

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en  
la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en  
laboratorio - Huancayo, 2022**

Karen Guisela Cano Cochachi  
Janeth Zulema Quispe de la Cruz  
Zenón Lincol Ureta Calixto

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# Nanopartículas de Cerio

## INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Autónoma de Madrid Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	burjcdigital.urjc.es Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%

9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
10	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
11	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional de Huancavelica Trabajo del estudiante	<1 %
16	www.fundacionaquae.org Fuente de Internet	<1 %
17	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.udch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	es.scribd.com	

Fuente de Internet

<1 %

21

[tesis.ucsm.edu.pe](https://tesis.ucsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

22

Submitted to unjbg

Trabajo del estudiante

<1 %

23

[repositorio.une.edu.pe](https://repositorio.une.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

24

[www.jove.com](http://www.jove.com)

Fuente de Internet

<1 %

25

[cybertesis.unmsm.edu.pe](https://cybertesis.unmsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

26

[1library.co](https://1library.co)

Fuente de Internet

<1 %

27

[ipicyt.repositorioinstitucional.mx](https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx)

Fuente de Internet

<1 %

28

[dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

29

[ninive.uaslp.mx](https://ninive.uaslp.mx)

Fuente de Internet

<1 %

30

[www.cienciacierta.uadec.mx](http://www.cienciacierta.uadec.mx)

Fuente de Internet

<1 %

31

[dspace.ucacue.edu.ec](https://dspace.ucacue.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

32	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	Bertha María Mercado Borrayo. "Remoción de boro y arsénico presentes en altas concentraciones en agua mediante escorias metalúrgicas", Universidad Nacional Autónoma de México, 2013 Publicación	<1 %
34	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
35	<a href="http://eprints.whiterose.ac.uk">eprints.whiterose.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://www.science.gov">www.science.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://id.scribd.com">id.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://redi.unjbg.edu.pe">redi.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://ddd.uab.cat">ddd.uab.cat</a> Fuente de Internet	<1 %

42	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="https://espace.curtin.edu.au">espace.curtin.edu.au</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="https://repositorio.upp.edu.pe">repositorio.upp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="https://www.elsalvador.com">www.elsalvador.com</a> Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
47	Richar Cayo-Dominguez, Claudia Montalvo-Achic-huamán, Noe Benjamin Pampa-Quispe. "Cinética e isoterma de adsorción del arsénico (III) en solución acuosa mediante carbón activado con estructura nanoporosa obtenido de lodos orgánicos de aguas residuales", Tecnología y ciencias del agua, 2022 Publicación	<1 %
48	Submitted to unhuancavelica Trabajo del estudiante	<1 %
49	Submitted to Heriot-Watt University Trabajo del estudiante	<1 %
50	Paramita Mandal. "An insight of environmental contamination of arsenic on	<1 %

51

Pardeep Singh, Anwasha Borthakur, Rishikesh Singh, Rahul Bhadouria, Vipin Kumar Singh, Pooja Devi. "A critical review on the research trends and emerging technologies for arsenic decontamination from water", Groundwater for Sustainable Development, 2021

Publicación

<1 %

52

[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

53

Prashant Kumar Mishra, Parveen Gahlyan, Rakesh Kumar, Pramod Kumar Rai. "Aero-Gel Based Cerium Doped Iron Oxide Solid Solution for Ultrafast Removal of Arsenic", ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2018

Publicación

<1 %

54

[archbronconeumol.org](http://archbronconeumol.org)

Fuente de Internet

<1 %

55

[bibliotecadigital.exactas.uba.ar](http://bibliotecadigital.exactas.uba.ar)

Fuente de Internet

<1 %

56

[loquesomos.org](http://loquesomos.org)

Fuente de Internet

<1 %

57

[repositorio.uigv.edu.pe](http://repositorio.uigv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

58

[v6preprod.vademecum.es](http://v6preprod.vademecum.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

59

[www.ahorausacom](http://www.ahorausacom)

Fuente de Internet

&lt;1 %

60

[www.nutrar.com](http://www.nutrar.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

61

Hans - Georg Elias. "Makrokonformationen",  
Wiley, 2000

Publicación

&lt;1 %

62

M.L. Romero-Sevilla, S.M. Sánchez-Cuadra, M.  
Benavente Silva. "Aplicación de quitosano  
modificado en el tratamiento de aguas  
residuales de tenerías", Nexa Revista  
Científica, 2018

Publicación

&lt;1 %

63

[openscience.ub.uni-mainz.de](http://openscience.ub.uni-mainz.de)

Fuente de Internet

&lt;1 %

64

[repositorio.uandina.edu.pe](http://repositorio.uandina.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

65

[repositorio.upt.edu.pe](http://repositorio.upt.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

66

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

67

[www.grafiati.com](http://www.grafiati.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

68

[www.ing.unlp.edu.ar](http://www.ing.unlp.edu.ar)

Fuente de Internet

&lt;1 %

69

LEONARDO ANDRES SIERRA VARELA.  
"EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE LA  
SOSTENIBILIDAD SOCIAL PARA EL  
DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURAS.",  
Universitat Politecnica de Valencia, 2017

Publicación

&lt;1 %

70

Md. Rabiul Awual, Md. Munjur Hasan, Jibrán  
Iqbal, Aminul Islam, Md. Aminul Islam,  
Abdullah M. Asiri, Mohammed M. Rahman.  
"Naked-eye lead(II) capturing from  
contaminated water using innovative large-  
pore facial composite materials",  
Microchemical Journal, 2020

Publicación

&lt;1 %

71

[agualatinoamerica.com](http://agualatinoamerica.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

72

[documents.mx](http://documents.mx)

Fuente de Internet

&lt;1 %

73

[editorial.unca.edu.ar](http://editorial.unca.edu.ar)

Fuente de Internet

&lt;1 %

74

[es.unionpedia.org](http://es.unionpedia.org)

Fuente de Internet

&lt;1 %

75

[gredos.usal.es](http://gredos.usal.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

76	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://repositorio.ipicyt.edu.mx">repositorio.ipicyt.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://repositorio.unan.edu.ni">repositorio.unan.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="http://revistamvz.unicordoba.edu.co">revistamvz.unicordoba.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
81	<a href="http://ri-ng.uaq.mx">ri-ng.uaq.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
82	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
83	<a href="http://www.viaje-a-china.com">www.viaje-a-china.com</a> Fuente de Internet	<1 %
84	Prashant Kumar Mishra, Pramod Kumar Rai. "Ultrafast removal of arsenic using solid solution of aero-gel based Ce <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>2-y</sub> oxide nanoparticles", Chemosphere, 2019 Publicación	<1 %
85	<a href="http://diposit.ub.edu">diposit.ub.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
86	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %

---

87	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
88	<a href="http://moam.info">moam.info</a> Fuente de Internet	<1 %
89	<a href="http://repositorio.imta.mx">repositorio.imta.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
90	<a href="http://repositorio.uam.es">repositorio.uam.es</a> Fuente de Internet	<1 %
91	<a href="http://repositorio.unican.es">repositorio.unican.es</a> Fuente de Internet	<1 %
92	<a href="http://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
93	<a href="http://rus.ucf.edu.cu">rus.ucf.edu.cu</a> Fuente de Internet	<1 %
94	<a href="#">Submitted to tec</a> Trabajo del estudiante	<1 %
95	<a href="http://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	<1 %
96	<a href="http://www.cepis.org.pe">www.cepis.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
97	<a href="http://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a> Fuente de Internet	<1 %
98	<a href="http://www.ub.edu">www.ub.edu</a> Fuente de Internet	<1 %

---

99

Sivamani Sivalingam, Sujit Sen. "Sono-assisted Adsorption of As(V) from Water by Rice-Husk-Ash-Derived Iron-Modified Mesoporous Zeolite Y: A Cradle-to-Cradle Solution to a Problematic Solid Waste Material", Industrial & Engineering Chemistry Research, 2019

Publicación

&lt;1 %

100

Yi Wang, Xuelin Chen, Jingfan Yan, Tianyu Wang, Xiaomin Xie, Sen Yang. "Efficient removal arsenate from water by biochar-loaded Ce<sup>3+</sup>-enriched ultra-fine ceria nanoparticles through adsorption-precipitation", Science of The Total Environment, 2021

Publicación

&lt;1 %

101

[dspace.esPOCH.edu.ec](https://dspace.esPOCH.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

**ASESORA**

**Mg. Blga. VERÓNICA NELLY CANALES GUERRA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Mg. Blga. Verónica Nelly Canales Guerra, por el apoyo incondicional como asesora guía para la elaboración de la tesis.

A mis compañeros de tesis, por su esfuerzo y su dedicación brindada para que se realice exitosamente el estudio realizado.

A la Universidad Continental por abrirnos las puertas y brindarnos una formación integral y de gran nivel.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Elsa y Froilán, a mis hermanos Leonora, Deyvis y Sandra, por el constante apoyo económico y moral para poder hacer esto realidad.

También a mi sobrino Miguel, mi abuela Aurea y mi ángel, Fulgencio, que guía mis pasos.

**Karen**

Con todo mi corazón, a mi madre, pues sin ella no lo habría logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor.

**Janeth**

A mí, por haber trabajado con esmero para obtener los ingresos necesarios para hacer realidad lo de mucho tiempo planificado y esperado.

**Lincol**

## ÍNDICE

Asesor .....	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Índice .....	v
Lista de tablas.....	viii
Lista de figuras .....	ix
Resumen.....	x
Abstract .....	xi
Introducción .....	xii
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>13</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>13</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1. Problema general .....	14
1.1.2. Problemas específicos .....	14
1.2. Objetivos de la investigación .....	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.4. Hipótesis .....	15
1.4.1. Hipótesis general .....	15
1.4.2. Hipótesis específicas .....	15
1.4.3. Variables .....	15
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>16</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	16
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	16
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	22
2.2. Bases teóricas .....	22
2.2.1. Arsénico .....	22
2.2.2. Efecto del arsénico en los seres vivos .....	23
2.2.3. Efecto del arsénico en el medio ambiente .....	25
2.2.4. Contaminación de aguas con arsénico .....	26
2.2.5. Problemática por la contaminación de arsénico en aguas .....	27
2.2.6. Óxido de cerio o ceria .....	27
2.2.7. Nanopartículas de dióxido de cerio .....	28

2.2.8. Tratamiento de agua por adsorción utilizando CeO <sub>2</sub> .....	29
2.2.9. Influencia de la adsorción en el pH .....	30
2.2.10. Influencia de los nanoadsorbentes y el tiempo de contacto.....	30
2.2.11. Isotermas de adsorción .....	32
2.3. Definición de términos básicos .....	33
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>35</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	35
3.1.1. Método de investigación .....	35
3.1.2. Tipo de investigación .....	35
3.1.3. Alcance de la investigación .....	35
3.1.4. Diseño de la investigación .....	36
3.2. Materiales y métodos .....	36
3.2.1. Población y muestra .....	36
3.2.1.1. Población .....	36
3.2.1.2. Muestra .....	36
3.2.2. Procedimiento de la investigación .....	38
3.2.2.1. Etapa 1: laboratorio .....	38
3.2.2.2. Etapa 2: experimentación .....	39
3.2.2.3. Etapa 3: gabinete .....	44
3.3. Técnica e instrumento de recolección de datos .....	44
3.3.1. Técnica e instrumento .....	44
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>45</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.1. Presentación de resultados .....	45
4.1.1. Influencia del pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III .....	46
4.1.2. Influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III .....	47
4.1.3. Influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III .....	48
4.1.4. Influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III	51
4.2. Prueba de hipótesis .....	54
4.3. Discusión de resultados .....	56
<b>Conclusiones .....</b>	<b>60</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>61</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>62</b>

<b>Anexos .....</b>	<b>69</b>
---------------------	-----------

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de las variables.....	36
Tabla 2. Diseño factorial 23.....	36
Tabla 3. 24 tratamientos realizados.....	39
Tabla 4. Máxima remoción de As (III) .....	45
Tabla 5. Remoción de As (III) con variaciones de pH.....	46
Tabla 6. Remoción de As (III) con variaciones de la masa .....	47
Tabla 7. Remoción de As (III) con variaciones del tiempo de contacto .....	48
Tabla 8. Remoción de As (III) .....	49
Tabla 9. Datos para las isotermas .....	51
Tabla 10. Datos para la isoterma de Langmuir .....	51
Tabla 11. Datos para la isoterma de Freundlich.....	52
Tabla 12. Valores de las isotermas de Freundlich y Langmuir.....	53
Tabla 13. Varianza.....	54
Tabla 14. Matriz de consistencia.....	70
Tabla 15. Operacionalización de variables .....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura cúbica centrada en la cara de nanopartículas de óxido de cerio ( $\text{CeO}_2$ )..	28
Figura 2. Efecto del pH de la solución.....	30
Figura 3. Influencia del nanoadsorbente.....	31
Figura 4. Influencia del tiempo de contacto.....	31
Figura 5. Procedimiento de la investigación, etapa 1: laboratorio.....	38
Figura 6. Etapa 2: experimentación.....	40
Figura 7. Estudio de las isothermas.....	42
Figura 8. Remoción de As (III) con variación de pH.....	46
Figura 9. Remoción de As (III) con variación de masa.....	48
Figura 10. Remoción de As (III) con variación del tiempo de contacto.....	49
Figura 11. Efectos principales en la remoción de As (III).....	50
Figura 12. Media de la remoción de As (III).....	50
Figura 13. Ecuación de Langmuir para la remoción de As (III).....	52
Figura 14. Ecuación de Freundlich para la remoción de As (III).....	53
Figura 15. Pareto.....	55
Figura 16. Probabilidad.....	55
Figura 17. Diagrama esquemático del posible mecanismo de adsorción y oxidación del arsénico .....	59
Figura 18. Preparación de la solución acuosa.....	72
Figura 19. Desarrollo experimental.....	73

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio - Huancayo, 2022, para ello se empleó el método hipotético-deductivo, tipo aplicada con enfoque cuantitativo y un diseño factorial de  $2^3$ . La solución acuosa de As (III) fue sintetizada en el laboratorio de análisis ambientales, con una concentración inicial de 4.94 ppm, dicha solución acuosa fue tratada con variaciones de pH de 5 y 7, donde a un pH de 5 se tuvo la mayor remoción de As(III) con un 74.17 % y a mayor pH de 7 se tuvo menor remoción de As(III) con un 58.94 %, con una masa de nanopartículas de óxido de cerio de 10 mg y 25 mg, donde a una masa de 25 mg se muestra la mayor remoción de As (III) con un 83.94 % y a menor masa de nanopartículas de óxido de cerio se tuvo menor remoción de As (III) con un 49.17 %, con un tiempo de contacto de 30 min y 60 min, donde a un tiempo de 60 min se muestra la mayor remoción de As(III) con un 71.07 % y a menor tiempo se tuvo menor remoción de As (III) con un 62.04 % y el modelo de adsorción fue la isoterma de Freundlich por el hecho que tiene un  $R^2$  de 0.9475, con una capacidad de adsorción de 64.83 mg/g y la adsorción se considera favorable. Afirmando que la utilización de las nanopartículas de óxido de cerio es beneficiosa para la remoción de arsénico.

**Palabras claves:** arsénico (III), isotermas, nanopartículas de óxido de cerio

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of cerium oxide nanoparticles in the removal of arsenic III from aqueous solutions in the laboratory, Huancayo, 2022, for which the hypothetical-deductive method was used, type applied with a quantitative approach and a factorial design of  $2^3$ . The aqueous solution of As(III) was synthesized in the environmental analysis laboratory, with an initial concentration of 4.94 ppm, said aqueous solution was treated with pH variations of 5 and 7, where at a pH of 5 there was the highest removal of As(III) with 74.17% and at a higher pH of 7 there was less removal of As(III) with 58.94%, with a mass of cerium oxide nanoparticles of 10 mg and 25 mg, where At a mass of 25 mg, the greatest removal of As(III) was shown with 83.94%, and at a lower mass of cerium oxide nanoparticles, there was less removal of As(III) with 49.17%, with a contact time of 30 min and 60 min, where at a time of 60 min the greatest re removal of As(III) with 71.07% and less time had less removal of As(III) with 62.04% and the adsorption model was the Freundlich isotherm due to the fact that it has an  $R^2$  of 0.9475, being higher than that obtained in the Langmuir isotherm. It is also observed that the adsorption capacity was 64.83 mg/g, and the adsorption is considered favorable. Affirming that the use of cerium oxide nanoparticles is beneficial for the removal of arsenic.

**Keywords:** arsenic (III), cerium oxide nanoparticles, isotherms

## INTRODUCCIÓN

El arsénico es un elemento metaloide que se puede encontrar de forma ubicua en la corteza terrestre y uno de los principales contaminantes tóxicos del agua que ha preocupado a la fraternidad científica durante muchos años. Las vías de contaminación por arsénico son tanto naturales como antropogénicas. Sin embargo, la fuente predominante de contaminación por arsénico es geogénica a través de la meteorización de minerales naturales (1).

La contaminación por arsénico en las aguas subterráneas ha suscitado una preocupación mundial, ya que la exposición a largo plazo al arsénico podría provocar varios tipos de cáncer y otras enfermedades graves no cancerosas. Para minimizar los posibles riesgos para la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendó un límite más estricto de 10 µg/L como el nivel máximo permitido de arsénico en el agua potable y en el Perú de 0.01 mg/L. Se ha empleado una amplia gama de técnicas para eliminar el arsénico del agua. La adsorción se considera uno de los enfoques más prometedores, debido a sus ventajas de operación simple, alta eficiencia y rentabilidad (2).

El capítulo 1 propone el planteamiento del problema, ya que el arsénico es una de las sustancias químicas más tóxicas del medio ambiente y representa una gran amenaza para la salud de millones de personas en todo el mundo. La exposición a largo plazo del agua potable al arsénico causa cánceres de piel, pulmón, vejiga y riñón, así como el retraso del desarrollo mental de los niños.

El capítulo 2 desarrolla los antecedentes de investigación tanto internacionales como nacionales, así también las bases teóricas que dan sustento al trabajo de investigación y, por último, la definición de términos.

El capítulo 3 menciona la metodología de la investigación utilizada en el presente trabajo, donde se utiliza el método hipotético-deductivo, tipo y diseño de investigación. También se observan los materiales y procedimientos para el desarrollo de la parte experimental.

El capítulo 4 plantea los resultados obtenidos luego del desarrollo experimental, ordenados de acuerdo a los objetivos propuestos, también se observa la prueba de hipótesis y discusión de los resultados.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, lista de referencias y anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

Hoy en día se sabe que el arsénico es una de las sustancias químicas más tóxicas del medio ambiente y representa una gran amenaza para la salud de millones de personas en todo el mundo. La exposición a largo plazo del agua potable al arsénico causa cánceres de piel, pulmón, vejiga y riñón, así como el retraso del desarrollo mental de los niños (3). La OMS clasificó el arsénico como carcinógeno y recomendó que el nivel máximo de contaminación para el arsénico en el agua potable no debe exceder los 10 g/L. En cuerpos de agua naturales, el arsénico generalmente se encuentra en forma de As (V) inorgánico (arseniato) y As(III) (arsenito), y el As (III) es considerablemente más móvil y tóxico que el As (V) (4).

El proceso de adsorción se considera un proceso simple y rentable para eliminar la contaminación por arsénico del ambiente acuoso, especialmente cuando la concentración de contaminación es relativamente baja. En los últimos años, los adsorbentes de tamaño nanométrico sintetizados, como CuO, MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> y hierro de valencia cero, se han estudiado ampliamente (5), lo que demostró resultados prometedores en la eliminación de arsénico del ambiente acuoso. Su rendimiento mejorado podría atribuirse a su mayor área de superficie específica y propiedades de superficie controlables adecuadas para la eliminación de arsénico. Sin embargo, aún existen problemas para la práctica actual de eliminación por adsorción de arsénico, incluida la necesidad de preoxidación y ajuste de pH, capacidad y eficiencia de adsorción relativamente bajas, y la disolución potencialmente dañina de los adsorbentes. Se necesita con urgencia investigaciones para desarrollar nuevos adsorbentes de arsénico para superar estos problemas y limitaciones (6).

Como uno de los óxidos de metales de tierras raras más abundantes y menos costosos, el óxido de cerio se ha estudiado ampliamente como catalizador, material electrolítico de celdas de combustible de óxido sólido y material de protección UV debido a sus propiedades físicas y químicas específicas. El óxido de cerio posee la solubilidad más baja contra el ácido entre los óxidos de metales de tierras raras y no se diluyen durante la eliminación de iones dañinos en el agua. Por lo tanto, se cree que es uno de los adsorbentes alternativos prometedores para eliminar aniones peligrosos (7).

### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es la influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la influencia en el pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022?
- ¿Cuál es la influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022?
- ¿Cuál es la influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022?

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia en el pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022.
- Determinar la influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en

la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022.

- Determinar la influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022.

### **1.3. Justificación e importancia**

Las aguas subterráneas presentan un alto nivel de contaminación de arsénico, a causa de los relaves mineros. El éxito de las nanopartículas en la mitigación de la toxicidad de los metales pesados en el tratamiento de aguas contaminadas animó a estudiar las nanopartículas de óxido de cerio, ya que, según investigaciones anteriores, ha demostrado una alta capacidad de adsorción de aniones peligrosos, como el fluoruro, el bicromato y el arseniato.

### **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

La influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La influencia en el pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.
- La influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.
- La influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

#### **1.4.3. Variables**

- **Variable independiente:** influencia de nanopartículas de óxido cerio  $n\text{CeO}_2$
- **Variable dependiente:** remoción de As (III)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En un artículo desarrollaron un carbón activado modificado con óxido de cerio y estudiaron su rendimiento para la eliminación de especies de arsénico. La metodología fue preparar un adsorbente mediante un proceso solvotérmico de un solo paso. El análisis termogravimétrico indicó la presencia abundante de grupos de hidroxilo en el adsorbente. La adsorción de especies de arsénico se vio muy afectada por el pH de la solución. Las capacidades máximas de adsorción de As (V) y As (III) a pH 5 fueron 43,60 mg-As/g y 36,77 mg-As/g, respectivamente. Una interferencia limitada fue causada por la existencia de ácido húmico, sulfato y carbonato, en particular, niveles bajos de concentración. Según los resultados del análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X, casi el 90 % del elemento de cerio en el adsorbente era Ce (IV). El alto potencial redox de Ce (IV) fue responsable de la oxidación parcial de As (III) durante la remoción, lo que mejoró la adsorción de As (III). Se propuso que el intercambio de ligandos entre los grupos de hidroxilo en el adsorbente y las especies de arsénico sea el mecanismo de adsorción para la adsorción de arsénico (8).

En un artículo científico fabricaron un nuevo óxido binario de Ce-Mn nanoestructurado con una relación molar de Ce/Mn de 3:1, para mejorar la eliminación de As (III) del agua, mediante un sencillo método de coprecipitación de oxidación en un solo paso a temperatura ambiente. El óxido binario Ce-Mn es amorfo con un área superficial alta de 157 m<sup>2</sup>/g. El cerio (Ce) y el manganeso (Mn) en este óxido existen

principalmente en el estado de oxidación de Ce (IV) y Mn (IV), respectivamente. Puede oxidar efectivamente As (III) a As (V) y adsorber eficientemente el As (V) formado. Además, este adsorbente exhibe un efecto obviamente sinérgico. La capacidad máxima de sorción de As (III) es de 97,7 mg/g, que es competitiva con la mayoría de los adsorbentes informados. La adsorción de As (III) es rápida y ligeramente afectada por el pH de la solución analizada, la fuerza iónica, las materias orgánicas disueltas y los aniones coexistentes excepto el fosfato, lo que indica la alta selectividad hacia el arsénico. Los resultados indican que, el óxido podría usarse como un sorbente atractivo para la eliminación de As (III) del agua contaminada, debido a su proceso de síntesis fácil y de bajo costo, buen rendimiento de sorción de As (III) y reutilización (2).

En un artículo científico eliminaron trazas de arsénico del agua empleando una solución sólida a base de aerogel de titanio y nanopartículas de óxido de cerio. La metodología que se empleó fue la espectroscopia Raman que confirma la formación de una solución sólida monofásica de nanopartículas de óxido de  $Ce_{1-x}Ti_xO_{2-y}$ . El estudio HR-XPS y FT-IR indicó la complejación de la superficie y la oxidación parcial de As (III) a As (V) a través del mecanismo de transferencia de electrones por reducción de Ce (IV) a Ce (III) y Ti (IV) a Ti (III) simultáneamente durante el proceso de adsorción. El estudio de cinética demostró una eliminación del 99 % de As (III) dentro de los 10 minutos de iniciado el proceso de adsorción. El efecto del pH y los iones de interferencia confirmaron el amplio rango de aplicabilidad de la solución sólida de nanopartículas de titanio y óxido de cerio sobre las diferentes condiciones ambientales para la remoción de arsénico. Los resultados muestran la mejor capacidad de adsorción de  $(Ce_{0.80}Ti_{0.2}O_{2-y})$  resultando ser de  $2 \times 10^5$  mg/kg mientras que la concentración más baja del sistema de cuerpo de agua fue de 7  $\mu$ g/L, que es la concentración mínima de arsénico alcanzada por cualquier adsorbente a base de óxido de metal (1).

En otro artículo científico prepararon nanocompuestos de halloysita-CeO<sub>x</sub> ( $x = 1,5 - 2,0$ ) utilizando un método de precipitación redox, y se evaluó el rendimiento de eliminación de As (III) de los materiales obtenidos. Estos compuestos se formaron soportando nanopartículas de CeO<sub>2</sub> sobre el sustrato de halloysita modificado químicamente. Este compuesto exhibió una excelente capacidad de adsorción de As (III) (209,3 mg/g CeO<sub>2</sub>), que fue mucho mayor que el compuesto de halloysita - CeO<sub>x</sub> sin modificar (158,5 mg/g CeO<sub>2</sub>) y las nanopartículas de CeO<sub>2</sub> sin soporte (61,9 mg/g). Los mecanismos de adsorción de As (III) en este material compuesto implicaron la formación de complejos superficiales y la oxidación parcial de As (III) seguida de la adsorción de As (V). Además, el compuesto Hal<sub>0,01</sub>Ce también

poseía adsorción selectiva para As (III) en presencia de iones coexistentes y mantuvo el 91,4 % de la eficiencia de eliminación de As (III) después de tres ciclos de regeneración. Estos resultados demuestran que este compuesto se puede utilizar como candidato potencial para la eliminación de As (III) del agua contaminada (9).

En otro artículo científico evaluaron la toxicidad del arsenito [As(III)] adsorbido en nanopartículas (NP) de dióxido de cerio ( $\text{CeO}_2$ ) en células epiteliales bronquiales humanas (16HBE14<sub>o</sub>). La metodología empleada fue, la aplicación de 0,5 mg/L de As (III) que dio como resultado una reducción del 81,3 % del índice celular (IC) durante 48 h en comparación con las células de control expuestas a un medio que carecía de As (III). Sin embargo, cuando las células se expusieron a 0,5 mg/L de As (III) en presencia de NP de  $\text{CeO}_2$  (250 mg/L), el IC solo se redujo en un 12,9 % en comparación con el control. Las NP de  $\text{CeO}_2$  tenían una alta capacidad de adsorción de As (III) (20,2 mg/g de  $\text{CeO}_2$ ) en el medio del bioensayo, lo que reducía de forma efectiva el As (III) disuelto en la solución acuosa y producía una toxicidad reducida. Los resultados demuestran que el As (III) disuelto en la solución acuosa fue el factor decisivo que controló la toxicidad del As (III) de las células 16HBE14<sub>o</sub>, y que las NP de  $\text{CeO}_2$  redujeron eficazmente el As (III) disponible a través de la adsorción. Estos datos enfatizan la evaluación de las mezclas al ensayar la toxicidad (10).

En un artículo científico sintetizaron y emplearon un material bifuncional  $\text{CeO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$  para la degradación fotocatalítica del ácido p-arsanílico (p-ASA) bajo irradiación de luz ultravioleta y la eliminación completa simultánea del arsénico inorgánico liberado por adsorción de la solución. Investigaron los efectos de los principales factores, incluido el pH inicial, la concentración de iones de cloruro, nitrógeno amoniacal y ácido húmico, sobre la degradación de p-ASA. En diversas condiciones de calidad del agua, siempre se pudo lograr una excelente eliminación de p-ASA en el proceso fotocatalítico  $\text{CeO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ , y p-ASA se pudo convertir completamente en As (V) en 28 min. Simultáneamente, el As(V) liberado podría adsorberse en la superficie de las nanopartículas de  $\text{CeO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$  con una alta eficiencia superior al 98 % en el rango de pH inicial de 4 a 7. La eficiencia de degradación de p-ASA disminuyó significativamente en presencia de  $\text{Cl}^-$  y ácido húmico mediante la eliminación de  $\cdot\text{HO}$ , mientras que  $\text{NH}_4^+$  tuvo un efecto insignificante en la degradación de p-ASA. En conclusión, la combinación con la propiedad fotocatalítica y la alta capacidad de adsorción del As (V), las nanopartículas magnéticas  $\text{CeO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$  sintetizadas tienen importantes aplicaciones potenciales para controlar el riesgo de p-ASA en el medio acuático (11).

En un artículo científico sintetizaron adsorbentes magnéticos a base de cerio (denominados  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CeO}_2/(\text{OH})_x$ ). La síntesis fue mediante un método de precipitación química simple. El área superficial específica del producto final fue de aproximadamente  $91,38 \pm 1,47 \text{ m}^2/\text{g}$ . Las pruebas sistemáticas de adsorción mostraron que tanto el As (III) como el As (V) podían ser eliminados rápidamente por  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CeO}_2/(\text{OH})_x$  con las capacidades máximas de adsorción de Langmuir de 79,1 mg/g para As (III) y 25,5 mg/g para As (V) a un valor de pH de 9, en soluciones de solo arsénico. Se obtuvo una adsorción simultánea de 51,2 mg/g para As (III) y As (V) en aguas de proceso simuladas de cianuración de oro. Se utilizó una solución de NaOH de 1 mol/L como regenerante para investigar la regeneración y la reutilización de  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CeO}_2/(\text{OH})_x$ , y se retuvo más del 60 % de su capacidad de adsorción inicial después de cinco ciclos consecutivos de adsorción-desorción. Las micropartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CeO}_2/(\text{OH})_x$  fácilmente sintetizadas, con su alto grado de separabilidad magnética y su excepcional capacidad de adsorción de arsénico, pueden considerarse un eliminador de arsénico prometedor en ciertas aplicaciones industriales (12).

En otro artículo científico realizaron la investigación para eliminar el As (V) del agua utilizando filtros cerámicos funcionalizados con nanocompuestos de  $\text{CeO}_2$  (CF-  $\text{CeO}_2$ ). Teniendo en cuenta la eficiencia de eliminación y el caudal, se determinó la cantidad adecuada de recubrimiento de  $\text{CeO}_2$  para la producción de CF- $\text{CeO}_2$ . Emplearon un análisis factorial, en la que se encontró que la concentración de arsénico afluente y el pH eran factores significativos en la eliminación de As (V). Además, CF- $\text{CeO}_2$  exhibió una buena capacidad de eliminación en un amplio rango de pH y fue insensible al cambio de concentración de electrolito de fondo. En el tratamiento de aguas naturales, la existencia de turbidez media y baja facilitó la remoción de As (V), mientras que la turbidez alta tuvo el efecto contrario. Sobre la base de experimentos macroscópicos y caracterizaciones microscópicas, se reveló que el mecanismo de eliminación de As (V) por parte del CF- $\text{CeO}_2$  incluía principalmente el intercambio iónico y la atracción electrostática. Los hallazgos de este estudio proporcionaron evidencia convincente para el uso de CF- $\text{CeO}_2$  como un enfoque seguro, de bajo costo y de alta eficiencia para la purificación del agua en las áreas remotas de los países en desarrollo (13).

En un artículo científico emplearon nanopartículas de cerio ultrafinas (Ce-BC) enriquecidas con  $\text{Ce}^{3+}$  cargadas con biocarbón como un nuevo adsorbente nanoestructurado para la eliminación de arseniato [As(V)] de soluciones acuosas. El efecto de la valencia del cerio en la adsorción de As (V) y el mecanismo de adsorción

de As (V) en Ce-BC se investigaron mediante la metodología de experimentos por lotes y una serie de tecnologías de detección de espectroscopia. Los datos de la isoterma de adsorción se ajustaron al modelo de Langmuir, con una capacidad máxima de sorción de As (V) de 219,8 mg/g a pH 5,0 y 25 °C. La cinética de adsorción se ajustó bien al modelo de pseudosegundo orden. La disminución en la concentración de  $Ce^{3+}$  de 60,1 % a 48,9 % en la superficie de Ce-BC disminuyó significativamente la adsorción de As (V) en Ce-BC. Además, se reveló una fuerte afinidad entre el As (V) y el Ce-BC enriquecido con  $Ce^{3+}$ , lo que resultó en una adsorción irreversible. Lo que es más importante, el As (V) adsorbido podría reaccionar aún más con  $Ce^{3+}$  de las nanopartículas de óxido de cerio ultrafinas en Ce-BC para formar precipitados de  $CeAsO_4$  en forma de varilla. Mediante el novedoso proceso de adsorción-precipitación, el Ce-BC se puede utilizar para eliminar las trazas de As (V) (14).

En un artículo científico desarrollaron con éxito un novedoso nanobiosorbente ultrafino de quitosano modificado con cerio (Ce-CNB) con rendimiento simultáneo de oxidación y adsorción de As (III). Realizaron experimentos de adsorción por lotes para investigar los efectos de diversas condiciones en la adsorción de As (III). Los comportamientos de adsorción fueron bien descritos por la isoterma de Langmuir y el modelo cinético de pseudosegundo orden, con capacidades máximas de adsorción de 57,5 mg/g. Los mecanismos de adsorción para el As (III) fueron (i) complejos monodentados y bidentados formados entre grupos hidroxilo y arsenito; y (ii) As (III) parcial oxidado a As (V) seguido de adsorción simultánea en la superficie de Ce-CNB. Este novedoso nanocompuesto se puede reutilizar manteniendo una alta eficiencia de eliminación y se puede aplicar para tratar 5,8 L de agua contaminada con As (III) con una concentración de efluente inferior a la norma de la OMS, lo que sugiere su gran potencial para eliminar el As (III) de agua contaminada (15).

En un artículo científico evaluaron la situación actual de eliminación de As, considerando temas clave sobre procesos biológicos y nanotecnológicos y el progreso actual y las perspectivas futuras de las posibles opciones de mitigación. La oxidación es un paso importante de pretratamiento en la eliminación de As, que generalmente se logra mediante varios medios como  $O_2/O_3$ ,  $HClO$ ,  $KMnO_4$  y  $H_2O_2$ . Los nanomateriales a base de Fe, aerogel de grafeno impregnado con  $Fe_2O_3$ , El  $TiO_2$  dopado con hierro, el  $CeTiO_2$  basado en aerogel y el manganeso recubierto con óxido de hierro son efectivos para eliminar el As del agua contaminada. Los procesos biológicos (fitorremediación/microbiológicos) son efectivos y ecológicos para la remoción de As del agua o suelo. Los microorganismos eliminan el As del agua, los sedimentos y el

suelo mediante procesos de metabolismo, desintoxicación, oxidación-reducción, bioadsorción, bioprecipitación y volatilización. Las opciones de mitigación de As respetuosas con el medio ambiente se pueden lograr mediante la utilización de un acuífero libre de As, agua superficial o recolección de agua de lluvia alternativa. La aplicación de híbridos (biológicos con procesos químicos y físicos) y las mejores tecnologías disponibles pueden ser la estrategia de eliminación de As más eficaz para remediar los entornos contaminados con As (16).

En otro artículo científico se propone una estrategia novedosa que emplea electroquímica de una sola partícula que muestra que es posible medir la reactividad, la especiación y la carga de  $As^{3+}$  en NP individuales, utilizando óxido de cerio ( $CeO_2$ ) como sistema modelo. Demostraron que las reacciones redox y los procesos de adsorción pueden cuantificarse electroquímicamente con alta sensibilidad mediante la oxidación de  $As^{3+}$  a  $As^{5+}$  a 0,8 V frente a Ag/AgCl o la reducción de  $As^{3+}$  a  $As^0$  a -0,3 V (frente a Ag/AgCl) generada por colisiones de partículas individuales en un ultra microelectrodo. Usando electroquímica de colisión, las concentraciones de  $As^{3+}$  se determinaron en condiciones básicas mostrando una capacidad de adsorción máxima a pH 8. En ambientes ácidos ( $pH < 4$ ), una pequeña fracción de  $As^{3+}$  fue oxidada a  $As^{5+}$  por la superficie de  $Ce^{4+}$  y luego adsorbida en la superficie de  $CeO_2$  como un Complejo bidentado  $as^{5+}$ . La frecuencia de los picos de corriente (oxidativa o reductora) fue proporcional a la concentración de  $As^{3+}$  acumulada en las NP y se encontró que era representativa de la concentración de  $As^{3+}$  en solución. Dada su sensibilidad y capacidad de especiación, el método puede encontrar muchas aplicaciones en los campos de la química analítica, de materiales y ambiental donde existe la necesidad de cuantificar la reactividad y las interacciones superficiales de las NP (17).

En un artículo científico, los adsorbentes a base de dióxido de cerio ( $CeO_2$ ), también denominados “ceria”, se han utilizado para eliminar contaminantes como el arsénico, el fluoruro, el plomo y el cadmio. La ceria y los compuestos muestran una gran área superficial, porosidad y morfología controladas, y abundancia de grupos funcionales. Ya han encontrado uso en muchas aplicaciones, incluidas ópticas, semiconductores y catálisis. Explotar sus características atractivas para el tratamiento del agua desentrañaría su potencial. Revisaron el potencial de la ceria y sus compuestos para la eliminación de iones metálicos tóxicos del medio acuoso. El artículo analiza los contaminantes tóxicos en el agua y su impacto en la salud humana; la síntesis y el comportamiento de adsorción de materiales a base de ceria, incluido el papel de la

morfología y el área superficial en la capacidad de adsorción, isothermas de adsorción de mejor ajuste, modelos cinéticos, posibles mecanismos, regeneración de adsorbentes; y perspectivas futuras del uso de óxidos metálicos como la ceria. El enfoque del informe es la generación de óxidos rentables de metales de tierras raras, cerio, en sus formas independientes y compuestas para la eliminación de contaminantes (18).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la investigación desarrollada por Zapana (19), removieron el arsénico del río Sama de concentración inicial 0,37 ppm. Emplearon el método experimental por lotes variando la dosis de adsorbente, el jugo de limón y el tiempo de contacto. Los resultados mostraron una adsorción de arsénico mayor al 96 %, logrando no sobrepasar los límites que propone la OMS. Del estudio se concluyó que, las nanopartículas de hierro cero valente son buenos adsorbentes de arsénico.

En la investigación de Huanca y Tapia (20), removieron el arsénico del agua superficial del río Tambo, empleando nanopartículas de hierro soportadas en zeolita. La metodología empleada fue la prueba de jarras variando las variables: dosis de nanopartículas, pH y tiempo de contacto. Los resultados mostraron una remoción mayor al 90 % cumpliendo con la normativa de los LMP establecidos en el D. S. N.º 031-2010-SA.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Arsénico**

El arsénico es un metaloide ubicuo y natural que puede ser un factor de riesgo importante para el cáncer después de la exposición al agua potable, los cigarrillos, los alimentos, la industria, el entorno laboral y el aire contaminados. Entre las diversas rutas de exposición al arsénico, el agua potable es la mayor fuente de envenenamiento por arsénico en todo el mundo. La exposición al arsénico de los alimentos ingeridos, por lo general, proviene de cultivos alimentarios cultivados en suelos contaminados con arsénico o regados con agua contaminada con arsénico. Según un informe reciente de la OMS, el arsénico del agua contaminada puede absorberse rápida y fácilmente y, dependiendo de su forma metabólica, puede afectar negativamente a la salud humana. Recientemente, como parte de las regulaciones de la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU. para los metales que se encuentran en los cosméticos para proteger a los consumidores contra las contaminaciones consideradas perjudiciales para la salud, se descubrió que algunos cosméticos contenían una variedad de productos químicos, incluidos metales pesados, que a veces se usan como conservantes. Además,

los países en desarrollo tienden a tener un número creciente de fábricas industriales que, lamentablemente, dañan el medio ambiente, especialmente en ciudades donde las emisiones industriales y de vehículos, así como las actividades domésticas, causan una grave contaminación del aire. El aire también es una fuente importante de exposición al arsénico en áreas con actividad industrial. La presencia de arsénico en partículas suspendidas en el aire se considera un riesgo para ciertas enfermedades. En conjunto, varias vías potenciales de exposición al arsénico parecen afectar negativamente a los humanos, y se deben realizar esfuerzos futuros para reducir la exposición al arsénico causada por factores ambientales (21).

### **2.2.2. Efecto del arsénico en los seres vivos**

El arsénico es un tóxico ambiental con amplia distribución en rocas, suelo, agua y aire. El compuesto de arsénico se clasifica en dos, a saber, arsénico inorgánico y arsénico orgánico. El arsénico inorgánico suele ser abundante en las aguas subterráneas que se utilizan para beber en varios países del mundo (p. ej., Bangladesh, Chile y China), mientras que los compuestos de arsénico orgánico (como la arsenobetaína) se encuentran principalmente en el pescado, lo que puede dar lugar a la exposición humana (22). Es un gran contaminante ambiental en la cuenca del delta de Bengala y es responsable de causar carcinogenicidad a millones de personas y animales. Las emisiones de metales pesados al medio ambiente ocurren a través de una amplia gama de procesos y vías, incluso al aire, a las aguas superficiales y al suelo. Las emisiones atmosféricas tienden a ser la mayor preocupación en términos de salud humana, tanto por las cantidades involucradas como por la dispersión generalizada y el potencial de exposición que a menudo se produce. Las personas pueden estar expuestas a agentes químicos, físicos y biológicos potencialmente dañinos en el aire, los alimentos, el agua o el suelo. Sin embargo, la exposición al arsénico no resulta solo de la presencia de un agente nocivo en el medio ambiente, sino que la palabra clave en la definición de exposición es el contacto. El suelo se contamina con arsénico a través del agua de riego y el arroz, las verduras y las plantas se contaminan con arsénico a través de su absorción a niveles tóxicos. Veinticinco millones de personas de 50 distritos que abarcan casi el 85 % del área total de Bangladesh tienen arsénico en el agua subterránea (22).

El arsénico causa hiperpigmentación, queratosis, debilidad, anemia, sensación de ardor en los ojos, hinchazón sólida de las piernas, fibrosis hepática, enfermedad pulmonar crónica, gangrena de los dedos de los pies, neuropatía y cáncer de piel y otras manifestaciones clínicas. Excepto el dolor abdominal, se encontró que la prevalencia de todas las demás manifestaciones clínicas evaluadas (p. ej., pigmentación, queratosis,

hepatomegalia, debilidad, náuseas, enfermedad pulmonar y neuropatía) era significativamente mayor en las personas expuestas al arsénico (arsénico en agua >0.05 mg/L) en comparación para controlar la población (nivel de As en el agua <0,05 mg/L) (22). Seis millones de personas de 79 bloques de nueve distritos a saber. Malda, Murshidabad, Nadia, North y South 24 Parganas, Bardhaman, Hoogly, Howrah y Kolkata en Bengala Occidental, India, se ven afectados por los peligros para la salud relacionados con el arsénico donde la concentración de arsénico supera los 50 mg/l. Bangladesh es uno de los peores casos de toxicidad ambiental. Además, entre 42 novillas, 29 murieron por envenenamiento con arsénico en América del Sur, después de que una muestra de suelo y pasto con arsénico contenía 2262 ppm en peso seco. En esas áreas, durante un período de 44 días, 4 de 5 terneros afectados en un rebaño de 170 bovinos de carne murieron después de mostrar signos clínicos de letargo, ataxia, anorexia y diarrea. reveló que el examen histopatológico de los tejidos y el análisis toxicológico de un polvo sospechoso descubierto en el pasto confirmaron la toxicosis por trióxido de arsénico (22).

El arsénico se contamina en la cadena alimentaria a través del agua potable, los alimentos, la carne, la leche y los huevos. La ingestión de leche bovina es una de las vías más importantes de exposición a sustancias químicas y de acumulación de sustancias químicas orgánicas persistentes en los tejidos de la cadena alimentaria agrícola. Se demostró que las concentraciones de arsénico en todas las muestras de agua estaban por encima del nivel sugerido para la intoxicación del ganado y oscilaban entre 0,23 y 2,54 mg/L (23).

El arsénico se deposita en el hígado, los riñones y el bazo y la mayor parte se excreta a través de la orina (si la sal no se absorbe fácilmente) y gran parte se elimina a través de las heces. Los animales pueden tolerar niveles bajos de arsénico y el nivel normal en los tejidos del ganado fue inferior a 0,5 ppm. Los riñones son una ruta principal de excreción, mientras que el hígado es el objetivo de la deposición de arsénico, informando que las muestras de orina contenían 0.15-16.4 mg/kg en un brote de envenenamiento por arsénico en ganado bovino en México. Una estimación del contenido de arsénico en muestras de cabello y el valor fue de 5 a 10 mg/kg, mientras que los animales no expuestos al arsénico (normales) deberían contener menos de 0,5 mg/kg. La concentración máxima de arsénico en el tejido alcanza aproximadamente 8 horas después de la ingestión y los animales que sobreviven durante 2 o 3 días pueden tener niveles tan bajos como 3 mg/kg (22).

### **2.2.3. Efecto del arsénico en el medio ambiente**

La contaminación por arsénico en el agua ocurre a través de varios factores, algunos de ellos es la lixiviación de arsénico debido a la meteorización geológica de las rocas, la minería, la liberación de contaminantes industriales en forma de pesticidas, tintes y pinturas, y el procesamiento de minerales. Puede tener efectos mutagénicos, neurotóxicos crónicos y cancerígenos en los seres humanos tras una exposición prolongada. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha recomendado que el límite permisible de arsénico en el agua potable sea inferior a 0,01 mg/L (18).

La principal fuente de As en el medio ambiente (hidrósfera, pedósfera, biósfera y atmósfera) es la liberación de As de los minerales enriquecidos con As. Las fuentes de As incluyen tanto naturales, es decir, a través de la disolución de compuestos de As adsorbidos en minerales de pirita en el agua por factores geoquímicos como antropogénicos, es decir, a través del uso de insecticidas, herbicidas y fertilizantes fosfatados, industrias de semiconductores, minería y fundición, procesos industriales, combustión de carbón, conservantes de madera, etc. (24).

#### **A. Agua subterránea / agua potable**

Según las directrices de la OMS, el límite recomendado de arsénico en el agua potable es de 0,01 mg L<sup>-1</sup>. Sin embargo, los niveles de As en aguas superficiales y subterráneas no contaminadas varían típicamente de 1 a 10 µg L<sup>-1</sup>. Se informa que las concentraciones de As en el agua subterránea son muy amplias, desde menos de 0,5 a 5000 mg L<sup>-1</sup>, lo que cubre la contaminación natural por As que se encuentra en más de 70 países (24).

La contaminación del agua potable es la principal fuente de As para el ser humano, pero para la población no expuesta a niveles elevados de As en el agua potable, el consumo de alimentos cultivados en suelos contaminados con As o regados con agua contaminada con As representa las principales fuentes. De la ingesta de As para los seres humanos, lo que provoca un problema potencialmente mortal para millones de personas en grandes áreas del sudeste asiático. Por ejemplo, recientemente la exposición al As inorgánico atrajo la atención a través de los alimentos, ya que se informó que algunos alimentos, especialmente el arroz y las verduras, contienen altas concentraciones de As inorgánico en áreas con niveles elevados de As en el suelo y el agua de riego (24).

## **B. Concentración de arsénico en el suelo**

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, el límite permisible de arsénico en el suelo es de 24 mg kg<sup>-1</sup>. En el caso del suelo, también existen numerosas vías de propagación de la contaminación por As. Las principales fuentes de su contaminación en el suelo se identifican para incluir muchas actividades hechas por el hombre, por ejemplo, el uso de insecticidas, herbicidas y fertilizantes fosfatados, industrias de semiconductores, minería y fundición, procesos industriales, combustión de carbón, conservantes de madera, etc. (25). La concentración promedio de arsénico en la capa superior del suelo europeo se estima en 7,0 mg kg<sup>-1</sup>, pero la concentración de fondo puede diferir significativamente según las condiciones del suelo. En la Baja Silesia, en el suroeste de Polonia, se reportaron hasta 18,100 mg kg<sup>-1</sup> de As en el suelo de metales metalogénicos enriquecidos con Au (24).

### **2.2.4. Contaminación de aguas con arsénico**

La seguridad del agua potable es esencial para todos los seres humanos. En los últimos años, la contaminación por arsénico en el agua potable ha llamado mucho la atención (26, 27). El arsénico en la fuente de agua se deriva tanto de actividades antropogénicas como naturales. El agua subterránea con alta concentración de arsénico está muy extendida, especialmente en muchas áreas remotas de los países en desarrollo (28). El arsénico existente en las fuentes de agua potable tiene un alto riesgo para la salud humana. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha identificado el arsénico como carcinógeno. Se informó que la población total expuesta a agua contaminada con arsénico por encima de 10 µg/L, el estándar de arsénico para agua potable de la EPA (Agencia de Protección Ambiental), podría ser de más de 19 millones de personas en toda China (29). En Pakistán, gran parte de la llanura del Indo sufre el riesgo para la salud relacionado con el arsénico, con un impacto en aproximadamente 50 a 60 millones de personas que utilizan aguas subterráneas con un exceso de arsénico. El envenenamiento por arsénico endémico causado por beber agua con alto contenido de arsénico se ha convertido en un problema ambiental y de salud global (30).

En áreas urbanas, los sistemas de agua centralizados se utilizan a menudo para garantizar la seguridad del agua de los residentes. Sin embargo, los costos de construcción y mantenimiento de tales sistemas de tratamiento y distribución son relativamente altos. En algunos países y regiones en desarrollo, debido a limitaciones económicas y técnicas, falta infraestructura adecuada y la seguridad del agua potable es difícil de garantizar. De acuerdo con las características de la residencia

descentralizada en las zonas rurales, los dispositivos domésticos distribuidos para el tratamiento del agua potable son más adecuados. Para áreas remotas en países en desarrollo, el desarrollo de dispositivos de tratamiento domésticos eficientes y rentables es crucial para garantizar la seguridad del agua potable (31, 32).

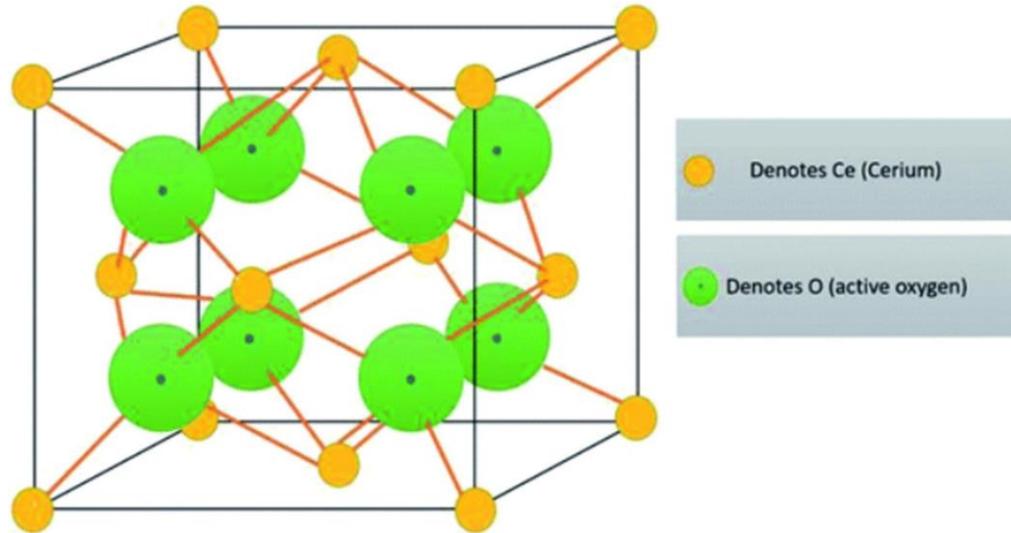
### **2.2.5. Problemática por la contaminación de arsénico en aguas**

El arsénico es un elemento metaloide que se puede encontrar en la corteza terrestre y uno de los principales contaminantes tóxicos del agua que ha preocupado a la fraternidad científica durante muchos años. Las vías de contaminación por arsénico son tanto naturales como antropogénicas. Sin embargo, la fuente predominante de contaminación por arsénico es geogénica a través de la meteorización de minerales naturales (33, 34). Los informes de la OMS indican que más de 226 millones de personas se ven afectadas por la contaminación por arsénico en todo el mundo (35). Particularmente en Bangladesh, más de 80 millones de personas todavía beben agua expuesta al arsénico y es muy lamentable que aproximadamente 400 personas ya hayan perdido la vida debido al consumo de agua cargada de arsénico desde 2000 a 2009 (36). Existen numerosos problemas relacionados con la salud asociados con la exposición a concentraciones elevadas de arsénico, que incluyen decoloración de la piel, dermatitis, diabetes, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, cáncer, enfermedades intestinales, neurotoxicidad y, en última instancia, la muerte (37, 38). La OMS y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US, EPA) ajustaron la concentración permitida de arsénico de 50  $\mu\text{g/L}$  a 10  $\mu\text{g/L}$  en el agua potable para minimizar el riesgo para la salud de los seres humanos. Por lo tanto, la eliminación efectiva de arsénico del agua ha suscitado una preocupación mundial (35, 39).

### **2.2.6. Óxido de cerio o ceria**

El cerio es un miembro de la familia de los lantánidos con un número atómico de 58. La ceria (óxido de cerio) tiene una estructura de fluorita, y la estructura reticular de la ceria se muestra en la figura 1 (40). Los átomos de cerio cubren los puntos de la red del cristal centrado en la cara, mientras que los cristales de oxígeno están presentes en el vacío. Entonces, hay cuatro átomos de cerio y ocho átomos de oxígeno presentes en una celda unitaria (41). El átomo de cerio<sup>4+</sup> tiene una coordinación n.º 8, y cada átomo de oxígeno está cubierto tetraédricamente por el átomo de cerio<sup>4+</sup> que tiene una coordinación n.º 4. Se encontró que la constante de celda era 0,541 nm. El cerio en ceria suele estar presente tanto en estados de oxidación +3 como en +4, que se coordinan mejor con los átomos de oxígeno. Estos múltiples estados de oxidación ayudan a eliminar el CO, el NO y los hidrocarburos de los gases de escape industriales

(42, 43). Como la ceria puede cambiar entre sus estados de valencia, reduce el daño por estrés oxidativo y se hace pasar por enzimas específicas, como la catalasa, la oxidasa peroxidasa y la superóxido dismutasa (44, 45).



*Figura 1. Estructura cúbica centrada en la cara de nanopartículas de óxido de cerio (CeO<sub>2</sub>) (40)*

### 2.2.7. Nanopartículas de dióxido de cerio

Se ha convertido en un hecho convencional que las nanopartículas de óxido de cerio (nanocería) poseen una actividad biológica anómala. Muchos aspectos relacionados con las propiedades físicas, químicas y el comportamiento biológico de la nanocería siguen sin estar claros (46, 47). Para explicar la acción biológica específica de la nanocería, la mayoría de los autores extrapolan los datos existentes sobre su actividad catalítica en procesos industrialmente relevantes (el craqueo de aceites pesados, la conversión de gases de escape, la división del agua y la oxidación de sustancias orgánicas) a fenómenos biológicos, eventualmente llamados nanocería a un catalizador biológico. Dichos nanomateriales se atribuyen a una clase especial de compuestos llamados "nanozimas" (nanopartículas capaces de realizar la función de las enzimas) (48). Tal extrapolación tiene varios inconvenientes importantes. La primera es que "los mecanismos por los que un catalizador cerámico, cuya acción química normal suele estar asociada con las altas temperaturas (>450 °C), opera beneficiosamente a temperaturas fisiológicas (37 °C) no están claros actualmente". Otro contraargumento serio es el hecho de que la nanocería en los sistemas biológicos normalmente actúan como un antioxidante, mientras que en los procesos técnicos catalizan predominantemente los procesos de oxidación (49). En los procesos en los que se reduce el sustrato, el óxido de cerio no actúa como agente reductor, sino que cataliza la oxidación de un reductor externo para reducir el sustrato (p. ej., este es el

caso de la reducción de  $\text{SO}_2$  por monóxido de carbono o  $\text{NO}_x$  con amoníaco). Para eliminar estas contradicciones, los investigadores generalmente se basan en la hipótesis de la no estequiometría con alto contenido de oxígeno de las nanopartículas de óxido de cerio en entornos biológicos. Sin embargo, incluso el  $\text{CeO}_{2-x}$  no estequiométrico parcialmente reducido exhibe propiedades oxidantes en procesos técnicos debido a la generación de ROS (especies reactivas de oxígeno, es decir, radical superóxido) en su superficie, se encontró que las vacantes de oxígeno de la ceria promueven la descomposición de moléculas de agua en radicales  $\text{OH}\cdot$  activos, mientras que en los sistemas vivos, la nanocería generalmente actúa como un neutralizador de ROS y un eliminador de radicales libres (50).

### **2.2.8. Tratamiento de agua por adsorción utilizando $\text{CeO}_2$**

Las técnicas de adsorción también se utilizan para la eliminación de diversos contaminantes de las aguas residuales. Este proceso es bastante simple y rentable y se utiliza cuando la concentración de contaminantes es relativamente baja. Este proceso atrae a muchos investigadores, ya que no requieren ningún tratamiento previo para que comience el proceso. La adsorción no da como resultado subproductos nocivos y su utilización se simplifica bastante. La adsorción es principalmente de dos tipos, química y física. La adsorción química, donde existe un fuerte enlace entre el adsorbente y el adsorbato creado debido a la transferencia de electrones. Mientras tanto, los enlaces físicos de adsorción son relativamente más débiles debido a la fuerza de Vander-Walls entre el adsorbente y el adsorbato (1).

El óxido de cerio también se ha utilizado como adsorbente para tintes orgánicos, iones metálicos tóxicos y pesticidas. El óxido de cerio dopado también se ha utilizado para aumentar la eficacia de la adsorción de óxido de cerio puro. Meepho et al. (51) utilizaron ceria prístina para degradar Pb, Zn, Cu siguiendo el modelo de isoterma de Langmuir. Descubrieron que, entre los tres metales, el Pb se degradaba a un ritmo más rápido. La reacción sigue la cinética de pseudosegundo orden. La degradación depende de la temperatura, el tiempo y el pH, donde el pH óptimo es 5,6. El arsénico también fue degradado por óxido de cerio puro por Pang et al. (52). El modelo de isoterma utilizado fue el modelo de Freundlich y Langmuir, y la reacción fue una reacción de primer orden. Sawana et al. (53) carbón activado dopado en ceria para la degradación de As (III) y As (V). La degradación siguió la isoterma de Freundlich, y la adsorción es altamente eficiente y se lleva a cabo sin ningún proceso de preoxidación. Se obtuvo una eficiencia del 90 % en 60 min utilizando el catalizador.

### 2.2.9. Influencia de la adsorción en el pH

En el estudio de Ronghui et al. (6) se demostró el rendimiento de eliminación de arsénico de las nanopartículas de óxido de cerio hidratado a diferentes valores de pH con la misma concentración inicial de arsénico As (III) y As (V) como se muestra en la figura 2.

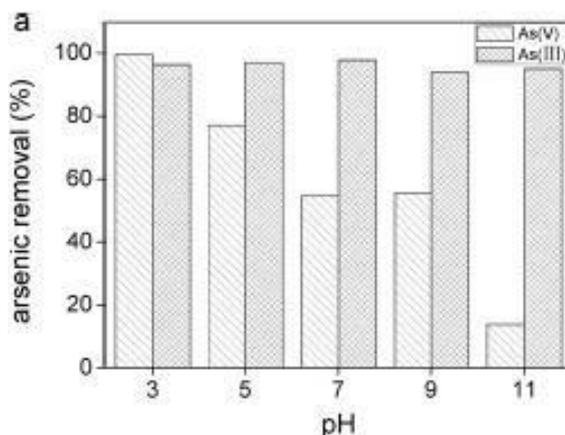


Figura 2. Efecto del pH de la solución (6)

El porcentaje de remoción de As (V) disminuyó continuamente de 99,7 % a 54,7 % y a 13,9 % cuando el pH aumentó de 3 a 7 y a 11, lo que es similar a reportes previos sobre adsorbentes de arsénico. Sin embargo, el porcentaje de remoción de As (III) no muestra una dependencia significativa del pH de la solución de As (III), que aumentó levemente de 96,4 % a pH 3 a 97,9 % a pH 7 (el máximo), y luego disminuyó levemente a 95 % a pH 11. No se había informado antes de un rendimiento de adsorción tan bueno en un amplio rango de pH óptimo (de 3 a 11) en As (III) más móvil y tóxico en varios adsorbentes de arsénico (6).

### 2.2.10. Influencia de los nanoadsorbentes y el tiempo de contacto

Los diferentes estudios realizan experimentos por lotes para estudiar el comportamiento de adsorción de los materiales. Se investigan diferentes parámetros (el adsorbente, tiempo de contacto y pH) que afectan la adsorción de As (III). Se comparan las capacidades de adsorción de diferentes nanoadsorbentes puros y modificados. Por ejemplo, en el estudio de Xiang et al. (54), como se ve en la figura 3, la capacidad de adsorción de la nanopartícula de óxido de hierro super paramagnética “Spion” y “Spion” cargado con esponja aumentó con la concentración inicial de As (III). Por el contrario, la adsorción de As (III) en la esponja estuvo por debajo del límite de detección del método colorimétrico utilizado y, por lo tanto, puede considerarse insignificante. Esto significa que la esponja actúa principalmente como soporte para

reducir la agregación de Spion. Estos resultados muestran que el compuesto Spion cargado con esponja tiene menos capacidad de adsorción que el Spion sin soporte; sin embargo, cuando se considera solo la pequeña fracción de masa de Spion en el compuesto, 2,6 % en peso, hay una mejora de la capacidad de adsorción de más de un orden de magnitud respecto al Spion sin soporte.

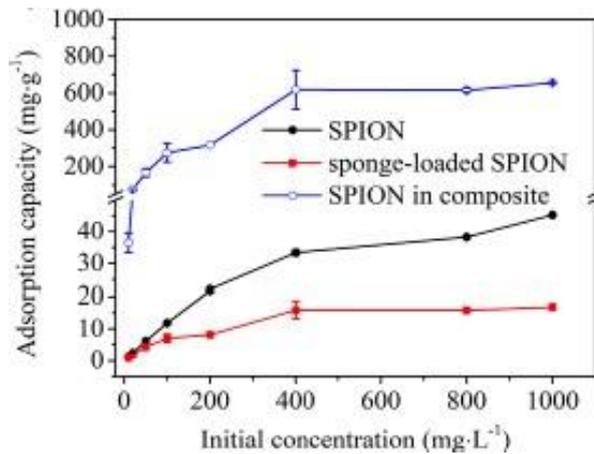


Figura 3. Influencia del nanoadsorbente (54)

La dependencia de la capacidad de adsorción con respecto al tiempo de contacto se muestra en la figura 4. Hay un fuerte aumento en la capacidad de adsorción durante los 60 minutos iniciales. Esto se puede atribuir a la gran cantidad de sitios de adsorción inicialmente disponibles en la superficie del adsorbente. Al normalizar por la fracción de masa del Spion cargado, la capacidad de adsorción del Spion en el material compuesto alcanza los 295,6 mg/g. Esto es aproximadamente 14 veces superior a la del Spion sin soporte (21,0 mg/g) (54).

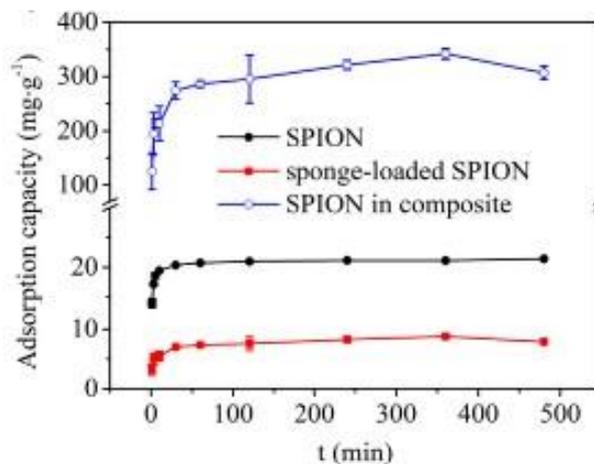


Figura 4. Influencia del tiempo de contacto (54)

## 2.2.11. Isotermas de adsorción

### A. Isoterma de Langmuir

La isoterma de Langmuir se desarrolló inicialmente para la interacción gas-sólido, pero también se usa para varios adsorbentes. Es un modelo empírico basado en principios cinéticos; es decir, las tasas superficiales de adsorción y desorción son iguales con acumulación cero en condiciones de equilibrio. Con base en las siguientes suposiciones, (a) adsorción en una sola capa, (b) sitios homogéneos, (c) energía de adsorción constante y (d) ausencia de adsorción lateral. interacción entre las moléculas adsorbidas (55).

La isoterma de Langmuir brinda información sobre la interacción ente el adsorbente y el adsorbato (monocapa en una superficie homogénea), la capacidad máxima de adsorción y si la adsorción es favorable o no (10).

La isoterma de Langmuir está determinada por la siguiente ecuación linealizada:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m b C_e}$$

C = concentración en el equilibrio (mg/L)

$q_e$  = cantidad de iones removidos en el equilibrio (mg/g)

$q_m$  = es la capacidad máxima de adsorción (mg/g)

b = constante de Langmuir de afinidad o energética (L/mg) (10)

### B. Isoterma de Freundlich

A diferencia de la isoterma de Langmuir, este modelo empírico se puede utilizar para la adsorción multicapa en sitios heterogéneos. Asume que la distribución del calor de adsorción y las afinidades hacia la superficie heterogénea no son uniformes (55).

La isoterma de Freundlich, también brinda información sobre la interacción ente el adsorbente y el adsorbato (multicapa en una superficie heterogénea), la capacidad máxima de adsorción y si la adsorción es favorable o no.

La isoterma de Freundlich está determinada por la siguiente ecuación

linealizada (10):

$$\log(q_e) = \log(k_f) + \frac{1}{n}(C_e)$$

$C_e$  = concentración en el equilibrio (mg/L)

$q_e$  = es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

$K_f$  = constante de Freundlich relacionada a la capacidad de adsorción (mg/g)

$n$  = intensidad de adsorción (L/mg) (10)

$1/n$  es la intensidad de adsorción o heterogeneidad superficial. Cuando  $0 < 1/n < 1$ , la adsorción se considera favorable. La adsorción desfavorable ocurre cuando  $1/n > 1$  y es irreversible en  $1/n = 1$  (55).

La isoterma de Freundlich describe la adsorción multicapa y supone un decaimiento exponencial en la distribución de energía de los sitios adsorbidos. Sin embargo, no es válido para una amplia gama de datos de adsorción (55).

### C. Capacidad de adsorción en el equilibrio ( $q_e$ )

La variable  $q_e$  será determinada mediante la siguiente ecuación (10):

$$q_e = \frac{v(c_i - c_e)}{w}$$

$v$  = volumen de solución en litros (L)

$C_i$  = concentración inicial (mg/L)

$C_e$  = concentración en el equilibrio (mg/L)

$w$  = dosis de adsorbente en gramos (g)

## 2.3. Definición de términos básicos

- ❖ **Absorción:** es una operación de transferencia de materia, en donde unos gases se ponen en contacto con un líquido para disolver de manera selectiva uno o dos componentes del gas (56).

- ❖ **Nanozimas:** nanopartículas que quieren adoptar ciertas propiedades de la encimas, encimas artificiales que buscan suplir a las naturales (57).
- ❖ **Estequiometria:** mide las proporciones cualitativas y cuantitativas de elementos (reactivos o productos) implicados en una reacción química (58).
- ❖ **Adsorbato:** sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente: el adsorbato se adhiere sobre la superficie del adsorbente por un proceso de adsorción (56).
- ❖ **Paramagnético:** materiales que son débilmente atraídos a un campo magnético, pero cuando son alejados completamente del campo no tienen alguna propiedad magnética (59).
- ❖ **Arsénico:** es un elemento metaloide que se puede encontrar en la corteza terrestre y uno de los principales contaminantes tóxicos del agua que ha preocupado a la fraternidad científica (26).
- ❖ **Oxido de cerio:** el cerio es un miembro de la familia de los lantánidos con un número atómico de 58. La ceria (óxido de cerio) tiene una estructura de fluorita, y la estructura reticular de la ceria (40).
- ❖ **Nanopartículas de dióxido de cerio:** las nanopartículas de óxido de cerio son un novedoso material con aplicaciones muy prometedoras en campos actualmente tan críticos como la remediación de las aguas contaminadas (39).
- ❖ **Contaminación:** es la presencia de sustancias o elementos dañinos para los seres humanos y los ecosistemas (seres vivos) (40).
- ❖ **Solución acuosa:** se habla de una disolución acuosa (aq o ac) siempre que el disolvente (o el disolvente mayoritario, en el caso de una mezcla de disolventes) sea agua (60).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método de investigación**

El método general que se empleó fue el hipotético-deductivo, ya que la investigación busca solucionar un problema mediante el camino lógico deductivo, planteándose hipótesis de las posibles respuestas que se lograrán en la investigación y si concuerdan con investigaciones previas realizadas. Según Centty (61), el método hipotético-deductivo parte de una suposición o hipótesis que será comprobada mediante el desarrollo experimental donde se manipularán las variables de estudio para deducir la afirmación propuesta.

#### **3.1.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue aplicada con enfoque cuantitativo, porque se realizaron mediciones objetivas, para obtener resultados (remoción de As (III)) que fueron analizados mediante pruebas químicas para finalmente realizar el análisis estadístico de los resultados (62).

#### **3.1.3. Alcance de la investigación**

El alcance de la investigación fue explicativo, ya que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones de causa-efecto. Los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis (62).

### 3.1.4. Diseño de la investigación

Se empleó un diseño experimental puro y longitudinal, ya que se manipula una o más variables independientes para observar sus cambios en las variables dependientes en una situación de control, el diseño de la investigación fue experimental factorial 2<sup>3</sup>. Este diseño de investigación manipula las variables independientes tomando estos factores y combinándolos para evaluar su posterior efecto en un fenómeno experimental (62).

**Tabla 1. Nivel de las variables**

VARIABLES	Niveles	
pH	5	7
Masa de adsorbente	10 mg	25 mg
Tiempo de contacto	30 min	60 min

**Tabla 2. Diseño factorial 2<sup>3</sup>**

pH	Masa de adsorbente (mg)	Tiempo de contacto (min)	Remoción de As
5	10	30	R1
5	10	60	R2
5	25	30	R3
5	25	60	R4
7	10	30	R5
7	10	60	R6
7	25	30	R7
7	25	60	R8

Según el diseño se tendrán 8 pruebas principales y cada uno con dos repeticiones que suman 24 pruebas.

## 3.2. Materiales y métodos

### 3.2.1. Población y muestra

#### 3.2.1.1. Población

La población de la investigación son las soluciones acuosas contaminadas con arsénico (III).

#### 3.2.1.2. Muestra

La muestra estuvo constituida de 25 vasos de precipitación, donde 8 vasos

fueron con tratamiento, 3 repeticiones y 1 control.

Ecuación del tamaño de muestra para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times \sigma^2}{\varepsilon^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times \sigma^2}$$

n: tamaño de muestra

N: tamaño de la población

$Z_{\sigma}$ : valores de significancia

$\varepsilon$ : error

### Donde

N: es el tamaño de la población, para este trabajo fue de 7 500 mL.

$Z_{\sigma}$ : para este caso se trabajó con un nivel de confianza del 95 %, por lo que el nivel de significancia será:

$$\alpha = 1 - 0,95$$

$$\alpha = 0,05$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0,975$$

Se buscó el valor de 0,975 en la tabla de distribución normal se obtuvo como valor  $Z_{\sigma} = 1,96$  (62; 63):

$\varepsilon$ : el error para este trabajo fue de 0,061

$\sigma^2$ : variación de la población

Reemplazando los valores en la ecuación 1 se tiene:

$$n = \frac{7500 \times 1,96^2 \times 0,5^2}{0,061^2 \times (7500 - 1) + 1,96^2 \times 0,5^2}$$

$$n = 249,55$$

Redondeando

$n = 250 \text{ mL}$

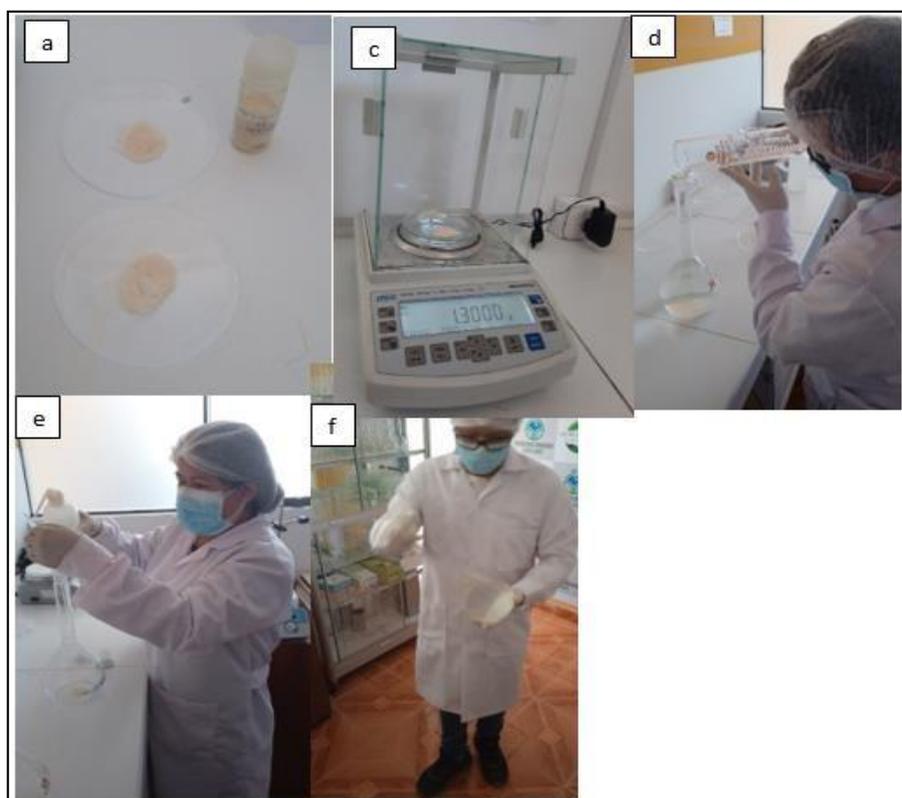
El volumen mínimo requerido para el desarrollo experimental para cada tratamiento fue de 250 mL

### 3.2.2. Procedimiento de la investigación

#### 3.2.2.1. Etapa 1: laboratorio

Preparación de la solución acuosa de As (III).

Las concentraciones de As (III) a preparar fue de 5 mg/L (ppm)



**Figura 5. Procedimiento de la investigación, etapa 1: laboratorio**

- a) Se prepararon las soluciones acuosas a partir de la sal de arsenito de sodio  $\text{NaAsO}_2$ , que fueron comprados de una distribuidora de insumos químicos ubicado en la provincia de Huancayo.
- b) Se calculó la masa de  $\text{NaAsO}_2$  necesaria para una concentración de 5 mg/L, un volumen (V) de 1 L y un peso molecular (PM) de 129,91

g/mol, con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\text{masa}}{\frac{PM}{V}}, \text{ masa} = C \times V \times PM$$

- c) Se diluirá 1.3 g de NaAsO<sub>2</sub> en 2 L de agua destilada para una concentración de 5 ppm de As (III).
- d) Se realizó la medición del agua destilada a una cantidad de 2 litros, para ello se utilizó una fiola de capacidad de 2 litros y una probeta de 2 litros.
- e) Una vez medidos los 2 litros de agua destilada se pasó a realizar el aforo de la fiola.
- f) Finalmente, se realizó la homogenización del agua destilada con el arsenito de sodio.

### 3.2.2.2. Etapa 2: experimentación

**Tabla 3. 24 tratamientos realizados**

Remoción de As(III)					
pH	Masa de adsorbente (mg)	Tiempo de contacto (min)	R1	R2	R3
5	10	30	R1R1	R2R1	R3R1
5	10	60	R1R2	R2R2	R3R2
5	25	30	R1R3	R2R3	R3R3
5	25	60	R1R4	R2R4	R3R4
7	10	30	R1R5	R2R5	R3R5
7	10	60	R1R6	R2R6	R3R6
7	25	30	R1R7	R2R7	R3R7
7	25	60	R1R8	R2R8	R3R8



**Figura 6. Etapa 2: experimentación**

a) Procedimiento para la remoción de As (III) empleando las nanopartículas de óxido de cerio ( $n\text{CeO}_2$ ), para ello se realizó la compra de dichas nanopartículas de la empresa mkNANO.

b) La solución acuosa de aguas sintéticas de  $\text{NaAsO}_2$  a 5 ppm fueron ajustadas a un pH inicial de 5 y 7 con  $\text{HCl}$  0.1 M o  $\text{NaOH}$  0.1 M en un vaso de precipitados de 500 mL.

Para calcular la cantidad de  $\text{NaOH}$  a utilizar se procedió a la fórmula:

$$M = \frac{w}{v \times \bar{M}}$$

$$0,1 = \frac{w}{0.01 \times 40}$$

$$w = 0.04 \text{ g}$$

Se pesó 0.04 g de  $\text{NaOH}$  para una concentración de 0.1 M en 10 mL. Que se utilizarán para llevar a un medio básico las muestras y se agregarán

mediante un gotero controlando con un multiparámetro hasta alcanzar el pH requerido.

$$V = \frac{v^2 \times M \times PM}{1000 \times \%P/P \times \rho}$$

$$V = \frac{100^2 \times 0.1 \times 36.45}{1000 \times 37 \times 1.19}$$

$$V = 0.82 \text{ mL}$$

Se tomó 0.82 mL de HCl químicamente puro de 37 % para hacer la variación del pH.

- c) Se pondrá en contacto 10 mg y 25 mg de nCeO<sub>2</sub> con la solución acuosa de As (III) por un tiempo de 30 min y 60 min a una agitación constante de 500 rpm y temperatura ambiente.
- d) Terminado el tiempo de contacto de la nCeO<sub>2</sub> con la solución acuosa de As (III), se tomaron alícuotas de la solución final para la determinación de concentración final de As (III) por espectrofotometría UV visible.
- e) Finalmente, se calculó el porcentaje de remoción de As (III), mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Adsorción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

C<sub>o</sub> = concentración inicial mg/L

C<sub>f</sub> = concentración final mg/L

Estudio de isotermas de adsorción de As (III) empleando las nanopartículas de óxido de cerio (nCeO<sub>2</sub>).

## Estudio complementario de las isotermas de adsorción

### Estudio de las isotermas

Se realizó el estudio de las isotermas de adsorción para determinar la capacidad de adsorción que proporcionará las  $n\text{CeO}_2$  en las soluciones acuosas de As (III).



*Figura 7. Estudio de las isotermas*

- a) Se evaluaron 5 cantidades diferentes de masas de adsorbente: 10 mg, 15 mg, 20 mg, 25 mg y 30 mg en un tiempo de equilibrio, determinado experimentalmente mediante las isotermas de Langmuir y las isotermas de Freundlich.

#### a) Isoterma de Langmuir

La isoterma de Langmuir brindó información sobre la interacción entre el adsorbente y el adsorbato (monocapa en una superficie homogénea), la capacidad máxima de adsorción y si la adsorción es favorable o no.

La isoterma de Langmuir estuvo determinada por la siguiente ecuación linealizada:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m b C_e}$$

$C$  = concentración en el equilibrio (mg/L)

$q_e$  = cantidad de iones removidos en el equilibrio (mg/g)

$q_m$  = es la capacidad máxima de adsorción (mg/g)

$b$  = constante de Langmuir de afinidad o energética (L/mg) (10)

### **b) Isoterma de Freundlich**

La isoterma de Freundlich, también brindará información sobre la interacción ente el adsorbente y el adsorbato (multicapa en una superficie heterogénea), la capacidad máxima de adsorción y si la adsorción es favorable o no.

La isoterma de Freundlich estuvo determinada por la siguiente ecuación linealizada:

$$\log(q_e) = \log(k_f) + \frac{1}{n} (C_e)$$

$C_e$  = concentración en el equilibrio (mg/L)

$q_e$  = es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

$K_f$  = constante de Freundlich relacionado a la capacidad de adsorción (mg/g)

$n$  = intensidad de adsorción (L/mg) (10)

### **c) Determinación de la capacidad de adsorción en el equilibrio ( $q_e$ )**

La variable  $q_e$  fue determinada mediante la siguiente ecuación: (10)

$$q_e = \frac{v(C_i - C_e)}{w}$$

$v$  = volumen de solución en litros (L)

$C_i$  = concentración inicial (mg/L)

$C_e$  = concentración en el equilibrio (mg/L)

$w$  = dosis de adsorbente en gramos (g)

### **Método estadístico**

- a) Se procesó la información obtenida de los reportes de los laboratorios y de la concentración final de As (III).
- b) Se realizó el análisis de varianza Anova para realizar la comprobación de las hipótesis.

### **3.2.2.3. Etapa 3: gabinete**

- a) Se procesó la información obtenida de los reportes de los laboratorios sobre la concentración de arsénico final.
- b) Se realizó el análisis de varianza más conocida como Anova, que indica la influencia que tienen las variables manipuladas y también para realizar la comprobación de las hipótesis y así aceptar o rechazar la hipótesis alterna, por último, se utilizó el método de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias.

## **3.3. Técnica e instrumento de recolección de datos**

### **3.3.1. Técnica e instrumento**

#### **Técnica**

- Observación experimental

#### **Instrumento**

- Ficha de datos

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación de resultados

Los resultados obtenidos se presentaron en tablas y gráficas para ver la influencia que tienen las variables independientes sobre la remoción del arsénico III, donde la concentración inicial de As(III) es de 4.94 ppm.

**Tabla 4. Máxima remoción de As (III)**

pH	Masa (mg)	Tiempo (min)	Remoción de As (%)
5	10	30	47.17
5	10	60	57.83
5	25	30	94.40
5	25	60	97.30
7	10	30	41.43
7	10	60	50.27
7	25	30	65.18
7	25	60	78.88

En la tabla 4 se observa la máxima remoción de arsénico con un 97.30 % a un pH de 5 una masa de 25 mg y un tiempo de 60 min, la segunda máxima remoción de arsénico fue de 94.40 % a un pH de 5 una masa de 25 mg y un tiempo de 30 min y la menor remoción de arsénico fue de 41.43 % a un pH de 7 una masa de 10 mg y un tiempo de 30 min.

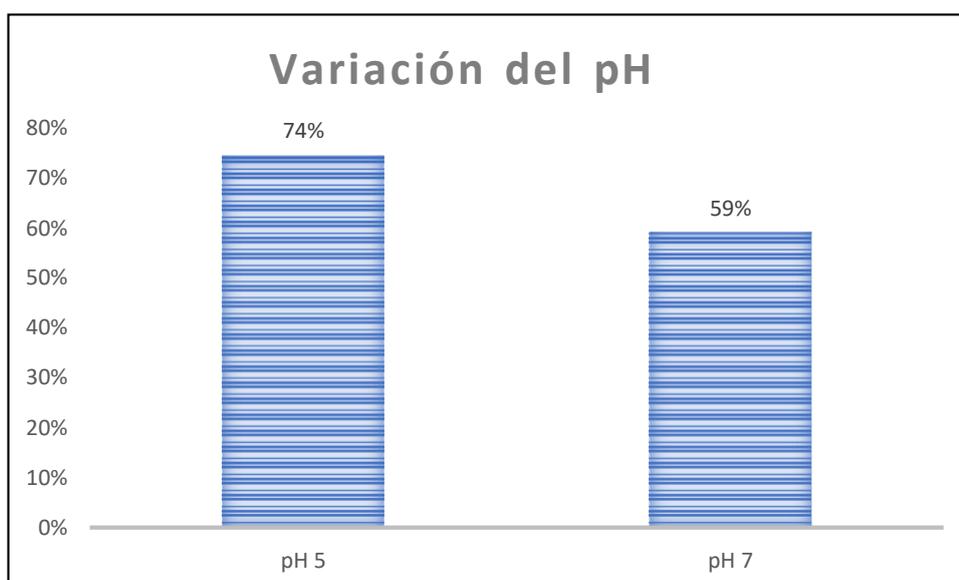
#### 4.1.1. Influencia del pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III

Para observar la influencia del pH en la remoción de arsénico III, se trabajó con valores de 5 y 7.

**Tabla 5. Remoción de As (III) con variaciones de pH**

pH	Remoción de As (%)	pH	Remoción de As (%)
5	47.77	7	41.70
5	58.30	7	50.40
5	94.33	7	65.18
5	97.57	7	78.95
5	46.56	7	40.69
5	57.49	7	49.60
5	94.13	7	65.59
5	96.96	7	79.35
5	47.17	7	41.90
5	57.69	7	50.81
5	94.74	7	64.78
5	97.37	7	78.34
<b>Promedio</b>	<b>74.17</b>	<b>Promedio</b>	<b>58.94</b>

La tabla 5 muestra la remoción del As (III) con variaciones de pH, donde a un pH de 5 se muestra la mayor remoción de As (III) con un 74.17 % y a mayor pH de 7 se tuvo menor remoción de As (III) con un 58.94 %. Teniendo una diferencia del 15.23 % de pH 5 a pH 7.



**Figura 8. Remoción de As (III) con variación de pH**

La figura 8 muestra la remoción de As (III) con la variación de pH, donde la mayor remoción se tuvo a un valor de pH de 5 con un 74 %.

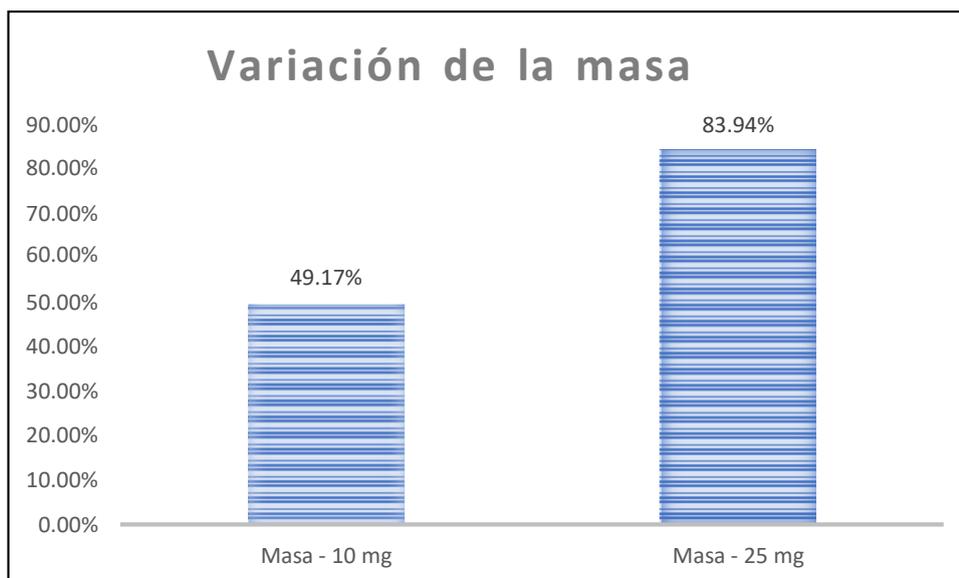
#### 4.1.2. Influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III

Para observar la influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III, se trabajó con valores de masa de 10 mg y 25 mg.

**Tabla 6. Remoción de As (III) con variaciones de la masa**

Masa (mg)	Remoción de As (%)	Masa (mg)	Remoción de As (%)
10	47.77	25	94.33
10	58.30	25	97.57
10	41.70	25	65.18
10	50.40	25	78.95
10	46.56	25	94.13
10	57.49	25	96.96
10	40.69	25	65.59
10	49.60	25	79.35
10	47.17	25	94.74
10	57.69	25	97.37
10	41.90	25	64.78
10	50.81	25	78.34
<b>Promedio</b>	<b>49.17</b>	<b>Promedio</b>	<b>83.94</b>

La tabla 6 muestra la remoción del As (III) con variaciones de la masa de nanopartículas de óxido de cerio, donde a una masa de 25 mg se muestra la mayor remoción de As (III) con un 83.94 % y a menor masa de nanopartículas de óxido de cerio se tuvo menor remoción de As (III) con un 49.17 %. Teniendo una diferencia del 34.77 % de masa de 25 mg a una masa de 10 mg.



**Figura 9. Remoción de As (III) con variación de masa**

La figura 9 muestra la remoción de As (III) con la variación de la masa de nanopartículas de óxido de cerio, donde la mayor remoción se tuvo a un valor de masa de 25 mg con un 83.94 %

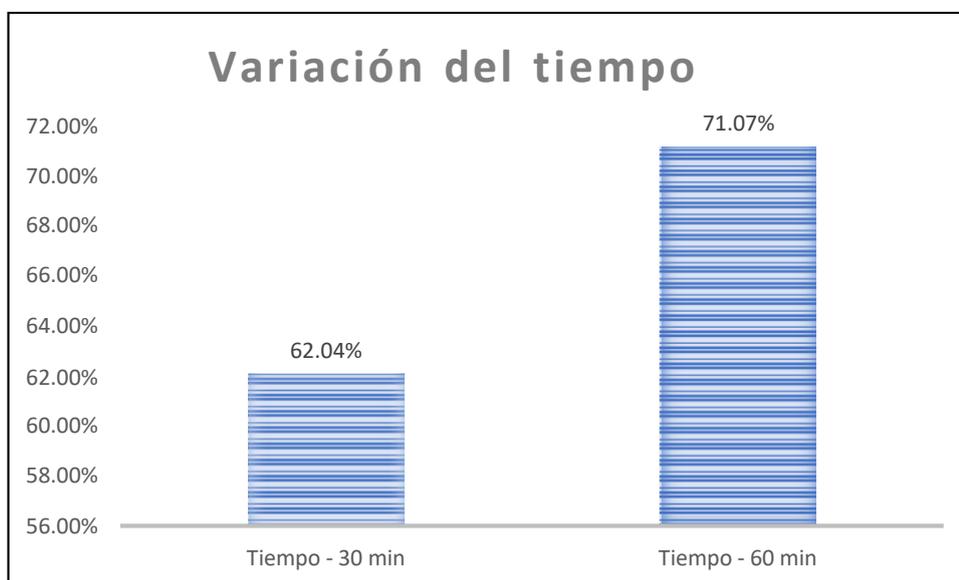
#### **4.1.3. Influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III**

Para observar la influencia del tiempo de contacto en la remoción de arsénico III, se trabajó con valores de tiempo de 30 min y 60 min.

**Tabla 7. Remoción de As (III) con variaciones del tiempo de contacto**

Tiempo (min)	Remoción de As (%)	Tiempo (min)	Remoción de As (%)
30	47.77	60	58.30
30	94.33	60	97.57
30	41.70	60	50.40
30	65.18	60	78.95
30	46.56	60	57.49
30	94.13	60	96.96
30	40.69	60	49.60
30	65.59	60	79.35
30	47.17	60	57.69
30	94.74	60	97.37
30	41.90	60	50.81
30	64.78	60	78.34
<b>Promedio</b>	<b>62.04</b>	<b>Promedio</b>	<b>71.07</b>

La tabla 7 muestra la remoción del As (III) con variaciones del tiempo de contacto, donde a un tiempo de 60 min se muestra la mayor remoción de As (III) con un 71.07 % y a menor tiempo se tuvo menor remoción de As (III) con un 62.04 %. Teniendo una diferencia del 9.03 % del tiempo de 60 min al tiempo de 30 min.



**Figura 10. Remoción de As (III) con variación del tiempo de contacto**

La figura 10 muestra la remoción de As (III) con la variación del tiempo de contacto, donde la mayor remoción se tuvo a un tiempo de 60 min con un 71.07 %.

Remoción de As (III) con la interacción de las variables independientes.

**Tabla 8. Remoción de As (III)**

pH	Masa (mg)	Tiempo (min)	Remoción de As (%)			
			R1	R2	R3	Promedio
5	10	30	47.77	46.56	47.17	47.17
5	10	60	58.30	57.49	57.69	57.83
5	25	30	94.33	94.13	94.74	94.40
5	25	60	97.57	96.96	97.37	97.30
7	10	30	41.70	40.69	41.90	41.43
7	10	60	50.40	49.60	50.81	50.27
7	25	30	65.18	65.59	64.78	65.18
7	25	60	78.95	79.35	78.34	78.88

La tabla 8 muestra la remoción de As (III) con la interacción de las variables, donde la mayor remoción se dio a un pH de 5, masa de nanopartículas de óxido de cerio de 25 mg y tiempo de contacto de 60 min con un 97.30 % y la menor remoción se dio a un pH de 7, masa de nanopartículas de óxido de cerio de 10 mg y tiempo de contacto

de 30 min con un 41.43 %.

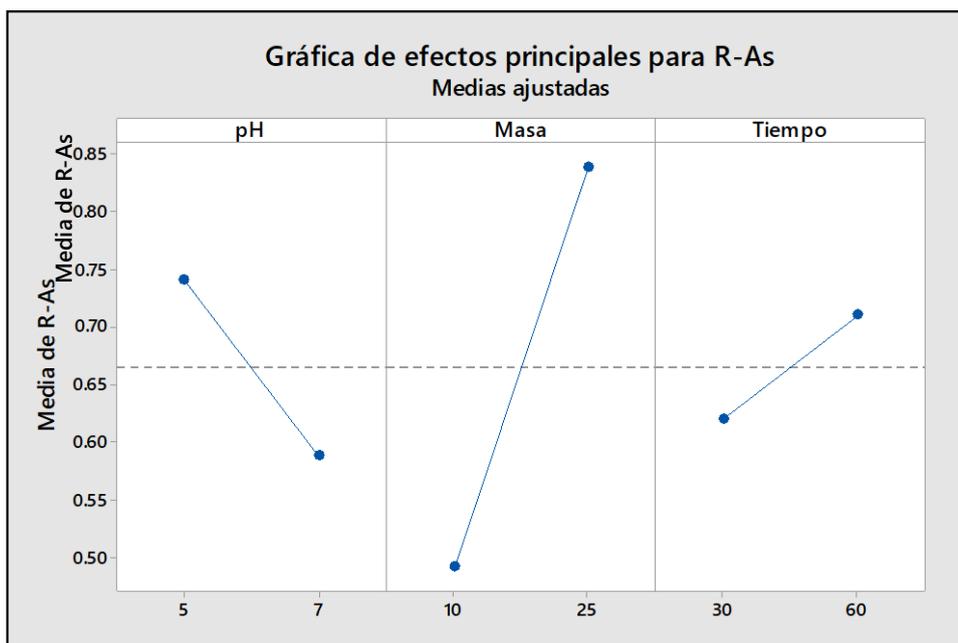


Figura 11. Efectos principales en la remoción de As (III)

La figura 11 muestra los efectos principales en la remoción de As (III), donde las condiciones óptimas fueron a un pH de 5, masa de nanopartículas de óxido de cerio de 25 mg y tiempo de contacto de 60 min.

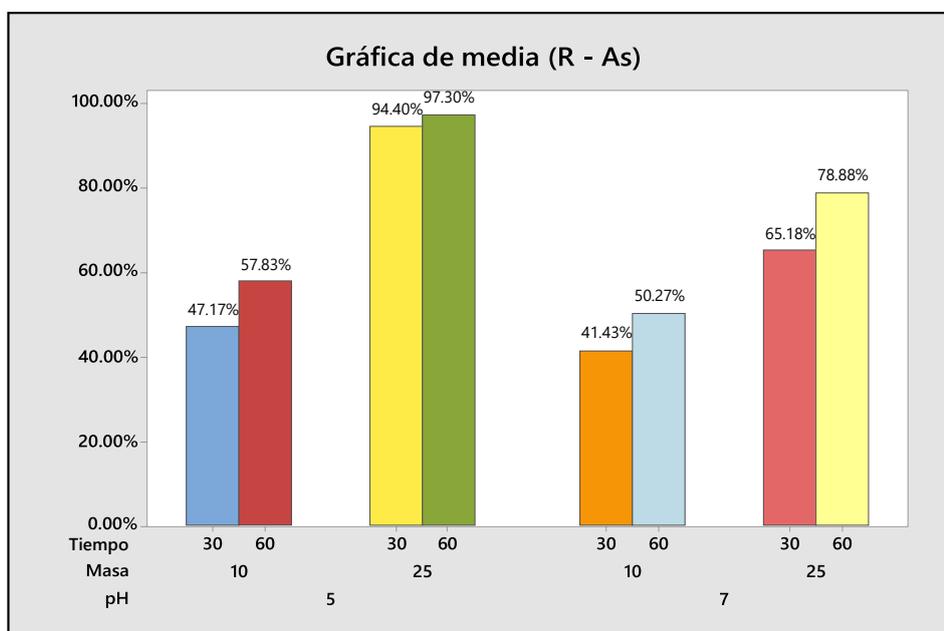


Figura 12. Media de la remoción de As (III)

La figura 12 muestra la gráfica media de la remoción de As (III), donde la mayor remoción se dio a un pH de 5, masa de nanopartículas de óxido de cerio de 25 mg y tiempo de contacto de 60 min con un 97.30 %.

#### 4.1.4. Influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III

Para observar la influencia de las nanopartículas de óxido de cerio se trabajó con masas de 10 mg a 30 mg y las isotermas de Freundlich y Langmuir.

**Tabla 9. Datos para las isotermas**

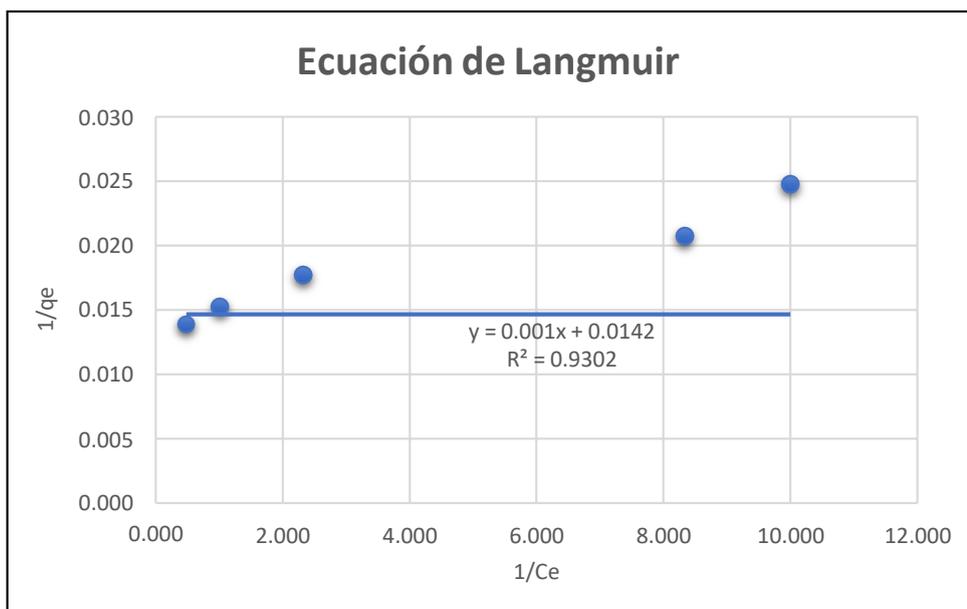
Masa (g)	As (ppm)
0.01	2.06
0.015	0.99
0.02	0.43
0.025	0.12
0.03	0.1

Isoterma de Langmuir

**Tabla 10. Datos para la isoterma de Langmuir**

Masa (g)	Ce L	q <sub>e</sub> (mg/g)	1/Ce (1/mg/L)	1/q <sub>e</sub> (1/mg/g)
0.01	2.06	72.000	0.485	0.014
0.015	0.99	65.833	1.010	0.015
0.02	0.43	56.375	2.326	0.018
0.025	0.12	48.200	8.333	0.021
0.03	0.1	40.333	10.000	0.025

La tabla 10 muestra los datos obtenidos para el desarrollo de la isoterma de Langmuir.



**Figura 13. Ecuación de Langmuir para la remoción de As (III)**

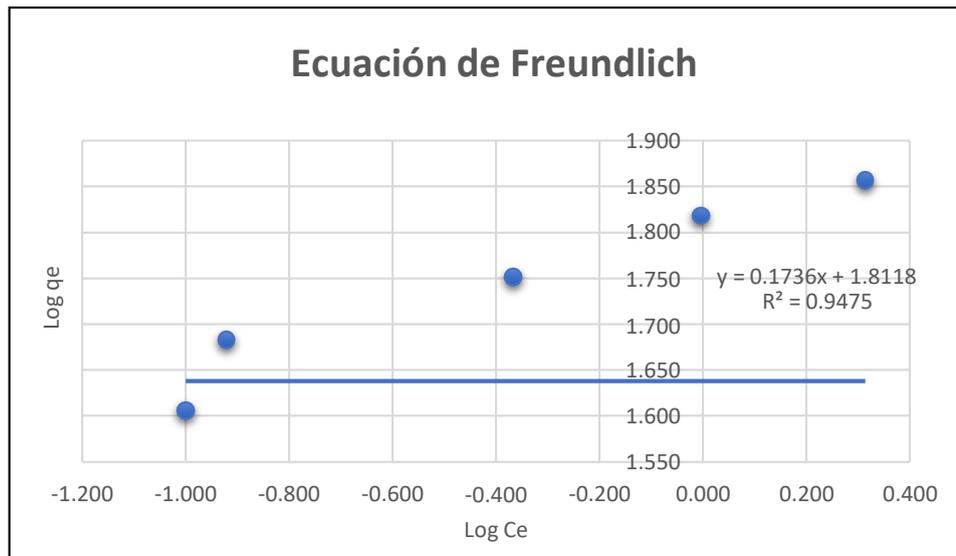
La figura 13 muestra la gráfica de Langmuir, presentando un valor de R2 de 0.9302.

#### Isoterma de Freundlich

**Tabla 11. Datos para la isoterma de Freundlich**

Masa (g)	Ce L)	qe(mg/g)	log Ce	log qe
0.01	2.06	72.000	0.314	1.857
0.015	0.99	65.833	-0.004	1.818
0.02	0.43	56.375	-0.367	1.751
0.025	0.12	48.200	-0.921	1.683
0.03	0.1	40.333	-1.000	1.606

La tabla 11 muestra los datos obtenidos para el desarrollo de la isoterma de Freundlich.



**Figura 14. Ecuación de Freundlich para la remoción de As (III)**

La figura 14 muestra la gráfica de Langmuir, presentando un valor de R2 de 0.9302.

#### Comparación de las isotermas de Langmuir y Freundlich

La comparación de las isotermas de Langmuir y Freundlich sirve para la elección de qué isoterma se acomoda a la remoción de As (III).

**Tabla 12. Valores de las isotermas de Freundlich y Langmuir**

Isotermas de Freundlich		Isotermas de Langmuir	
Ecuación de la isoterma	$y = 0.1736x + 1.8118$	Ecuación de la isoterma	$y = 0.001x + 0.0142$
R2	0.9475	R2	0.9302
Ordenada (log K <sub>f</sub> )	1.8118	Ordenada (1/q <sub>máx</sub> )	0.0142
Pendiente (1/n)	0.1736	Pendiente (1/q <sub>máx</sub> .b)	0.001
K <sub>f</sub>	64.83358	q <sub>máx</sub>	70.4225
n	5.76037	b	14.2000

La tabla 12 muestra los valores obtenidos de las isotermas de Freundlich y Langmuir, donde el modelo de adsorción sigue a la isoterma de Freundlich por el hecho que tiene un R2 de 0.9475, siendo mayor al obtenido en la isoterma de Langmuir.

También se observa que la capacidad de adsorción fue de 64.83 mg/g y la adsorción se considera favorable.

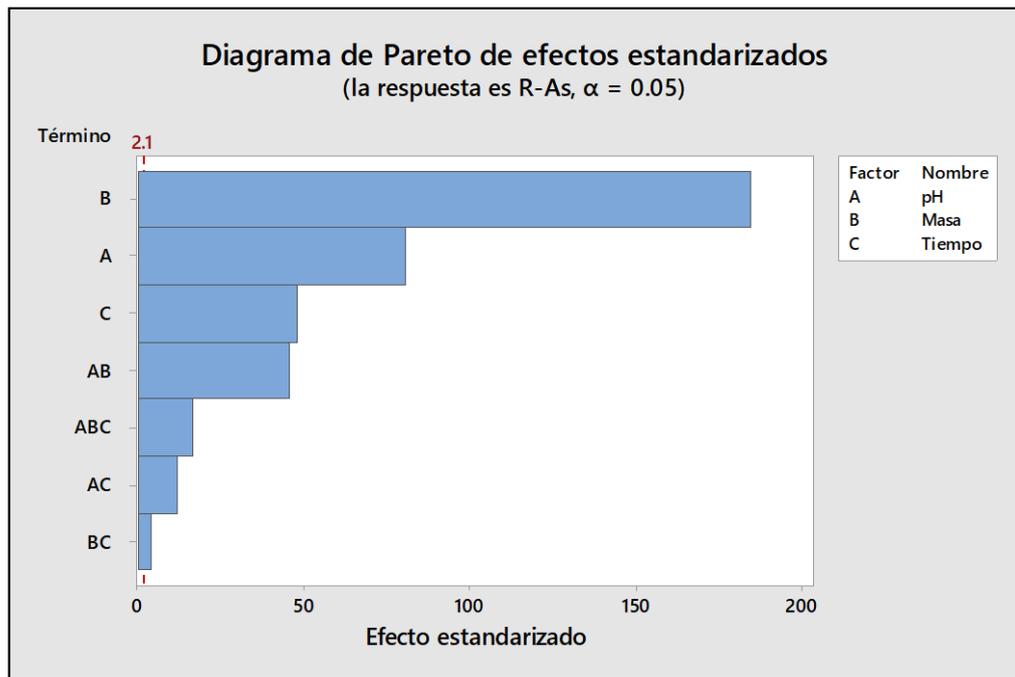
#### 4.2. Prueba de hipótesis

Para la contrastación de las hipótesis se utilizó el análisis de Anova del diseño factorial de  $2^3$ .

**Tabla 13. Varianza**

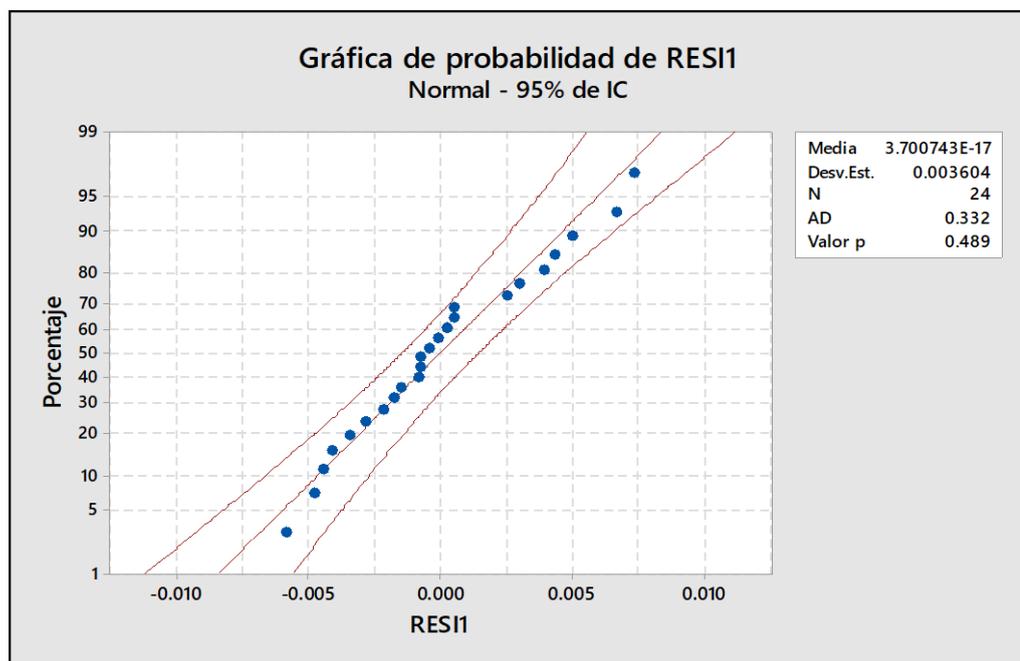
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.966985	0.107443	5034.22	0.000
Bloques	2	0.000095	0.000047	2.22	0.146
Lineal	3	0.913348	0.304449	14264.95	0.000
pH	1	0.139223	0.139223	6523.27	0.000
Masa	1	0.725255	0.725255	33981.77	0.000
Tiempo	1	0.048870	0.048870	2289.80	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.047571	0.015857	742.98	0.000
pH*Masa	1	0.044235	0.044235	2072.65	0.000
pH*Tiempo	1	0.003020	0.003020	141.51	0.000
Masa*Tiempo	1	0.000316	0.000316	14.79	0.002
Interacciones de 3 términos	1	0.005971	0.005971	279.75	0.000
pH*Masa*Tiempo	1	0.005971	0.005971	279.75	0.000
Error	14	0.000299	0.000021		
Total	23	0.967283			

La tabla 13 muestra el análisis de varianza del diseño factorial de  $2^3$ , donde se observa que los factores lineales del pH, masa y tiempo de contacto presentan un p valor de 0.000, siendo menor al valor de significancia de 0.05, por ende, los factores lineales presentan una influencia significativa en la remoción del arsénico (III).



*Figura 15. Pareto*

La figura 15 muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados, donde el mayor efecto es de la masa de las nanopartículas de cerio.



*Figura 16. Probabilidad*

La figura 16 muestra la gráfica de probabilidad de los datos obtenidos de la remoción de arsénico, donde se tuvo un p valor de 0.489 siendo mayor al de significancia de 0.05, por ende, se afirma que los datos siguen una distribución normal.

## **Contrastación de las hipótesis específicas**

### **Primera**

Ho = la influencia en el pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, no es significativa.

Ha = la influencia en el pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

### **Segunda**

Ho = la influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022, no es significativa.

Ha = la influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

### **Tercera**

Ho = la influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

Ha = la influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

En base a la tabla 12 del análisis de varianza del diseño factorial de  $2^3$ , donde se observa que los factores lineales del pH, masa y tiempo de contacto presentan un p valor de 0.000, siendo menor al valor de significancia de 0.05, por ende, los factores lineales presentan una influencia significativa en la remoción del arsénico (III). Aceptadas las hipótesis alternas de que, la influencia del pH, masa de nanopartículas de óxido de cerio y tiempo de contacto en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.

## **4.3. Discusión de resultados**

En el presente trabajo de investigación se trabajó con una concentración inicial de As (III) de 4.94 ppm, se realizó la variación del pH a valores de pH de 5 y 7, donde a un pH de 5 se muestra la mayor remoción de As (III) con un 74.17 % y a mayor pH de 7 se tuvo menor remoción de As (III) con un 58.94 %. Teniendo una diferencia del 15.23 % de pH 5 a pH 7. De acuerdo a Yu et al. (64) afirman que la eliminación de As (III) aumenta de pH 3 a 5 y comienza a reducirse de pH 5 a 9. La remoción óptima de arsénico se alcanza a pH 5 con capacidades de adsorción de 33,4 mg-As/g para As (III). La razón de la tendencia del As (III) en el rango de

pH probado puede deberse al hecho de que el As (III) se oxida parcialmente a As (V) antes de ser adsorbido en el adsorbente. Mishra et al. (1) tuvo resultados similares a esta investigación, indicando que el rango de pH óptimo para la eliminación de As(III) usando nanopartículas de óxido de cerio es de 6 a 9. Ya que el pH de la solución contaminada puede afectar negativamente la capacidad de adsorción del adsorbente al alterar la atracción o repulsión electrostática mediante el cambio de la carga superficial (potencial zeta) en la solución, la solubilidad de los adsorbentes y la lixiviación del contaminante en condiciones ácidas o básicas. De manera similar Song et al. (9) afirma que la capacidad de adsorción de As (III) del material compuesto aumentó gradualmente en el rango de pH de 2,0 a 7,0 y disminuyó drásticamente cuando el pH subió a 12,0. Estos resultados indicaron que la adsorción de As (III) dependía del pH. Como el valor de pH por debajo de 7,0,  $H_3AsO_3$  fue la especie principal en la solución. La capacidad de adsorción de As (III) aumentó gradualmente con un aumento en el valor de pH. Esto podría deberse a que  $H_3AsO_3$  prefirió formar complejos superficiales en el compuesto  $CeO_2$  en condiciones neutras. Con el aumento del valor de pH ( $pH > 7,0$ ), las especies de  $H_3AsO_3$  se convirtieron gradualmente en formas aniónicas de  $H_2AsO_3^-$  luego de una disminución significativa del rendimiento de adsorción de As (III). Pero Feng et al. (12) afirma que las pruebas de adsorción por lotes sobre el efecto del pH se llevaron a cabo dentro del rango de pH de 7 a 11 y la concentración inicial de As (III) fue de 100 mg/L. Se obtuvo una adsorción satisfactoria en el rango de pH estudiado, lo que es contradictorio con esta investigación, esto se debe principalmente al efecto del pH sobre las cargas superficiales de las especies de arsénico y los adsorbentes a base de cerio, lo que lleva a diferentes interacciones electrostáticas. Por último, Zhang et al. (15) estudiaron la remoción de As (III) con nanopartículas de  $CeO_2$  modificadas con Chitosán, donde varió el pH de 2 a 11 e indicó que algunos de los grupos OH disminuyeron debido a la reacción hidroxilada entre Ce-OH y As-OH durante el proceso de adsorción. Además, la capacidad de adsorción disminuyó a valores de pH superiores a 8,0 debido a la mayor competencia de los aniones  $OH^-$ . Además, el aumento de la repulsión coulombica entre las especies de As (III) y las superficies negativas de Ce-CNB podría ser otra de las principales razones de la disminución de la eliminación de As (III) en los medios básicos.

La masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas, se trabajó con valores de masa de 10 mg y 25 mg, donde a una masa de 25 mg se muestra la mayor remoción de As (III) con un 83.94 % y a menor masa de nanopartículas de óxido de cerio se tuvo menor remoción de As (III) con un 49.17 %. Teniendo una diferencia del 34.77 % de masa de 25 mg a una masa de 10 mg. Y el tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas, se trabajó con valores de tiempo de 30 min y 60 min, donde a un tiempo de 60 min se muestra la mayor remoción de As (III) con un 71.07 % y a menor tiempo se tuvo menor remoción de As (III) con

un 62.04 %. Teniendo una diferencia del 9.03 % del tiempo de 60 min al tiempo de 30 min. Por ende, a mayor masa y mayor tiempo de contacto mayor es la remoción del As (III). Estos resultados son similares a los obtenidos por los autores Yu et al. (64), Chen et al. (2), Mishra et al. (1), Song et al. (9), Wang et al. (14), Zhang et al. (15) y Olivera et al. (18), por motivo que la dependencia de la capacidad de adsorción con respecto al tiempo de contacto y masa de adsorbente se debe a que hay un fuerte aumento en la capacidad de adsorción durante los 60 minutos iniciales y a una mayor masa de adsorbente. Esto se puede atribuir a la gran cantidad de sitios de adsorción inicialmente disponibles en la superficie del adsorbente.

La máxima remoción de arsénico fue a 97.30 % a un pH de 5 una masa de 25 mg y un tiempo de 60 min, la segunda máxima remoción de arsénico fue de 94.40 % a un pH de 5 una masa de 25 mg y un tiempo de 30 min y la menor remoción de arsénico fue de 41.43 % a un pH de 7 una masa de 10 mg y un tiempo de 30 min. Observando así que, los niveles óptimos son pH de 5, masa de nanopartículas de 25 mg y tiempo de 60 min. Casos similares se presentaron en diversos autores como Yu et al. (64) quienes afirman que la eliminación de As (III) aumenta de pH 3 a 5, donde la remoción óptima de arsénico se alcanza a pH 5 con capacidades de adsorción de 33,4 mg-As/g para As (III), Song et al. (9) indicaron que la adsorción de As (III) dependía del pH por debajo de 7. Con respecto a la masa y tiempo, Chen et al. (2), Wang et al. (14), Zhang et al. (15) y Olivera et al. (18) afirman de la capacidad de adsorción con respecto al tiempo de contacto y masa de adsorbente se debe a que hay un fuerte aumento en la capacidad de adsorción durante los 60 minutos iniciales y a una mayor masa de adsorbente. Esto se puede atribuir a la gran cantidad de sitios de adsorción inicialmente disponibles en la superficie del adsorbente.

La influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas se trabajó con masas de 10 mg a 30 mg y las isothermas de Freundlich y Langmuir, donde el modelo de adsorción sigue a la isoterma de Freundlich por el hecho que tiene un  $R^2$  de 0.9475, siendo mayor al obtenido en la isoterma de Langmuir. También se observa que la capacidad de adsorción fue de 64.83 mg/g y la adsorción se considera favorable. De manera similar Song et al. (9) trabajó con las isothermas de adsorción en la remoción de arsénico (III) con nanopartículas de  $CeO_2$ , donde el modelo a seguir fue del de Freundlich con un  $R^2$  de 0.963 y una capacidad de adsorción de 61.39 mg/g.

De acuerdo a Yu et al. (64), el mecanismo hipotético para la adsorción y oxidación del arsénico se describe en la figura 17. El intercambio de ligandos entre los grupos de hidroxilo formados en la superficie del óxido de cerio y las especies de arsénico es probablemente responsable de la remoción de arsénico. A pH de solución alto, la desprotonación de los grupos

de hidroxilo da como resultado una repulsión electrostática más fuerte entre el adsorbente y el arsénico, lo que afectaría la difusión del arsénico hacia los sitios de adsorción en el adsorbente y, finalmente, causaría una influencia más significativa en la remoción de As (V) que como As (III). Solo una pequeña cantidad de As (III) puede adsorberse directamente en la superficie adsorbente debido a su baja afinidad hacia los sitios de adsorción. La abundante presencia de Ce (IV) provoca la oxidación parcial de As (III) a As (V) en la superficie del adsorbente. El As (V) convertido se puede adsorber más fácilmente.

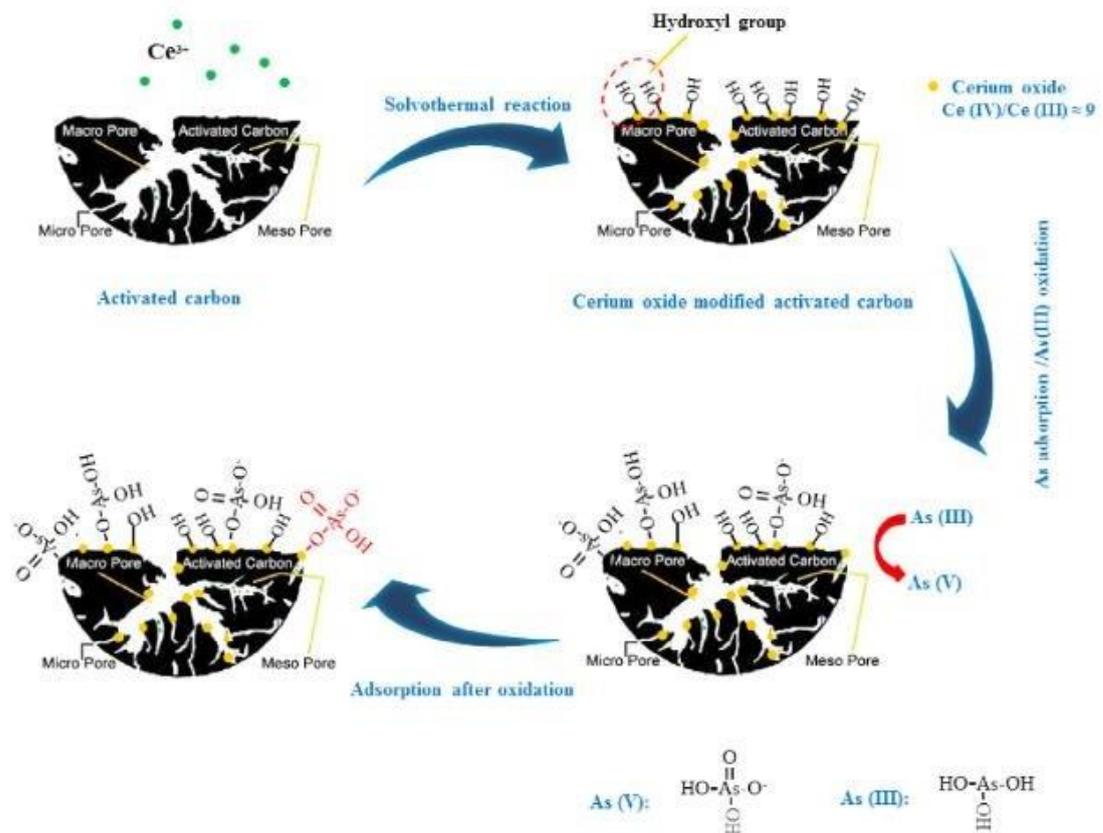


Figura 17. Diagrama esquemático del posible mecanismo de adsorción y oxidación del arsénico

## CONCLUSIONES

1. Se determinó la influencia en el pH de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, para ello se trabajó con valores de pH de 5 y 7, donde a un pH de 5 se muestra la mayor remoción de As (III) con un 74.17 % y a mayor pH de 7 se tuvo menor remoción de As (III) con un 58.94 %. Teniendo una diferencia del 15.23 % de pH 5 a pH 7.
2. Se determinó la influencia de la masa de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022, para ello se trabajó con valores de masa de 10 mg y 25 mg, donde a una masa de 25 mg se muestra la mayor remoción de As (III) con un 83.94 % y a menor masa de nanopartículas de óxido de cerio se tuvo menor remoción de As (III) con un 49.17 %. Teniendo una diferencia del 34.77 % de masa de 25 mg a una masa de 10 mg.
3. Se determinó la influencia del tiempo de contacto de nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, para ello se trabajó con valores de tiempo de 30 min y 60 min, donde a un tiempo de 60 min se muestra la mayor remoción de As (III) con un 71.07 % y a menor tiempo se tuvo menor remoción de As (III) con un 62.04 %. Teniendo una diferencia del 9.03 % del tiempo de 60 min al tiempo de 30 min.
4. Se determinó la influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, para ello se trabajó con masas de 10 mg a 30 mg y las isothermas de Freundlich y Langmuir, donde el modelo de adsorción sigue a la isoterma de Freundlich, por el hecho que tiene un  $R^2$  de 0.9475, siendo mayor al obtenido en la isoterma de Langmuir. También se observa que la capacidad de adsorción fue de 64.83 mg/g y la adsorción se considera favorable.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar la activación de un carbón activado modificado con óxido de cerio para la remoción de los metales pesados de las aguas contaminadas.
2. Realizar el estudio cinético de la adsorción del arsénico con las nanopartículas de óxido de cerio.
3. Realizar estudios comparativos de la fabricación de óxido binario de cerio - magnesio, cerio - hierro, para la remoción de arsénico.
4. Realizar un estudio con aguas reales contaminadas por arsénico con el proceso de adsorción con nanopartículas de óxido de cerio.
5. Realizar la reutilización del adsorbente, ya que es uno de los factores más significativos para su uso económico y aplicabilidad en una solución acuosa.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **MISHRA, Prashant Kumar; RAI, Pramod Kumar.** Ultrafast removal of arsenic using solid solution of aero-gel based Ce<sub>1</sub>-XTi<sub>x</sub>O<sub>2</sub>-Y oxide nanoparticles. *Chemosphere* [online]. 2019, **217**, 483–495. ISSN 18791298.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2018.11.003
2. **CHEN, Jing; WANG, Jianyan; ZHANG, Gaosheng; WU, Qiuyue; WANG, Dongtian.** Facile fabrication of nanostructured cerium-manganese binary oxide for enhanced arsenite removal from water. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2018, **334**, 1518–1526. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2017.11.062
3. **ZHANG, Shengxiao; NIU, Hongyun; CAI, Yaqi; ZHAO, Xiaoli; SHI, Yali.** Arsenite and arsenate adsorption on coprecipitated bimetal oxide magnetic nanomaterials: MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2010, **158**(3), 599–607. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2010.02.013
4. **MALANA, Muhammad Aslam; QURESHI, Raheela Beenish; ASHIQ, Muhammad Naeem.** Adsorption studies of arsenic on nano aluminium doped manganese copper ferrite polymer (MA, VA, AA) composite: Kinetics and mechanism. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2011, **172**(2–3), 721–727. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2011.06.041
5. **KANEL, Sushil Raj, GRENECHE, Jean Mark; CHOI, Heechul.** Arsenic(V) removal from groundwater using nano scale zero-valent iron as a colloidal reactive barrier material. *Environmental Science and Technology* [online]. 2006, **40**(6), 2045–2050. ISSN 0013936X. Dostupné z: doi:10.1021/es0520924
6. **LI, Ronghui; LI Qi; GAO Shian; SHANG, Jian Ku.** Exceptional arsenic adsorption performance of hydrous cerium oxide nanoparticles: Part A. Adsorption capacity and mechanism. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2012, **185–186**, 127–135. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2012.01.061
7. **AHMED, M. F.; ALI, M. A.; ADEEL, Z.** Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water. *International Workshop on Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water*. 2001, (February), 277.
8. **YU, Yang; ZHANG, Chengyu; YANG, Liming; CHEN, J. Paul.** Cerium oxide modified activated carbon as an efficient and effective adsorbent for rapid uptake of arsenate and arsenite: Material development and study of performance and mechanisms. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2017, **315**, 630–638. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2016.09.068
9. **SONG, Yaran; YUAN, Peng; DU, Peixin; DENG, Liangliang; WEI, Yanfu; LIU, Dong; ZHONG, Xuemin; ZHOU, Junming.** A novel halloysite–CeO<sub>x</sub> nanohybrid for

- efficient arsenic removal. *Applied Clay Science* [online]. 2020, **186** (November 2019). ISSN 01691317. Dostupné z: doi:10.1016/j.clay.2020.105450
10. **ZENG, Chao; NGUYEN, Chi; BOITANO, Scott; FIELD, Jim A.; SHADMAN Farhang; SIERRA-ÁLVAREZ, Reyes.** Cerium dioxide (CeO<sub>2</sub>) nanoparticles decrease arsenite (As(III)) cytotoxicity to 16HBE14o- human bronchial epithelial cells. *Environmental Research* [online]. 2018, **164** (February), 452–458. ISSN 10960953. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2018.03.007
  11. **SUN, Tianyi; SHI, Zaifeng; ZHANG, Xiaopeng; WANG, Xianghui; ZHU, Linhua; LIN, Q.** Efficient degradation of p-arsanilic acid with released arsenic removal by magnetic CeO<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles through photo-oxidation and adsorption. *Journal of Alloys and Compounds* [online]. 2019, **808**, 151689. ISSN 09258388. Dostupné z: doi:10.1016/j.jallcom.2019.151689
  12. **FENG, C. ; ALDRICH, C.; EKSTEEN J. J.; ARRIGAN, D. W. M.** Removal of arsenic from gold cyanidation process waters by use of cerium-based magnetic adsorbents. *Minerals Engineering* [online]. 2018, **122**(August 2017), 84–90. ISSN 08926875. Dostupné z: doi:10.1016/j.mineng.2018.03.026
  13. **YANG, Xiaohan; HUANG, Guohe; AN, Chunjiang; CHEN, Xiujuan; SHEN, Jian; YIN, Jianan; SONG, Pei; XU, Ziqing; LI, Yongping.** Removal of arsenic from water through ceramic filter modified by nano-CeO<sub>2</sub>: A cost-effective approach for remote areas. *Science of the Total Environment* [online]. 2021, **750**, 141510. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141510
  14. **WANG, Yi; CHEN, Xuelin; YAN, Jingfan; WANG, Tianyu; XIE, Xiaomin; YANG, Sen.** Efficient removal arsenate from water by biochar-loaded Ce<sup>3+</sup>-enriched ultra-fine ceria nanoparticles through adsorption-precipitation. *Science of the Total Environment* [online]. 2021, **794**, 148691. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148691
  15. **ZHANG, Lingfan; ZHU, Tianyi; LIU Xin; ZHANG, Wenqing.** Simultaneous oxidation and adsorption of As(III) from water by cerium modified chitosan ultrafine nanobiosorbent. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2016, **308**, 1–10. ISSN 18733336. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2016.01.015
  16. **MAITY, Jyoti Prakash; CHEN Chien Yen; BHATTACHARYA, Prosun; SHARMA, Raju Kumar; AHMAD, Arslan; PATNAIK, Sneha; BUNDSCHUH, Jochen.** Advanced application of nano-technological and biological processes as well as mitigation options for arsenic removal. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2021, **405**, 123885. ISSN 18733336. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2020.123885
  17. **KARIMI, Anahita; ANDREESCU, Silvana; ANDREESCU, Daniel.** Single - Particle Investigation of Environmental Redox Processes of Arsenic on Cerium Oxide

- Nanoparticles by Collision Electrochemistry. *ACS Applied Materials and Interfaces* [online]. 2019, **11**(27), 24725–24734.  
ISSN 19448252. Dostupné z: doi:10.1021/acsami.9b05234
18. **OLIVERA, Sharon; CHAITRA, K.; VENKATESH, Krishna; MURALIDHARA, Handanahally; INAMUDDIN, Basavarajaiah; ASIRI, Abdullah M.; AHAMED, Mohd Imran.** Cerium dioxide and composites for the removal of toxic metal ions. *Environmental Chemistry Letters* [online]. 2018, **16**(4), 1233–1246.  
ISSN 16103661. Dostupné z: doi:10.1007/s10311-018-0747-2
  19. **ZAPANA QUISPE, Rocío.** *Estudio de Remoción de Arsénico del agua del Río Sama - Tacna, Empleando Fe<sup>o</sup> y Ácido Cítrico, 2014* [online]. B. m., 2016. b. n.  
Dostupné z: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2501>
  20. **TAPIA FALCON, Norma; HUANCA CCAMERCCOA, Marisela.** *Remoción de arsénico en agua proveniente del Río Tambo sector Quegual con nanopartículas de óxido de hierro soportadas en zeolita.* B. m., 2019. b. n.
  21. **CHUNG, Jin-yong; YU, Seung-do; HONG, Young-Seoub.** Environmental Source of Arsenic Exposure. 2014, 253–257.
  22. **MANDAL, Paramita.** An insight of environmental contamination of arsenic on animal health. *Emerging Contaminants* [online]. 2017, 2–7. ISSN 2405-6650.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.emcon.2017.01.004
  23. **FERNA, Alicia.** Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordoba, Argentina [online]. 2005, 122–124. Dostupné z:doi:10.1017/S0022029904000640
  24. **SINGH, Rachana; SINGH, Samiksha; PARIHAR, Parul; SINGH, Vijay Pratap; PRASAD, Sheo Mohan.** Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2015, **112**, 247–270. ISSN 10902414. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2014.10.009
  25. **BUNDSCHUH, Jochen; BHATTACHARYA, Prosun; SRACEK, Ondra; MELLANO, M. Fernanda; RAMÍREZ, Antonio; STORNILO, Angel; MARTÍN, Raúl; CORTES, Julia; LITTER Marta; JEAN Jiin.** Arsenic removal from groundwater of the Chaco-Pampean Plain (Argentina) using natural geological materials as adsorbents. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* [online]. 2011, **46**(11), 1297–1310.  
ISSN 10934529. Dostupné z: doi:10.1080/10934529.2011.598838
  26. **AWUAL, Md Rabiul; HASAN, Md Munjur; ASIRI, Abdullah M.; RAHMAN, Mohammed M.** Cleaning the arsenic(V)contaminated water for safeguarding the public health using novel composite material. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2019, **171** (april), 294–301. ISSN 13598368.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.compositesb.2019.05.078

27. **KHATAMIAN, M.; KHODAKARAMPOOR, N.; SAKET-OSKOUI, M.** Efficient removal of arsenic using graphene-zeolite based composites. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2017, **498**, 433–441. ISSN 10957103.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.jcis.2017.03.052
28. **FENDORF, Scott; MICHAEL, Holly A.; VAN GEEN, Alexander.** Spatial and temporal variations of groundwater arsenic in South and Southeast Asia. *Science* [online]. 2010, **328**(5982), 1123–1127. ISSN 00368075.  
Dostupné z: doi:10.1126/science.1172974
29. **RODRÍGUEZ-LADO, Luis; SUN, Guifan; BERG, Michael; ZHANG, Qiang; XUE, Hanbin; ZHENG, Quanmei; JOHNSON, C. Annette.** Groundwater arsenic contamination throughout China. *Science* [online]. 2013, **341**(6148), 866–868. ISSN 10959203. Dostupné z: doi:10.1126/science.1237484
30. **PODGORSKI, Joel E. ; EQANI, Syed Ali Mustjab Akber Shah; KHANAM, Tasawar; ULLAH, Rizwan; SHEN, Heqing; BERG, Michael.** Extensive arsenic contamination in high-pH unconfined aquifers in the Indus Valley. *Science Advances* [online]. 2017, **3**(8). ISSN 23752548. Dostupné z: doi:10.1126/sciadv.1700935
31. **REN, Dianjun; COLOSI, Lisa M.; SMITH, James A.** Evaluating the sustainability of ceramic filters for point-of-use drinking water treatment. *Environmental Science and Technology* [online]. 2013, **47**(19), 11206–11213. ISSN 0013936X. Dostupné z: doi:10.1021/es4026084
32. **YAO, Yao; HUANG, Gordon; CHEN AN, Chunjiang; ZHANG, Xiujuan; XIN, Peng; JIAN SHEN, Xiaying; AGNEW, Joy.** Anaerobic digestion of livestock manure in cold regions: Technological advancements and global impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2020, **119** (May), 109494. ISSN 18790690. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2019.109494
33. **MOHAMED, Alaa; OSMAN, T. A.; TOPRAK, M. S.; MUHAMMED, M.; UHEIDA, A.** Surface functionalized composite nanofibers for efficient removal of arsenic from aqueous solutions. *Chemosphere* [online]. 2017, **180**, 108–116. ISSN 18791298. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2017.04.011
34. **LAN, Lijuan; ZHENG, Bingjie; ZHANG, Yao; HU, Yonggang.** Rapid and effective removal of As (III) and As (V) using spore@Ti4+ microspheres. *Chemosphere* [online]. 2018, **206**(III), 742–749. ISSN 18791298. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2018.05.089
35. **MURCOTT, Susan.** *Arsenic Contamination in the World: An International Sourcebook 2012* [online]. 2012. ISBN 9781780400389. Dostupné z: doi:10.2166/9781780400396
36. **SAKTHIVEL, Tamil S.; DAS, Soumen; PRATT, Cameron J.; SEAL, Sudipta.** One-pot synthesis of a ceria-graphene oxide composite for the efficient removal of arsenic

- species. *Nanoscale* [online]. 2017, **9**(10), 3367–3374.  
ISSN 20403372. Dostupné z: doi:10.1039/c6nr07608d
37. **ANAWAR, H. M. ; AKAI, J.; MOSTOFA, K. M. G.; SAFIULLAH, S.; TAREQ, S. M.** Arsenic poisoning in groundwater: Health risk and geochemical sources in Bangladesh. *Environment International* [online]. 2002, **27**(7), 597– 604. ISSN 18736750. Dostupné z: doi:10.1016/S0160-4120(01)00116-7
  38. **JIAN, Meipeng; WANG, Huan; LIU, Ruiping; QU, Jiuhui; WANG Huanting; ZHANG, Xiwang.** Self-assembled one-dimensional MnO<sub>2</sub>@zeolitic imidazolate framework-8 nanostructures for highly efficient arsenite removal. *Environmental Science: Nano* [online]. 2016, **3**(5), 1186–1194. ISSN 20518161.  
Dostupné z: doi:10.1039/c6en00246c
  39. **PENA, Maria; MENG, Xiaoguang; KORFIATIS, George P.; JING, Chuanyong.** Adsorption mechanism of arsenic on nanocrystalline titanium dioxide. *Environmental Science and Technology* [online]. 2006, **40**(4), 1257–1262.  
ISSN 0013936X. Dostupné z: doi:10.1021/es052040e
  40. **SINGH, Kshitij R. B.; NAYAK, Vanya; SARKAR, Tanushri; SINGH, Ravindra Pratap.** Cerium oxide nanoparticles: Properties, biosynthesis and biomedical application. *RSC Advances* [online]. 2020, **10**(45), 27194–27214.  
ISSN 20462069. Dostupné z: doi:10.1039/d0ra04736h
  41. **DAHLE, Jessica T.; ARAI, Yuji.** Environmental geochemistry of cerium: Applications and toxicology of cerium oxide nanoparticles. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2015, **12**(2), 1253–1278. ISSN 16604601.  
Dostupné z: doi:10.3390/ijerph120201253
  42. **DU, Haiwei; WANG, Yuan; ARANDIYAN, Hamidreza; YOUNIS, Adnan; SCOTT, Jason; QU, Bo; WAN, Tao; LIN, Xi; CHEN, Jianchao; CHU, Dewei.** Design and synthesis of CeO<sub>2</sub> nanowire/MnO<sub>2</sub> nanosheet heterogeneous structure for enhanced catalytic properties. *Materials Today Communications* [online]. 2017, **11**, 103–111. ISSN 23524928. Dostupné z: doi:10.1016/j.mtcomm.2017.03.002
  43. **DOWDING, Janet M.; DAS, Soumen; KUMAR, Amit; DOSANI, Talib; MCCORMACK, Rameech; GUPTA, Ankur; SAYLE, Thi X. T.; SAYLE, Dean C.; VON KALM, Laurence; SEAL Sudipta; SELF William T.** Cellular interaction and toxicity depend on physicochemical properties and surface modification of redox-active nanomaterials. *ACS Nano* [online]. 2013, **7**(6), 4855–4868.  
ISSN 19360851. Dostupné z: doi:10.1021/nn305872d
  44. **BALDIM, V.; BEDIQUI, F.; MIGNET, N.; MARGAILL, I.; BERRET, J. F.** The enzyme-like catalytic activity of cerium oxide nanoparticles and its dependency on Ce<sup>3+</sup> surface area concentration. *Nanoscale* [online]. 2018, **10**(15), 6971– 6980. ISSN

20403372. Dostupné z: doi:10.1039/c8nr00325d
45. **YANG, Yushi; MAO, Zhou; HUANG, Wenjie; LIU, Lihua; LI, Junli; LI Jialiang; WU, Qingzhi.** Redox enzyme-mimicking activities of CeO<sub>2</sub> nanostructures: Intrinsic influence of exposed facets. *Scientific Reports* [online]. 2016, **6**(July), 1–7. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/srep35344
  46. **WALKEY, Carl; DAS, Soumen; SEAL, Sudipta; ERLICHMAN, Joseph; HECKMAN, Karin; Ghibelli, Lina; TRAVERSA, Enrico; MCGINNIS, James F.; SELF, William T.** Catalytic properties and biomedical applications of cerium oxide nanoparticles. *Environmental Science: Nano* [online]. 2015, **2**(1), 33–53. ISSN 20518161. Dostupné z: doi:10.1039/c4en00138a
  47. **DAS, Soumen; DOWDING, Janet M.; KLUMP, Kathryn E.; MCGINNIS, James F.; SELF, William; SEAL, Sudipta.** Cerium oxide nanoparticles: Applications and prospects in nanomedicine. *Nanomedicine* [online]. 2013, **8**(9), 1483–1508. ISSN 17486963. Dostupné z: doi:10.2217/nnm.13.133
  48. **SINGH, Sanjay.** Cerium oxide based nanozymes: Redox phenomenon at biointerfaces. *Biointerphases* [online]. 2016, **11**(4), 04B202. ISSN 1934-8630. Dostupné z: doi:10.1116/1.4966535
  49. **TROVARELLI, Alessandro.** Catalytic Properties of Ceria. *Catalysis Reviews*. 2006, **38** (September 2012), 439–520.
  50. **TSCHOPE, Andreas; LIU, Wei; FLYTZANI-STEPHANOPOULOS, Maria; YING, Jackie Y.** Redox activity of nonstoichiometric cerium oxide-based nanocrystalline catalysts [online]. 1995. ISSN 10902694. Dostupné z: doi:10.1006/jcat.1995.1266
  51. **MEEPHO, Malinee; SIRIMONGKOL, Wansika; AYAWANNA, Jiratchaya.** Samaria-doped ceria nanopowders for heavy metal removal from aqueous solution [online]. 2018. ISSN 02540584. Dostupné z: doi:10.1016/j.matchemphys.2018.04.083
  52. **PANG, Jing Hua; LIU, Ying; LI, Jun; YANG, Xiao Jiao.** Solvothermal synthesis of nano-CeO<sub>2</sub> aggregates and its application as a high-efficient arsenic adsorbent. *Rare Metals* [online]. 2019, **38**(1), 73–80. ISSN 18677185. Dostupné z: doi:10.1007/s12598-018-1072-4
  53. **SAWANA, Radha; SOMASUNDAR, Yogesh; IYER, Venkatesh Shankar; BARuwATI, Babita.** Ceria modified activated carbon: an efficient arsenic removal adsorbent for drinking water purification. *Applied Water Science* [online]. 2017, **7**(3), 1223–1230. ISSN 2190-5487. Dostupné z: doi:10.1007/s13201-016-0398-z
  54. **LOU, Xiang-Yang; BOADA, Roberto; SIMONELLI, Laura; VALIENTE, Manuel.** Enhanced arsenite removal by superparamagnetic iron oxide nanoparticles in-situ synthesized on a commercial cube-shape sponge: adsorption-oxidation mechanism. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2022, **614**, 460–467. ISSN 00219797.

- Dostupné z: doi:10.1016/j.jcis.2022.01.119
55. **KALAM, Shams; ABU-KHAMSIN, Sidqi; KAMAL, Muhammad; PATIL, Shirish.** Surfactant Adsorption Isotherms: A Review. *ACS Omega* [online]. 2021, **6**(48), 32342–32348. ISSN 24701343. Dostupné z: doi:10.1021/acsomega.1c04661
  56. **U3 Operaciones unitarias I U3.** Neditovano, 0–44.
  57. **LARA, Andrés; TORRALBA, Manuel; TOVAR, Javier.** Endometriosis y el receptor P2X3. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide* [online]. 2020, **38**(1), 31–33. ISSN 1098-6596.  
Dostupné z: <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero38/Moleqla2020Verano.pdf>
  58. **GARRITZ.** Capítulo 6, Estequiometría. *Manifestaciones de la materia* [online]. 1999, **1**, 197–250.  
Dostupné z: <https://andoni.garritz.com/documentos/Mi curriculum/06-Garritz.pdf>
  59. **PRETSCH, E.; BÜHLMANN, P.** Determinación estructural de compuestos orgánicos. *2004*. 2004, 482.
  60. **GARRITZ.** Capítulo 6, Estequiometría. *Manifestaciones de la materia*. 1999, **1**, 197–250.
  61. **CENTTY VILLAFUERTE, Deymor.** Nuevo Mundo Investigadores & Consultores. *Nuevo Mundo*. 2006, (054), 84.
  62. **HERNÁNDEZ SAMPIERI Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la Investigación*. 2014. ISBN 9781456223960.
  63. **MCDONOUGH, Kim.** Experimental research methods. *The Routledge Handbook of Instructed Second Language Acquisition* [online]. 2017, (May), 562–576.  
Dostupné z: doi:10.4324/9781315676968
  64. **YU, Yang; ZHANG, Chengyu; YANG, Liming; CHEN, J. Paul.** Cerium oxide modified activated carbon as an efficient and effective adsorbent for rapid uptake of arsenate and arsenite: Material development and study of performance and mechanisms. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2017, **315**, 630–638. ISSN 13858947.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2016.09.068

## **ANEXOS**

## Anexo 1

Tabla 14. Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología	Población y muestra
General	General	General	Independiente		
¿Cuál es la influencia de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022?	Determinar la influencia de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022	La influencia de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.	Influencia de nano partículas de óxido cerio $nCeO_2$	<b>Método de investigación</b> Método científico del modo hipotético deductivo	<b>Población</b> La población de la investigación son las soluciones acuosas contaminadas con arsénico (III)
Específicos	Específicos	Específicas	Dependiente	<b>Tipo de investigación</b> Aplicada con enfoque cuantitativo	<b>Muestra</b> Las muestras serán 40 soluciones acuosas contaminadas con arsénico III
¿Cuál es la influencia en el pH de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022?	Determinar la influencia en el pH de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022.	La influencia en el pH de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.		<b>Nivel de investigación</b> Alcance explicativo	<b>Técnicas</b> Ensayos experimentales
¿Cuál es la influencia de la masa de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022?	Determinar la influencia de la masa de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022.	La influencia de la masa de las nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en el laboratorio, Huancayo, 2022, es significativa.	Remoción de As (III)	<b>Diseño de investigación</b> Experimental puro y longitudinal	Análisis de laboratorio
¿Cuál es la influencia del tiempo de contacto de nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022?	Determinar la Influencia del tiempo de contacto de nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, 2022.	La influencia del tiempo de contacto de nano partículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio, Huancayo, es significativa.			<b>Instrumentos</b> Reportes de laboratorio.

Anexo 2

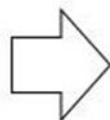
**Tabla 15. Operacionalización de variables**

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Tipo de variable
<b>Independiente</b>		pH	Adimensional	
Influencia de nano partículas de óxido cerio $nCeO_2$	La estructura que otorga el óxido cerio $nCeO_2$ se ven mejoradas si se modifican los cationes Ce.	Masa de adsorbente	mg/L	Cuantitativas
		Tiempo de contacto	minutos	
<b>Dependiente</b>				
Remoción de As (III)	Eliminación de iones de arsénico con valencia +3 muy móvil y altamente tóxico	Remoción de arsénico III	%	Cuantitativa

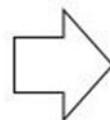
Anexo 3



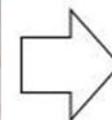
Arsenito de sodio para 5 mg/L



Pesado de 1.3 g de arsenito de sodio



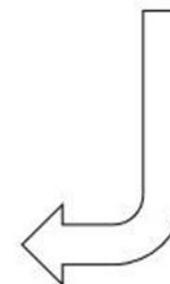
2 litros de agua destilada



Aforado de 1 litro de agua para la solución de 5 mg/L



Homogenización del agua destilada con el arsenito de sodio



Activar Windows  
Ir a Configuración de PC

Figura 18. Preparación de la solución acuosa

#### Anexo 4

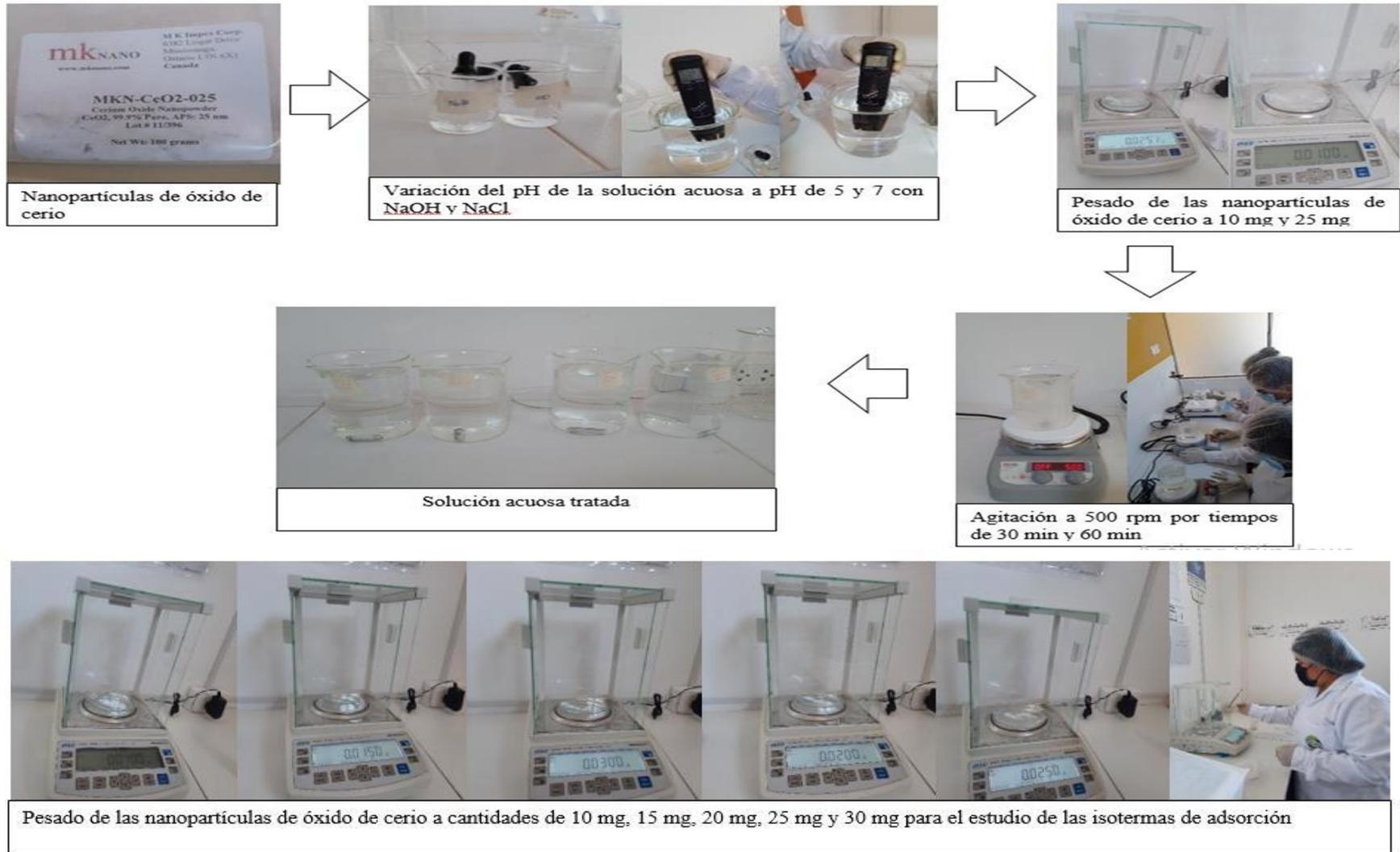


Figura 19. Desarrollo experimental

## Anexo 5 Reportes



### INFORME DE ENSAYO N° 1-0063/22

Pág. 1/1

**Solicitante** : Cano Cochachi Karen Guisela  
**Domicilio legal** : Psje. Mirador S/N - Paradero 7 - Pilcomayo  
**Proyecto** : Influencia de las nanoparticulas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio - Huancayo 2022  
**Muestra(s) Declarada(s)** : Agua sintética tratada  
**Lugar de Muestreo** : -----  
**Cantidad de muestras para el Ensayo** : 09 muestras x 250 mL  
**Forma de Presentación** : 09 botellas de plástico  
**Fecha de Recepción** : 17/05/22  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 18/05/22  
**Fecha de Término del Ensayo** : 18/05/22  
**Fecha de Emisión de Informe** : 19/05/22  
**N° de Cotización de Servicio** : -----

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
As	K01	4.94	0.003

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
As	K111R1	2.88	0.003
	K112R1	2.45	
	K121R1	1.72	
	K122R1	1.04	
	K211R1	2.58	
	K212R1	2.06	
	K221R1	0.28	
	K222R1	0.12	

\* Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente  
 \* El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**  
 As: Espectrofotometría UV-Vis

Huancayo, 19 de Mayo de 2022

**GRUPO JHACC S.A.C.**  
 Ing. Henry R. Ochoa León  
 CIP N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO

\*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe  
 \*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682  
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com  
 www.grupojhacc.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1-0065/22**

Pág. 1/1

Solicitante : Quispe De La Cruz Janeth Zulema  
 Domicilio legal : Jr. San Martín N°841 - Pilcomayo  
 Proyecto : Influencia de las nanopartículas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio - Huancayo 2022  
 Muestra(s) Declarada(s) : Agua sintética tratada  
 Lugar de Muestreo : -----  
 Cantidad de muestras para el Ensayo : 11 muestras x 250 mL  
 Forma de Presentación : 11 botellas de plástico  
 Fecha de Recepción : 24/05/22  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 25/05/22  
 Fecha de Término del Ensayo : 25/05/22  
 Fecha de Emisión de Informe : 26/05/22  
 N° de Cotización de Servicio : -----

Ensayo	Código del cliente	Resultados (mg/L)	Límite de detección
	K111R2	2.93	
	K112R2	2.49	
	K121R2	1.70	
	K122R2	1.02	
	K211R2	2.64	
As	K212R2	2.10	0.003
	K221R2	0.29	
	K222R2	0.15	
	ISO02	0.99	
	ISO03	0.43	
	ISO05	0.10	

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:  
As: Espectrofotometría UV-Vis

Huancayo, 26 de Mayo de 2022

**GRUPO JHACC S.A.C**  
  
**Ing. Henry R. Ochoa León**  
 CP N° 12433  
 JEFE DE LABORATORIO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe  
 \*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



**INFORME DE ENSAYO N° 1-0067/22**

Pág. 1/1

Solicitante : Ureta Calixto Zenon Lincol  
 Domicilio legal : Calle Bruno Terreros N° 1479 - El Tambo  
 Proyecto : Influencia de las nanoparticulas de óxido de cerio en la remoción de arsénico III de soluciones acuosas en laboratorio - Huancayo 2022  
 Muestra(s) Declarada(s) : Agua sintética tratada  
 Lugar de Muestreo : -----  
 Cantidad de muestras para el Ensayo : 08 muestras x 250 mL  
 Forma de Presentación : 08 botellas de plástico  
 Fecha de Recepción : 31/05/22  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 01/06/22  
 Fecha de Término del Ensayo : 01/06/22  
 Fecha de Emisión de Informe : 02/06/22  
 N° de Cotización de Servicio : -----

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
	K111R3	2.87	0.003
	K112R3	2.43	
	K121R3	1.74	
	K122R3	1.07	
	K211R3	2.61	
	K212R3	2.09	
	K221R3	0.26	
	K222R3	0.13	

As: Espectrofotometría UV-Vis

• Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente  
 • El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:  
 As: Espectrofotometría UV-Vis

Huancayo, 02 de Junio de 2022

**GRUPO JHACC S.A.C.**  
 Ing. Henry R. Echoa León  
 CIP N° 19423  
 JEFE DE LABORATORIO



\*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe  
 \*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC  
 \*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682  
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com  
 www.grupojhacc.com