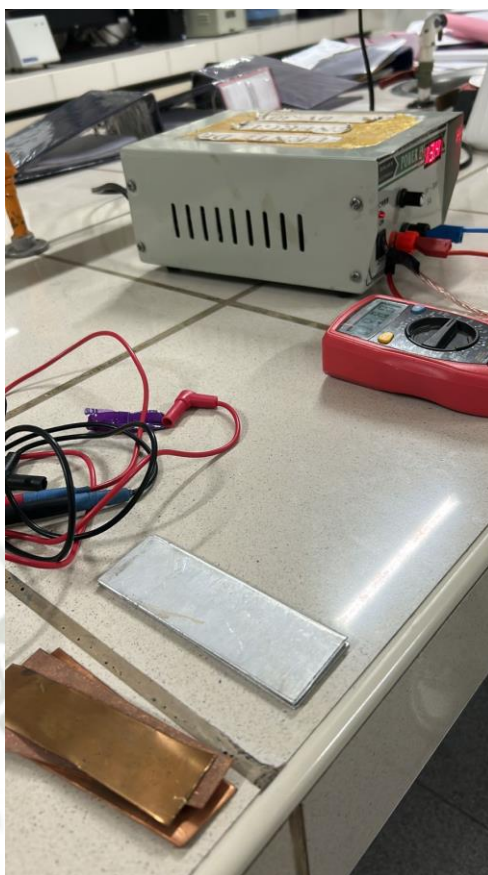












Anexo 4: Especificaciones del Prototipo en software 3D a escala real

