

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico, distrito de Torata, Moquegua - 2022**

Judith Adelaida Maquera Puma

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Moquegua, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Nestor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Steve Dann Camargo Hinostraza  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 17 de agosto de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIEDIADORA DE LA ESPECIE *Nasturtium officinale* (BERRO) EN RELACIÓN CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO, DISTRITO DE TORATA, MOQUEGUA – 2022”**, perteneciente al/la/los/las estudiante(s) **Judith Adelaida Maquera Puma**, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental**; se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 5 ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Asesor de tesis

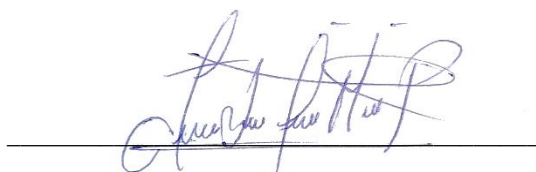
## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Judith Adelaida Maquera Puma, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 75434580, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LA ESPECIE *Nasturtium officinale* (BERRO) EN RELACIÓN CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO, DISTRITO DE TORATA, MOQUEGUA – 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de agosto de 2023.



Judith Adelaida Maquera Puma

DNI. No. 75434580

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LA ESPECIE *Nasturtium officinale* (BERRO) EN RELACIÓN CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO, DISTRITO DE TORATA, MOQUEGUA – 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="https://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="https://adoc.tips">adoc.tips</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.upsc.edu.pe">repositorio.upsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
8	<a href="https://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://apirepositorio.unh.edu.pe">apirepositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://revistas.unsaac.edu.pe">revistas.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://eprints.untirta.ac.id">eprints.untirta.ac.id</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://slideplayer.es">slideplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad de Navarra Trabajo del estudiante	<1 %
19	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

21	<a href="http://repodigital.unrc.edu.ar">repodigital.unrc.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://www.cortescyl.es">www.cortescyl.es</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://www.miljodirektoratet.no">www.miljodirektoratet.no</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://repositorio.udl.edu.pe">repositorio.udl.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.upci.edu.pe">repositorio.upci.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://ecuciencia.utc.edu.ec">ecuciencia.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

33	<a href="http://www.acb.org.uk">www.acb.org.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://www.yacumanta.org">www.yacumanta.org</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://redi.unjbg.edu.pe">redi.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://repositorio.upt.edu.pe">repositorio.upt.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://corladancash.com">corladancash.com</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://dspace.usc.es">dspace.usc.es</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://envirologix.com.br">envirologix.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://pdfcookie.com">pdfcookie.com</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://repositorio.uleam.edu.ec">repositorio.uleam.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %



45

Submitted to Universidad Andina Nestor  
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

46

Submitted to Universidad Tecnologica del  
Peru

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

47

Submitted to Universidad de Guayaquil

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

48

[www.obwb.ca](http://www.obwb.ca)

Fuente de Internet

&lt;1 %

49

[echa.europa.eu](http://echa.europa.eu)

Fuente de Internet

&lt;1 %

50

[erroresmedicos.blogspot.com](http://erroresmedicos.blogspot.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

51

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

Fuente de Internet

&lt;1 %

52

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

Fuente de Internet

&lt;1 %

53

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

Fuente de Internet

&lt;1 %

54

[vdoc.pub](http://vdoc.pub)

Fuente de Internet

&lt;1 %

55

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

56

[datospdf.com](https://datospdf.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

57

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

Fuente de Internet

&lt;1 %

58

[www.centrojuanmontalvo.org.do](https://www.centrojuanmontalvo.org.do)

Fuente de Internet

&lt;1 %

59

[www.flacsoandes.edu.ec](https://www.flacsoandes.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

60

[www.tdx.cat](https://www.tdx.cat)

Fuente de Internet

&lt;1 %

61

S.L. Flores López, M.R. Moreno Virgen, V. Hernández Montoya, M.A. Montes Morán et al. "Effect of an external magnetic field applied in batch adsorption systems: Removal of dyes and heavy metals in binary solutions", *Journal of Molecular Liquids*, 2018

Publicación

&lt;1 %

62

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

63

[doczz.es](https://doczz.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

64

[idus.us.es](https://idus.us.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

65

[intra.uigv.edu.pe](https://intra.uigv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

66

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

Fuente de Internet

<1 %

67

[repositorioinstitucional.uaslp.mx](http://repositorioinstitucional.uaslp.mx)

Fuente de Internet

<1 %

68

[sena.edu.co](http://sena.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

69

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

Fuente de Internet

<1 %

70

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

Fuente de Internet

<1 %

71

[biblat.unam.mx](http://biblat.unam.mx)

Fuente de Internet

<1 %

72

[catalonica.bnc.cat](http://catalonica.bnc.cat)

Fuente de Internet

<1 %

73

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

Fuente de Internet

<1 %

74

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

Fuente de Internet

<1 %

75

[novascientia.delasalle.edu.mx](http://novascientia.delasalle.edu.mx)

Fuente de Internet

<1 %

76

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

Fuente de Internet

<1 %

77	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://repositorio.upeu.edu.pe">repositorio.upeu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="http://repozitorij.ung.si">repozitorij.ung.si</a> Fuente de Internet	<1 %
81	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
82	<a href="http://www.deltaasesores.com">www.deltaasesores.com</a> Fuente de Internet	<1 %
83	<a href="http://www.goconqr.com">www.goconqr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
84	<a href="http://www.iarse.org">www.iarse.org</a> Fuente de Internet	<1 %
85	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
86	<a href="http://www.uragentzia.euskadi.eus">www.uragentzia.euskadi.eus</a> Fuente de Internet	<1 %
87	Nastassja Kimberlly Lima, Eloisa Schneider Da Silva, Rayane Monique Sette Da Cruz, Pedro Henrique Riboldi Monteiro et al. "Plant Growth Regulators in the in Vitro Cultivation	<1 %

of *Acmella oleracea* (L.)", Journal of  
Agricultural Studies, 2020

Publicación

88

[cd.dgb.uanl.mx](http://cd.dgb.uanl.mx)

Fuente de Internet

<1 %

89

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

90

[minerva.usc.es](http://minerva.usc.es)

Fuente de Internet

<1 %

91

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

Fuente de Internet

<1 %

92

[repositorio.unal.edu.co](http://repositorio.unal.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

93

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

Fuente de Internet

<1 %

94

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

Fuente de Internet

<1 %

95

[repository.ucc.edu.co](http://repository.ucc.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

96

[ri.uaemex.mx](http://ri.uaemex.mx)

Fuente de Internet

<1 %

97

[www.que-es-la-cultura-naturaleza-y-historia.info](http://www.que-es-la-cultura-naturaleza-y-historia.info)

Fuente de Internet

<1 %

[vsip.info](http://vsip.info)

98

Fuente de Internet

<1 %

99

VICEVERSA CONSULTING S.A.. "Actualización de la MEIA Tambojasa-IGA0019651", R.D. N° 00064-2021-SENACE-PE/DEAR, 2022

Publicación

<1 %

100

Valeria Delgado Quezada, Maximina Altamirano Espinoza, Jochen Bundschuh. "Arsenic in geoenvironments of Nicaragua: Exposure, health effects, mitigation and future needs", Science of The Total Environment, 2020

Publicación

<1 %

101

[ribuni.uni.edu.ni](http://ribuni.uni.edu.ni)

Fuente de Internet

<1 %

102

[www.scielo.org.pe](http://www.scielo.org.pe)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5 words

Excluir bibliografía

Activo

## AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos al alcalde de la Municipalidad Distrital de Torata, Bach. Hernán Pedro Juárez Coayla, por facilitarme el acceso al Laboratorio Ambiental San Agustín de Torata, al ingeniero encargado del Laboratorio, José Antonio Flores Oha, por permitirme el ingreso al laboratorio, por sus consejos y sugerencias; A mi colega, Biólogo Julio Cesar por su ayuda, aporte, orientación y dedicación para la ejecución de la presente investigación; así mismo agradecer a mi asesor, Mg. Ing. Steve Dann Camargo Hinostroza por la orientación, aportación, consejos y dedicación en la realización del estudio, a la Universidad Continental por haberme brindado la oportunidad de completar mi profesión y por abrirme las puertas para ser formada como profesional, a todo ellos muchas gracias.

## DEDICATORIA

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios por darme salud, sabiduría y por haberme guiado en cada momento de mi vida y así poder cumplir cada una de mis metas propuestas y sueños.

A mis padres, Amados Obtulio y Nancy por su inmenso amor, esfuerzo y apoyo en cada momento de vida que permitió del cumplimiento de unos de mis anhelos, a mi hermana Fanny por sus sugerencias y soporte absoluto.



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
DEDICATORIA .....	3
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	12
1.1.Plantamiento y formulación del problema.....	12
1.1.1.Problema general.....	14
1.1.2. Problemas específicos .....	14
1.2. Objetivos .....	14
1.2.1. Objetivo general .....	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.4. Hipótesis.....	16
1.5. Operacionalización de variables.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	20
2.1.3. Antecedentes regionales y locales.....	22
2.2. Bases teóricas .....	24
2.2.1. El agua .....	24
2.2.2. Importancia del agua .....	24
2.2.3. Agua para consumo humano .....	24
2.2.4. Contaminación del agua .....	25
2.2.5. Metales pesados.....	26
2.2.6. Metaloides.....	26
2.2.7. Contaminación por metales pesados y metaloides .....	26
2.2.8. Arsénico .....	26
2.2.9. Propiedades fisicoquímicas del arsénico .....	27
2.2.10. Fuentes de contaminación del arsénico .....	27
2.2.11. Toxicidad del arsénico.....	27
2.2.12. Comportamiento del As en el ambiente .....	28
2.2.13. Arsénico en agua para consumo humano .....	28
2.2.14. Normativa peruana .....	28

2.2.15. Arsénico en el organismo humano .....	30
2.2.16. Arsénico en tejido vegetal .....	30
2.2.17. Métodos para remover arsénico en el agua .....	31
2.2.18. Fitorremediación .....	31
2.2.19. Características de fitorremediación .....	31
2.2.20. Ventajas y desventajas.....	32
2.2.21. Limitaciones de la fitorremediación .....	33
2.2.22. Tipos de fitorremediación .....	33
2.2.23. Tipos de sistemas de fitorremediación acuático .....	34
2.2.24. Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes .....	34
2.2.25. Sistema de rizofiltración.....	34
2.2.26. Humedales artificiales .....	35
2.2.27. Sistema integral de tratamiento .....	35
2.2.28. Tipos de macrófitas acuáticas.....	35
2.2.29. Perspectiva para selección de macrófitos .....	36
2.2.30. Factor de bioacumulación .....	36
2.2.31. Factor de traslocación.....	37
2.2.32. Forma de acumulación de metales en macrófitos.....	37
2.2.33. Resistencia a los metales pesados en macrófitos.....	38
2.2.34. Descripción de la especie vegetal.....	38
2.2.35. Cultivos de hidroponía en fitorremediación .....	39
2.3. Definición de términos básicos .....	39
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
3.1. Método y alcance de la investigación.....	40
3.1.1. Método general.....	40
3.1.2. Método específico .....	40
3.1.3. Tipo de investigación .....	41
3.1.4. Nivel de investigación .....	41
3.2. Diseño de la investigación.....	41
3.3. Población y muestra .....	42
3.3.1 Población.....	42
3.3.2. Muestra.....	42
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
3.4.1. Técnicas e instrumentos .....	43
3.4.2. Materiales .....	47
3.4.3. Procedimientos .....	48

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. Presentación de resultados.....	53
4.2. Prueba de hipótesis.....	60
4.3. Discusión de resultados .....	62
CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES .....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
ANEXOS.....	73

### Índice de Tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables .....	17
Tabla 2: Anexo III: Límites máximos permisibles.....	29
Tabla 3: Diseño de investigación .....	42
Tabla 4: Parámetro y metodología .....	43
Tabla 5: Proceso experimental .....	51
Tabla 6: BAF para tratamiento 1 .....	55
Tabla 7: BAF para tratamiento 2.....	56
Tabla 8: BAF para tratamiento 3.....	57
Tabla 9: FT para tratamiento 1 .....	58
Tabla 10: FT para tratamiento 2.....	58
Tabla 11: FT para tratamiento 3.....	59
Tabla 12: ANOVA de <i>Nasturtium officinale</i> (Berro) .....	60
Tabla 13: Prueba Tukey .....	61

### Índice de gráficos

Gráfico 1: Macrófitos acuáticos .....	36
Gráfico 2: Diagrama de procedimiento.....	46
Gráfico 3: Resultado de tratamiento 1.....	53
Gráfico 4: Resultado de tratamiento 2.....	54
Gráfico 5: Resultado de tratamiento 3.....	54
Gráfico 6: Resultado BAF para tratamiento 1.....	56
Gráfico 7: Resultado BAF para tratamiento 2.....	56
Gráfico 8: Resultado BAF para tratamiento 3.....	57
Gráfico 9: Resultado FT para tratamiento 1 .....	58

Gráfico 10: Resultado FT para tratamiento 2.....	59
Gráfico 11: Resultado FT para tratamiento 3.....	59
Gráfico 12: Gráfico de medias .....	61
Gráfico 13: Diagrama de cajas.....	62

#### Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Cálculo del factor de bioacumulación.....	36
Ecuación 2: Cálculo del factor de traslocación .....	37
Ecuación 3: Para realizar el cálculo de la solución .....	51

## RESUMEN

El objetivo de éste estudio es evaluar la capacidad de fitorremediación de *Nasturtium officinale* (Berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico; se utilizó un método experimental de tipo de investigación aplicada con un diseño experimental “experimento puro” completamente al azar (DCA), comprende 4 tratamientos (T0 = 0.00 mg/l, T1= 0.1 mg/l, T2 = 0.3 mg/l, T3 = 0.5 mg/l de arsénico) considerando que el T0 = 0.00 mg/l corresponde al grupo control, cada unidad experimental tuvo 3 repeticiones, haciendo un total de 12 unidades experimentales. La contaminación con arsénico en la etapa de intoxicación con los tratamientos T1, T2, T3; tuvo una duración de 20 días, durante el periodo experimental se observó presencia de clorosis y necrosis en las plántulas debido a las concentraciones del contaminante arsénico que afectó al desarrollo vegetativo de la especie vegetal. Los resultados del estudio muestran que hubo capacidad fitorremediadora de tipo rizofiltración debido a que bioacumuló la mayor parte de arsénico en sus raíces de tal forma se concluye que *Nasturtium officinale* utiliza su parte radicular para fitorremediar aguas contaminadas con arsénico.

Palabras claves: Fitorremediación, contaminación del agua, arsénico, *Nasturtium officinale*, factor de bioacumulación, factor de traslocación.

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the phytoremediation capacity of *Nasturtium officinale* (Watercress) in relation to different concentrations of arsenic; an experimental method of applied research type was used with an experimental design "pure experiment" completely randomized (DCA), comprising 4 treatments (T0 = 0.00 mg/l, T1 = 0.1 mg/l, T2 = 0.3 mg/l, T3 = 0.5 mg/l of arsenic) considering that T0 = 0.00 mg/l corresponds to the control group, each experimental unit had 3 replicates, making a total of 12 experimental units. The arsenic contamination in the intoxication stage with treatments T1, T2, T3; had a duration of 20 days, during the experimental period the presence of chlorosis and necrosis was observed in the seedlings due to the concentrations of the arsenic contaminant that affected the vegetative development of the plant species. The results of the study show that there was a phytoremediation capacity of rhizofiltration type because it bioaccumulated most of the arsenic in its roots, so it is concluded that *Nasturtium officinale* uses its root part to phytoremediate arsenic-contaminated water.

Key words: phytoremediation, water pollution, arsenic, *Nasturtium officinale*, bioaccumulation factor, translocation factor.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la demanda del crecimiento demográfico hace necesario la productividad de bienes y servicios, el desarrollo de dicha productividad genera residuos durante el proceso, causando el daño a los recursos naturales e impactando de tal modo significativo las características físicas, químicas y biológicas del ambiente (1).

La alteración de la calidad de las fuentes de agua superficiales y subterráneas en gran medida es insana, produciendo la generación de una afectación en el ambiente y causando un continuo deterioro a la salud de los habitantes, los impactos generados pueden ser de manera antropogénica o de manera natural, entre los más comunes están los impactos que genera la minería, las industrias y la agricultura.

La polución hídrica por metales pesados en la actualidad es un problema que va en acrecentamiento y uno de los efectos negativos es el deterioro a la salud de los habitantes que se abastece de las fuentes naturales, en virtud a que dichos elementos se acumulan a lo largo de la cadena alimentaria (2).

Según la Organización Mundial de la Salud en una publicación realizada en el año 2014, menciona que la exposición al metaloide arsénico en el agua para consumo humano es una amenaza para la salud de la población peruana, se realizaron estudios sobre la polución por arsénico en el origen del agua superficial y subterránea, siendo el resultado que existe una severa contaminación de agua por arsénico en algunos distritos del Perú, excediendo los límites impuestos por la OMS (3).

La técnica de fitorremediación es una tecnología “verde” que usa especies vegetales y microorganismos para recuperar la calidad de recursos en deterioro (4); éstos a la vez no alteran la biocenosis considerándose así una tecnología positiva para el ambiente.

Las investigaciones de fitorremediación de agua contaminada por metales pesados que se están realizando en la actualidad están obteniendo resultados positivos debido a que presentan un alto índice de potencial para fitorremediar y recuperar la calidad del recurso hídrico, la pretensión del presente estudio es aportar conocimientos nuevos al evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Nasturtium officinale* para remover el metaloide contaminante llamado arsénico en el agua para consumo humano del distrito de Torata, teniendo como unidad un tratamiento natural, ya que hasta la fecha en la región no existen estudios relacionados sobre la capacidad fitorremediadora del *Nasturtium officinale*.

La importancia del estudio es efectiva ya que la técnica de fitorremediación constituye una variación de las técnicas convencionales de tratamiento de agua, utilizando alternativas naturales y amigables con el medio ambiente, a su vez se arraiga en el bajo costo de mantenimiento y operación.

En ese marco el trabajo de investigación está abocado en determinar la capacidad fitorremediadora que presenta la especie *Nasturtium officinale* en agua contaminada con arsénico, utilizando un sistema hidropónico bajo condiciones controladas en laboratorio con el fin de emplear un enfoque sistémico para el tratamiento de agua potable en el distrito, con estándares técnicos para su correcta operatividad y de bajo valor económico.

La investigación realizada se halla dividida en cuatro capítulos; como 1er capítulo se encuentra el planteamiento del estudio en donde puntualiza la problemática, los objetivos de la investigación, la importancia del trabajo, la justificación considerando al medio ambiente, la parte social, económica y legal, por último las hipótesis en él se plantea si la especie presenta capacidad fitorremediadora teniendo en consideración la operacionalización de variables; en el segundo capítulo se encuentra los antecedentes de la investigación que abarcan de lo internacional, nacional y regional, el cual nos permitirá desarrollar una investigación con mayor facilidad debido a que hay bases preexistentes, también se encuentran las bases teóricas y definición de términos básicos que permitirán tener un concepto más claro de la investigación; como tercer capítulo está la metodología en el cual se explica los métodos y el alcance de la investigación, el diseño de la investigación, la población y muestra de estudio y por último las técnicas e instrumentos de recolección de datos y en el cuarto capítulo se encuentran los resultados y la discusión el cual permitirá conocer, describir y aportar en el hallazgo de esta tecnología “verde” para ser aplicada posteriormente en las sociedades.



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

La contaminación del recurso hídrico es uno de los problemas principales que se ve obligado afrontar la sociedad actual, el agua utilizada y vertida por las actividades humanas sobrepasan los Límites Máximo Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental, causando daños significativos la biocenosis y a la salud de los habitantes.

Los países que tienen un interés por cuidar y salvaguardar la calidad del agua en la actualidad son pocos, porque para la mayoría de los países es mucho más fácil verter las aguas provenientes de sus actividades sin realizar ningún tipo de tratamiento y de esa manera contaminan las fuentes naturales.

En los últimos años surgieron nuevas tecnologías biológicas, los cuales son muy importantes y económicas como es el caso de la fitorremediación que se define como una ecotecnología que está sustentado en la utilización de vegetales para degradar compuestos contaminantes, tolerar, acumular y absorber; resulta importante dado que tiene una aproximación respetuosa con los procesos ecológicos, siendo una ecotecnología más aceptada (5).

La utilización del *Nasturtium officinale* en el tratamiento de agua es una alternativa ecológica y económica dado que en diversas investigaciones se muestran resultados favorables para el tratamiento de agua contaminadas con metales, es por ello evaluación de su calidad para la determinación de su capacidad fitorremediadora con el metaloide arsénico.

En el Perú uno de los elementos que está causando problemas en la calidad del agua es el arsénico los cuales son introducidos al cuerpo receptor de manera natural o antropogénica, limitando a nuestra población un recurso hídrico no apta para el consumo humano (6).

Uno de los principales problemas en la zona Moquegua es la alteración de la calidad del recurso hídrico por metales pesados; los que se hallan con mayor concentración y son el aluminio, hierro y manganeso que afecta a las fuentes naturales para el suministro de agua potable y agricultura lo que conlleva a la necesidad de implementar nuevas medidas de tratamiento de agua potable con la finalidad de salvaguardar la salud de la población.

El metaloide arsénico presente en la naturaleza y tanto la repartición y polución del agua con arsénico se debe a los procesos naturales y de origen antrópico (7), el desarrollo de operaciones de extracción de minerales y agrícolas del distrito de Torata constituye un problema que estaría causando la polución por arsénico en el agua superficial y subterránea, el cual viene afectando significativamente la calidad del recurso hídrico para consumo humano y la salud de los habitantes de Torata que consume este recurso.

En el monitoreo realizado por la Gerencia Regional de Salud Moquegua (GERESA) en los años 2014 al 2018 en la región Moquegua, que incluye el distrito de Torata, reveló que el agua que bebe la población de Torata, muestra preocupantes niveles elevados de arsénico, sobrepasando los límites máximos permisibles (LMP), señalados en el D.S. N° 031-2010-SA, es decir que supera el valor de 0.01mg/L. Según el informe emitido por la GERESA en el año 2019 concluyó que el distrito de Torata no cumple con los estándares de calidad de agua mínimos para el consumo humano.

En otro informe emitido en el año 2021 por la Dirección Regional de Salud Moquegua con Oficio N°054-2020-GRM-DIRESA/DR-DESA, se diagnosticó que la calidad de agua para consumo humano del distrito de Torata, no cumple con los valores establecidos por el D.S. N° 031-2010-SA en 8 sistemas de agua para consumo humano en el parámetro de arsénico, los cuales son PTAP Cerro Baúl, captación “El Pino” 0.0152 mg/l de As; Reservorio Cerro Baúl 0.0123 mg/l de As; Domicilio Cerro Baúl 0.0147 mg/l de As; PTAP Torata, captación Lambramani I 0.0154 mg/l de As; Captación Torata 0.0148 mg/l de As; Captación PTAP Torata 0.0151 mg/l de As; Sector Chacane, reservorio Chacane 0.0227 mg/l de As; domicilio Chacane 0.0310 mg/l de As; Sector Jorge Chávez A, reservorio 0.0243 mg/l de As; domicilio 0.0240 mg/l de As; Sector La banda, reservorio 0.0161 mg/l de As; domicilio 0.0163 mg/l de As; Sector Sabaya, domicilio 0.0177 mg/l de As; Sector Mollesaja Grande, reservorio 0.0238 mg/l de As, domicilio 0.0237 mg/l de As, Anexo Arondaya, captación 0.0186 mg/l de As, reservorio 0.0176 mg/l de As, domicilio 0.0169 mg/l de As (8).

Es por esa razón que se eligió el distrito de Torata para realizar el presente estudio; teniendo en cuenta que la calidad de agua de los sectores antes mencionados repercute en la salud de los habitantes de los centros poblados, el diseño del estudio es reducir los niveles de arsénico del agua potable humana mediante un proceso de fitorremediación, usando una tecnología verde para el tratamiento de agua (9).

### 1.1.1. Problema general

¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de la especie *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico, distrito de Torata, Moquegua?

### 1.1.2. Problemas específicos

- ¿Influirá la adaptación del *Nasturtium officinale* (berro) en una solución nutritiva para determinar la capacidad fitorremediadora?
- ¿Afectará la inducción de intoxicación del *Nasturtium officinale* (berro) con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l) en su estado vegetativo?
- ¿Cuál será el valor de arsénico que se determinará mediante el factor de bioacumulación del *Nasturtium officinale* (berro)?
- ¿Cuál será el valor de arsénico que se determinará mediante el factor de traslocación del *Nasturtium officinale* (berro)?
- ¿Cuál será la concentración final de arsénico en *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l)?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico, distrito de Torata, Moquegua.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar la adaptación de la especie *Nasturtium officinale* (berro) en una solución nutritiva.
- Inducir a la intoxicación del *Nasturtium officinale* (berro) con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).
- Determinar la acumulación de arsénico mediante el factor de bioacumulación del *Nasturtium officinale* (berro).
- Determinar la acumulación de arsénico mediante el factor de traslocación del *Nasturtium officinale* (berro).

- Determinar la concentración final de arsénico en *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).

### 1.3. Justificación e importancia

#### 1.3.1. Justificación práctica

Uno de los recursos naturales es el agua que tiene que ser evaluado por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, teniendo en consideración que es un recurso imprescindible para la existencia en el planeta, cuando la calidad y condición de agua para consumo humano se ve alterada, las propiedades comienzan a cambiar por lo tanto es importante realizar su análisis y aplicar un método de tratamiento para brindar un servicio de calidad.

Existen procesos de tratamiento amigables con nuestro entorno natural tal es el caso el que se está aplicando en nuestra investigación el proceso de fitorremediación mediante el cual la especie *Nasturtium officinale* (berro) permitirá la bioacumulación de los niveles de As en el agua y de tal manera brindar un agua de calidad a la población.

Se eligió *Nasturtium officinale* (berro) para valorar su proceder y determinar la capacidad fitorremediadora en la remoción de metales pesados presentes en el agua, como el arsénico; para así contar con datos determinantes de recuperación de los recursos hídricos contaminados, hasta ahora en la región no se han registrado esfuerzos mínimos en estudiar la capacidad fitorremediadora de *Nasturtium officinale* (berro).

#### 1.3.2. Justificación metodológica

El procedimiento, los instrumentos y las técnicas aplicadas en el estudio para determinar la capacidad fitorremediadora de la especie *Nasturtium officinale* (Berro) se podrá utilizar en trabajos de investigación posteriores.

El estudio comprende 4 tratamientos (T0 = 0.00 mg/l, T1= 0.1 mg/l, T2 = 0.3 mg/l, T3 = 0.5 mg/l de arsénico) considerando que el T0 = 0.00 mg/l corresponde al grupo control, cada unidad experimental tuvo 3 repeticiones, haciendo un total de 12 unidades experimentales. La contaminación con arsénico en la etapa de intoxicación con los tratamientos T1, T2, T3; tuvo una duración de 20 días, durante el periodo experimental se observó presencia de clorosis y necrosis en las plántulas debido a las concentraciones del contaminante arsénico que afectó al desarrollo vegetativo de la especie vegetal.

### 1.3.3. Justificación socioeconómica

El presente estudio tiene una justificación como una opción ecológica para la remoción de arsénico utilizando especies vegetales fitorremediadoras y de esta manera aumentar el estándar del agua que se proporciona a los habitantes.

El desarrollo de esta tecnología verde generará un impacto social, al optimizar las condiciones de vida de la sociedad donde hay limitantes para acceder a fitotecnologías a la vez resulta fundamental para el ambiente y para el acrecentamiento y bienestar de los habitantes.

### 1.3.4. Justificación ambiental

En el mundo el tratamiento de aguas se realiza mediante tecnologías convencionales (plantas de tratamiento) el cuál demanda costos elevados en el mantenimiento y operación, la idea es ofrecer una alternativa que esta sea a su vez sea natural y amigable con el medio ambiente, la importancia a nivel económica de este estudio de fitorremediación se arraiga en el bajo valor económico de mantenimiento y operación, puesto que al utilizar macrófitos se realiza un tratamiento natural.

Según el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. 031-2010-SA establece los límites máximos permisibles para el agua de consumo humano relativo a los parámetros parasitológicos, microbiológicos, organolépticos, químicos inorgánicos y orgánicos y radiactivos; pero también dicho reglamento establece mayores y nuevas responsabilidades a gobiernos regionales; en el anexo III para los parámetros químicos e inorgánicos se encuentra el Límite máximo permisible para el As en donde indica que es 0.01 mg/l por el cual el agua no debe superar (10).

### 1.4. Hipótesis

Ho: Las concentraciones de arsénico 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l no influyen de manera significativa en la capacidad fitorremediadora de *Nasturtium officinale* (berro).

Ha: Las concentraciones de arsénico 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l influyen de manera significativa en la capacidad fitorremediadora de *Nasturtium officinale* (berro).

### 1.5.Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p><b>Variable independiente:</b> Concentración de arsénico en la especie vegetal</p>	<p>Se define como la introducción de una sustancia o modelo de actividad (As) en un entorno mediante el cual se limita a ser seguro por lo tanto no será apto para usarlo (11).</p>	<p>Se inducirá a la intoxicación de <i>Nasturtium officinale</i> con diferentes concentraciones y después de 20 días de contaminación con As, se procederá a medir la concentración de As en la especie (tallo, hojas, raíz).</p>	<p>Concentraciones conocidas de arsénico  C<sub>1</sub>= 0.1 mg/l C<sub>2</sub>=0.3 mg/l C<sub>3</sub>= 0.5 mg/l</p>	<p>Cantidad de arsénico presente en <i>Nasturtium officinale</i></p>	<p>RAZÓN</p>
<p><b>Variable dependiente:</b> Capacidad fitorremediadora de <i>Nasturtium officinale</i> (berro)</p>	<p>Es la capacidad que las especies vegetales tienen para realizar la restauración in situ de aguas, suelos, aire y sedimentos que han sido contaminados por metales pesados, desechos orgánicos o nutrientes, haciendo inocuos o eliminando dicho elemento (12).</p>	<p>Se realiza mediante el cálculo de la división de concentración de As en la plántula entre la concentración inicial de As en agua.</p>	<p>Capacidad fitorremediadora</p>	<p>Factor de bioacumulación</p>	<p>ORDINAL</p>
		<p>Se calcula mediante la relación de la concentración de As en parte radicular entre la concentración de As de arsénico en parte aérea de la plántula.</p>		<p>Factor de traslocación</p>	<p>ORDINAL</p>

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo publicado en el año 2020 denominado “Evaluación de los efectos sinérgicos de cromo y plomo durante el proceso de fitorremediación con berro (*Nasturtium officinale*) en un humedal artificial” El objeto de dicho estudio realizado fue “evaluar el efecto sinérgico en la acumulación simultánea de plomo (Pb) y cromo (Cr) (VI) en *Nasturtium officinale*”; para el cual se hizo en un sistema cerrado y un humedal de tipo artificial, con el propósito de estimar el proceder de los metales cuando estén en presencia de la especie. Al término de cada unidad experimental se midió la concentración retenida de metales en la hoja, tallo y parte radicular. Los resultados fueron los siguientes: los metales se acumularon mayormente en parte radicular. Es decir, al aumentar la concentración de cromo (VI), la especie vegetal acumuló más elemento contaminante y en la combinación con el plomo la tolerancia de la especie vegetal incrementa, sin embargo, el factor de traslocación se reduce. El experimento que se realizó en el humedal de tipo artificial, el tanto por ciento de remoción de plomo y cromo total tuvo como valor >99.9% (100 mg/l) y 95% (28.5 mg/l); llegando a la conclusión que los valores obtenidos nos indican que hay una serie de interacciones ambientales, químicas y físicas, en los cuáles determinaron la capacidad de bioacumulación en *Nasturtium officinale* (13).

En el artículo publicado en el año 2016 denominado “Impacto de las concentraciones enriquecidas de cadmio, plomo, arsénico y zinc en el medio de cultivo sobre la absorción elemental de *Nasturtium officinale* (berro)” el objeto del estudio fue evaluar el efecto de la condición del agua en la distribución y absorción de metales tóxicos presentes en el agua; arsénico, cadmio y plomo, utilizando *Nasturtium officinale*. Se utilizó un sistema hidropónico para el cultivo de la especie en un invernadero luego de la adaptación se intoxicó con concentraciones variables de As, Pb y Cd. Las especies vegetales fueron analizadas cada siete días para determinar la existencia de síntomas fisiológicos y morfológicos al estar en contacto con elevadas concentraciones de cadmio y plomo. Las plántulas expuestas al arsénico a elevadas concentraciones no pudieron sobrevivir y se estableció que el índice de tolerancia para *Nasturtium officinale* es 5 ppm de arsénico. Los resultados fueron los siguientes, los factores de traslocación tuvieron un valor bajo en los casos evaluados, porque los elementos tóxicos se acumularon en las raíces. En la

investigación también se evaluó el impacto del zinc sobre la absorción de elementos tóxicos y se determinó que tiene un efecto antagonista sobre la absorción de plomo y cadmio sin un efecto notable sobre la absorción de arsénico (14).

En el artículo publicado en el año 2010 denominado “Acumulación de arsénico y respuestas biológicas del berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) expuesto a arsenito”; el objetivo del estudio realizado ha sido determinar la respuesta biológica de la especie vegetal berro mostrado a diferentes concentraciones de arsénico 1, 3, 5, 10, 50  $\mu\text{M}$  de arsenito durante siete días, se evaluó la acumulación de As en las hojas y se determinó que el berro es capaz de acumular As III en sus hojas; los resultados muestran que la especie es tolerable a concentraciones mínimas de arsénico mientras que a concentraciones elevadas afecta al crecimiento de la planta, en conclusión *Nasturtium officinale* es tolerante al estrés sometido por arsénico III, en condiciones moderadas (15).

En el artículo publicado en el año 2009 denominado “características de crecimiento y bioacumulación del berro (*Nasturtium officinale* R. BR.) expuestos a Cd, Co, Cr” tuvo como objetivo principal la determinación de los efectos en la etapa de crecimiento de la especie berro en los contaminantes de cadmio, cromo y cobalto, en donde las plántulas seleccionadas fueron mostradas a concentraciones de cadmio, cromo y cobalto en un tiempo de 3 días, los resultados de la tasa de crecimiento relativo obtenidos en las plántulas que han sido expuestas a cobalto aumentaron prontamente cuando fueron exhibidas a concentraciones relativamente bajas, pero inmediatamente disminuyeron. Los valores de RGR de las plántulas que han sido expuestas a concentraciones de cromo y cadmio tuvieron la tendencia de disminuir igualmente; la relación del factor de bioacumulación fue relativamente más alta para las plántulas que fueron expuestas a cobalto, mientras que las plantas comprometidas a cromo fueron más bajas (16).

En un artículo publicado en el año 2005 denominado “bioacumulación de cobre, zinc y níquel de las aguas residuales por tratamiento de *Nasturtium officinale*” tuvo como objetivo determinar las respuestas fisiológicas en eficiencia de bioacumulación de concentraciones altas de Cu, Ni y Zn; las plántulas fueron expuestas a dichos metales, seguidamente se analizaron por el método de espectrofotómetro de absorción atómica, los resultados muestran que *Nasturtium officinale* es tolerante a concentraciones bajas de ciertos metales pesados (17).



### 2.1.2. Antecedentes nacionales

En una tesis realizada en la ciudad de Cuzco en el año 2017 denominada “Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales *Nasturtium officinale* W. T. Aiton (Berro) E *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (Matecillo) en relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones” se realizó una investigación que consistía en tres etapas para determinar la capacidad de fitorremediación del berro, las concentraciones para la contaminación con Hg fueron de 0.1, 0.5, 1, 2 y 5 ppm, al culminar se realizó el cálculo del BAF y el cálculo FT, el valor del BAF para *Nasturtium officinale* fue mayor a 1000 mg/L hasta la concentración de 2 ppm de Hg considerándose hiperacumuladora hasta dicha concentración, mientras que el valor de que *Hydrocotyle ranunculoides*, obtuvo un BAF superior a 1000 mg/L hasta la concentración 1 ppm de Hg; el FT para *Nasturtium officinale* en las concentraciones 0.1, 0.5, 1 ppm de Hg muestran >1 mg/L considerándose hiperacumuladoras y para *Hydrocotyle ranunculoides* en las concentraciones 0.1 y 0.5 ppm de Hg muestran >1 mg/L considerándose hiperacumuladoras, como resultado del estudio se consideró que ambas especies poseen capacidad fitorremediadora (18).

En la tesis realizada en el año 2014 denominada “Evaluación de la actividad fitorremediadora del *Schoenoplectus californicus* “junco” en agua contaminada con arsénico, Tacna 2013” tuvo como objeto determinar la eficiencia de fitorremediación del *Schoenoplectus californicus* en un agua artificial que contenía concentraciones de As; las plántulas fueron inducidas a un agua que contenía cuatro tipos de concentraciones diferentes de arsénico las cuales se sometieron a 14 días de intoxicación; los resultados de mayor eficiencia se dieron al cuarto día después del tratamiento, concluyendo que el junco tiene capacidad fitorremediadora en un agua contaminada con As (19).

En una tesis realizada en el año 2019 denominada “Eficiencia del jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor* L. en la remoción de Cd en aguas residuales” tuvo como objetivo la determinación de la eficiencia en la remoción de Cd en las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* L. se realizó en sistemas simulados y se añadió una concentración de 2mg/l de Cd, la misma concentración para ambos sistemas simulados que contenía una especie en cada uno, el procedimiento se realizó mediante un sistema de circulación del agua con el elemento contaminante durante once días y se tomaron las muestras para el análisis cada dos días. Los resultados indican que *E. crassipes* tuvo un porcentaje de remoción de 83.57 % y *L. minor* L presentó una eficiencia

de 39.35% concluyendo que *E. crassipes* tuvo un elevado porcentaje de remoción de cadmio (20).

En una tesis realizada en el año 2017 denominada “determinación de la capacidad fitorremediadora de *Scirpus americanus* (Junco) en aguas contaminadas con arsénico, Arequipa-2016” tuvo como objeto de determinar el potencial de fitorremediación del *Scirpus americanus*, el proceso se realizó en un sistema de hidroponía por un tiempo de un mes y dos días en donde se colocaron las plantas para ser sometidas al proceso de intoxicación a niveles de 1.2 mg/l y 2.4 mg/l, los resultados evidencian que el *S. americanus* presentó una alta capacidad fitorremediadora de As en las hojas a los doce días después del tratamiento, mientras que en las raíces se tuvo una menor bioacumulación, concluyendo que en las hojas se presentaron mayor concentración del elemento contaminante (21).

En una tesis realizada en el año 2020 denominada “Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del Centro Poblado Cruz del Medano – Morrope-2019” tuvo como objetivo la evaluación de la eficiencia fitorremediadora del Jacinto de agua para disminuir la concentración de arsénico de agua con la que se abastecía el CP de Cruz del Medano, el agua inicialmente tenía una concentración de 0.047 mg/l de As y al ser sometida al tratamiento de fitorremediación con la especie tuvo un resultado de 0.031 mg/l de As después de una semana, en la segunda semana tuvo un resultado de 0.019 mg/l, concluyendo que *Eichhornia crassipes* tiene eficiencia de fitorremediación de un 60% (22).

En una tesis realizada en el año 2019 denominada “Actividad fitorremediadora de la totora (*Schoenoplectus californicus*) en agua contaminada por arsénico en los pozos del caserío Tranca Fanupe – Mórrope” tuvo como objeto medir la eficacia de la fitorremediación de la especie vegetal totora en un agua utilizada para el abastecimiento de la población, se analizaron las muestras de agua y como resultado inicial de concentración se arsénico tenía 0.1 mg/l, seguidamente se procedió a iniciar el proceso de fitorremediación aplicando la totora los cuales se realizaron 3 tratamientos que constaban de  $t_1=0.005$ ,  $t_2=0.15$  y  $t_3=0.20$  mg/l, después de 20 días se obtuvieron los siguientes resultados en el tratamiento uno tuvo una remoción de As de 95%, en el tratamiento dos tuvo una remoción de 85% de As y en el tratamiento tres tuvo una

remoción de un 80% de As, concluyendo que la totora presenta actividad fitorremediadora (23).

En una tesis realizada en año 2019 denominada “Eficiencia de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub- Pontederiaceae y *Nasturtium officinale* W.T. Aiton – Brassicaceae en la remoción de DBO5 y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín” tuvo como objetivo la determinación de la eficacia del jacinto de agua y del berro en aguas residuales para remover DBO5 y DQO, se eligieron 3 puntos y se realizaron los procedimientos respectivos de fitorremediación; los parámetros evaluados fueron DBO5, DQO y OD y se obtuvieron los resultados siguientes el jacinto de agua removió un 85.80% de DBO5 mientras que el berro removió el 30.62%; para el parámetro de DQO el jacinto de agua removió 84.33% mientras que el berro removió un 35.44%; para el parámetro de OD alcanzó un 30.61% y berro alcanzó un valor de 64.29%, en resumen el jacinto de agua es eficiente para remover DBO5 Y DQO mientras que para el OD el berro es más eficiente (24)

### 2.1.3. Antecedentes regionales y locales

En el artículo publicado en el año 2018 denominado “Fitorremediación de aguas residuales domésticas en Moquegua” se realizó un estudio en un efluente de la PTAR con el nombre “OMO” de la ciudad de Moquegua, el cual tenía como objeto de determinar el grado de fitodepuración con la especie vegetal junco utilizando las aguas residuales, se diseñó una estructura de tratamiento dónde la especie se mantenía flotante. Para determinar la eficiencia se evaluó cada 3 días el agua residual proveniente del efluente de la estructura de fitodepuración instalada, los resultados fueron obtenidos a los 9 días en donde se observó una eficiencia de retenimiento de STS con un valor de 51 mg/l y DBO5 con un valor de 52 mg/l; para el pH los valores que se obtuvieron fueron uniformes (25).

En el artículo publicado en el año 2021 denominado “Eficiencia de *Eisenia foetida*, *Eichhornia crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú”, tuvo como objetivo la determinación de eficiencia de sistemas artificiales de depuración el cual consta de 3, teniendo en consideración que el agua utilizada para dicho estudio fue agua residual doméstica de la ciudad de Moquegua, la muestra de agua utilizada se tomó en el efluente, previamente se analizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, luego se realizó el tratamiento las especies de la siguiente manera la, primer sistema se trató con *Eisenia foetida*, el segundo

sistema se realizó el tratamiento con *Eisenia foetida* + *Eichornia crassipes* el último se utilizó *Eisenia foetida* + *Eichornia crassipes* + hipoclorito de calcio, como resultado se muestran una diferencia entre los sistemas, llegando a la conclusión que el tratamiento número 2 conformado por las especies *Eisenia foetida* + *Eichornia crassipes* es el más eficiente (26).

En el oficio N°054 presentado en el año 2021, con fecha 03 de diciembre a la Municipalidad Distrital de Torata por parte de la Gerencia Regional de Salud Moquegua con el asunto “Diagnóstico de la calidad de agua para consumo humano del distrito de Torata año 2020” en donde remiten los resultados de los monitoreos que fueron realizados por parte de la Gerencia Regional de Salud Moquegua en distintos sectores de la localidad de Torata, para los parámetros inorgánicos son ocho sectores de que no cumplen con los LMP para arsénico que establece el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, mostrando una preocupación por parte de las autoridades y de la población en cuanto a calidad de agua se refiere (27).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. El agua

Según François Dossier; menciona que el agua es un elemento más numeroso en el planeta y que únicamente se encuentra en nuestra atmósfera en 3 estados: líquido, sólido y gaseoso. Los océanos tienen la mayor cantidad de reserva de agua salada dado que contienen un 97% del líquido que se halla en el planeta Tierra; el otro porcentaje es agua dulce, pero tiene una disponibilidad limitada debido a que gran parte permanece en los casquetes polares y glaciares (28).

El recurso hídrico es esencial y vital para la existencia continua de los seres vivos, la cantidad de agua dulce que hay en el planeta es limitada, y su calidad está siendo afectada a lo largo de años. Es importante la conservación del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable, producción y uso recreativo. En los últimos años la calidad está siendo alterada por la existencia de agentes contaminantes como productos químicos o radiaciones (29).

### 2.2.2. Importancia del agua

El agua es un elemento líquido distribuido en la naturaleza y es esencial para la sostenibilidad y la vida en nuestro planeta, debido a que apoya a la estacionalidad de la mecánica del entorno de los seres vivos y organismos. Es invariable para todos nuestros ecosistemas y para la regulación del clima. Tiene un ciclo continuo sin principio ni fin (30). Hoy en día el ser humano no toma conciencia y altera el recurso hídrico perjudicando a nuestra propia naturaleza y existencia. El ser humano puede llegar a necesitar 500 L de agua potable al día, lo que significa un enorme uso del agua; de tal modo podemos ver el valor del agua para el progreso de la vida (31).

### 2.2.3. Agua para consumo humano

Es aquella que es utilizada para la ingesta del ser humano, higiene, cocinar, lavado de prendas de vestir o utensilios y otros. Esta a su vez cumple con características de calidad como parámetros fisicoquímicos y microbiológicos es inocua para la salud del ser humano (32).

#### 2.2.4. Contaminación del agua

Las características del agua están siendo alterada debido a los procesos antropogénicos que provocan múltiples impactos negativos en los sistemas de agua acuáticos (33).

##### 2.2.4.1. Contaminantes del agua

Según Hilleboe (34) menciona que “los contaminantes se clasifican de acuerdo a su naturaleza fisicoquímica:

- Agente físico: Calor
- Compuestos químicos orgánicos: Se encuentran los aminoácidos, aceites y grasas, hidratos de carbono, proteínas, jabones y detergentes, pesticidas, entre otros.
- Bionutrientes: Son compuestos nitrogenados y fosforados.
- Compuestos químicos inorgánicos: Ácidos y bases, sales: aniones y cationes; elementos tóxicos: metales y no metales; especies minerales no disueltas y elementos radiactivos.
- Microorganismos: Algas, virus, bacterias y hongos”

##### 2.2.4.2. Fuentes de contaminación del agua

- Fuente puntual: Son aquellas en las que los contaminantes ingresan a un cuerpo superficial por un solo lugar, éstas a la vez incluyen aguas servidas que no tienen un tratamiento previo y también incluyen las aguas negras de plantas de tratamiento de aguas servidas y filtración, son fáciles de identificar, monitorear y controlar (35).
- Fuente difusa: Denominada también como contaminación no puntual; es aquella contaminación que no proviene de una fuente única puntual, es decir no tiene un punto de origen determinado; ésta sucede cuando existe una acumulación de cantidades mínimas de contaminantes que son provenientes de un área más grande (36).

#### 2.2.5. Metales pesados

Son aquellos peligrosos cuyas características comunes son, la bioacumulación, toxicidad elevada, persistencia, biotransformación y la bioacumulación, esto hace que se encuentren en los ecosistemas por mucho tiempo (37); Por lo que la palabra metal pesado se refiere a aquellos metales que tienen un peso específico superior a 5 g/cm<sup>3</sup> y su número atómico es por encima de 20 (38).

#### 2.2.6. Metaloides

Los metaloides son elementos que tienen un comportamiento intermedio entre los metales y no metálicos, es decir presentan propiedades de los dos grupos, tienen un comportamiento como no metales, físicamente y químicamente, en la propiedad física, la conductividad tiene un parecido a los metales; son semiconductores de electricidad en un menor grado que los elementos metálicos (39).

#### 2.2.7. Contaminación por metales pesados y metaloides

Los metales pesados y los metaloides se bioacumulan y se biomagnifican a través de las cadenas tróficas. La bioacumulación de metales significa una acumulación en un organismo (40); el acaparamiento de estos elementos dañinos en niveles elevados ocasiona que la capacidad de los organismos para resistir, desarrollarse y procrear se vea obstaculizada (41).

#### 2.2.8. Arsénico

El As es un metaloide que está presente y distribuido en nuestro entorno. Se encuentra en el medio ambiente en estado de oxidación trivalente y pentavalente también formando compuestos orgánicos e inorgánicos, los compuestos orgánicos tienen un nivel menor de toxicidad que los compuestos inorgánicos y los compuestos trivalentes son más dañinos que los compuestos pentavalentes (42). El As es el elemento que está considerado entre los 20 más abundantes de la naturaleza que se halla en cantidades traza en el agua, suelo, aire y en las rocas (43).

Alrededor de 1/3 del As presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales como las emisiones de volcanes, la actividad biológica y lo demás se origina de las actividades antropogénicas (44).

### 2.2.9. Propiedades fisicoquímicas del arsénico

El número atómico del arsénico es 33 y el 53° elemento más abundante de los 92 elementos en la corteza terrestre raramente está presente de forma sólida, muestra propiedades metálicas y no metálicas considerándose un metaloide en donde predomina el carácter no metálico (45).

### 2.2.10. Fuentes de contaminación del arsénico

El principal origen de contaminación por As se debe a los procesos naturales y antropogénicos y la problemática de contaminación se basa en la movilización rápida de este elemento en el medio ambiente (46).

#### 2.2.10.1. Fuentes naturales

El arsénico se puede encontrar de manera muy frecuente en las aguas subterráneas y superficiales, llegando a concentrarse producto de la erosión de rocas volcánicas y superficiales, se sitúa en forma de rocas sedimentarias, volcánicas y en aguas geotermales; en las aguas está presente como arsenato o arsenito; por lo tanto, este elemento se encuentra como pentavalente en las fuentes naturales (47); por lo tanto se estimó que el 60% del flujo de la atmósfera de arsénico es de origen natural, concluyendo que una de las primordiales causas de polución por fuente natural es la acción volcánica (48).

#### 2.2.10.2. Fuentes antropogénicas

Estas fuentes son producto de la mano del hombre, pueden ser expuestos y liberados al ambiente, tales contaminantes pueden llegar a la cadena alimenticia causando un grave problema para el ser humano, el arsénico es insertado al suelo a través del uso de plaguicidas, residuos de las industrias o el polvo de la incineración de combustibles fósiles; de igual manera en el recurso hídrico las partículas de material particulado de la industria minera son liberados y transportados por el viento y se depositan en áreas cercanas, contaminando fuentes de agua, suelo y aire (49).

### 2.2.11. Toxicidad del arsénico

Ésta depende de la forma en la que se encuentra en el ambiente; el arsénico que se encuentra en el ambiente en forma trivalente inorgánica (As III) tiene una elevada toxicidad y está presente mayormente en los alimentos marinos (50); la toxicidad del



arsénico tiene una forma decreciente y está de la siguiente manera Arsina - Arsénico III (I) – Arsénico III (O) -Arsénico V (I) – Arsénico V (O) – compuestos arsenicales y arsénico elemental (51). El arsénico es dañino para el ser humano al ingreso de este elemento tóxico al cuerpo se distribuye en el torrente sanguíneo pasando por los órganos, tejidos; en un inicio se acumula en el riñón, hígado y pulmones; en donde tiene una retención más prolongada es en las uñas y el cabello (52); el arsénico que absorbió el cuerpo humano se elimina mediante la orina y una cantidad mínima en las heces (53).

#### 2.2.12. Comportamiento del As en el ambiente

El arsénico se encuentra en la naturaleza añadido a rocas de origen volcánico, sedimentarios y en fuentes de agua geotermal; en los relaves de mina se encuentra mayormente en forma de sulfuro de As y arsenopirita y en las fuentes de aguas superficial se encuentran en forma de arsenito y arsenato (54).

#### 2.2.13. Arsénico en agua para consumo humano

El arsénico en el agua para consumo humano representa un grave problema, en diferentes lugares del planeta se han identificado poblaciones que se abastecen de agua para consumo humano de origen subterráneo, los que tienen un historial son Asia, Nepal, Vietnan, Bangladesh, India, China, Nepal, Taiwan y en América del tenemos a Perú, México, EE. UU, El Salvador, Chile, Argentina en Europa, España, Grecia, Rumania, Hungría (55). Las consecuencias para la salud del ser humano hoy en día continúan siendo objeto de estudios en diferentes continentes, según investigaciones se han detectado que en algunos países el valor del arsénico supera los 50 µg/l en el agua para consumo humano (56). Según la Organización Mundial de la Salud sugiere un valor de 10 µg/l para As en agua de consumo humano (57). La mejor manera de evitar efecto del recurso hídrico contaminado por As es cambiar las fuentes de abastecimiento o implementar una tecnología de remediación (53).

#### 2.2.14. Normativa peruana

La normativa peruana establece los parámetros y LMP que debe de cumplir el agua para consumo humano para arsénico; ésta debe de estar sujeta con la legislación nacional o norma internacional.

### ANEXO III

## LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Tabla 2: Anexo III: Límites máximos permisibles

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

Fuente: Reglamento de calidad de agua para consumo humano (58).

- Nota 1: En caso de los sistemas existentes se establecerá en los planes de adecuación sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL<sup>-1</sup>
- Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL<sup>-1</sup>

#### 2.2.15. Arsénico en el organismo humano

El As ingresa al cuerpo humano por una “inhalación de aire, absorción dérmica y por ingestión de alimentos y agua” (59); el arsénico es expuesto al ser humano por las actividades antropogénicas mediante la agricultura, minería, el uso de combustibles fósiles, medicinas, ingesta de agua y alimentos contaminados (60); si nuestro organismo ingiere arsénico por fuentes de agua, alimentos o suelo gran cantidad pasará al torrente sanguíneo; caso contrario si respira polvos de arsénico, las partículas se posarán en los pulmones; pasando seguidamente al torrente sanguíneo; si nuestra piel es expuesta al agua y suelo con arsénico, una mínima cantidad ingresará a la piel; cabe recalcar que una exposición al arsénico en su forma orgánica e inorgánica nuestro organismo se encarga de eliminar cierta parte en la orina en unos días (61); según investigaciones realizadas el arseniato es de carácter no acumulativo es decir que puede eliminarse en cinco días siempre y cuando no sean ingeridas continuamente (62); el arsénico una vez absorbido por el organismo humano llega a la sangre; pasado un día se traslada al riñón, hígado, pulmones y bazo en donde se acumula; dentro de un día y seis horas se acumulan en las uñas y el cabello; la cantidad de As en el cabello son indicadores de tiempo desde que inició el periodo de exposición (63); las consecuencias de una exposición al arsénico tienen un nivel letal agudo que lleva a efectos crónicos, distintos órganos y sistemas se ven afectados, dentro de las cuales están las vías respiratorias, piel, sistema nervioso, cardiovascular, digestivo, inmunológico, reproductivo, genitourinario (64).

#### 2.2.16. Arsénico en tejido vegetal

Una forma de absorción de As en los tejidos vegetales es en la parte radicular porque es la vía de entrada, pero es preciso que el elemento se halle disuelto (65); la adsorción de As III y As V en la parte de la raíz es demasiado rápida, de esta manera se obtiene concentraciones elevadas de arsénico en las raíces de especies que son cultivadas hidropónicamente (66); al “ingresar el arsénico al interior de la célula en As será reducido a As III catalizado por la actuación de arseniato reductasa” (67); de esta manera se comprueba que la mayor parte de As en tejidos de origen vegetal está en forma de arsenito (68)

#### 2.2.17. Métodos para remover arsénico en el agua

Hoy en día hay diferentes tecnologías para eliminar el arsénico del agua, la limitante es su alto costo y tienen un tratamiento más complejo. La potabilización para agua potable pasa por diferentes procesos de “coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección” en caso el agua contenga concentraciones elevadas de arsénico requiere de tratamientos que demanda más altos costos (53); para determinar el tipo de tecnología de procesamiento de agua potable en un agua contaminada con arsénico depende de diferentes factores, éstas son algunas tecnologías “coagulación-filtración, oxidación-filtración, Adsorción utilizando medios de hidróxido de hierro granular, intercambio de iones, separación de membrana, medios VSN-33” (69), existen también procesos de origen biológico como la biofiltración y fitorremediación (53)

#### 2.2.18. Fitorremediación

La técnica de fitorremediación es una nueva tecnología que se basa en la utilización de plantas y microorganismos que está agregado a la rizósfera y ésta se integra para remover de manera in situ o ex situ los elementos tóxicos; en hábitats en donde no existe la interacción del hombre las especies “actúan como filtros, buscando remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar, concentrar o estabilizar elementos tóxicos en el agua, suelo, lodos o sedimentos” (70); han sido identificadas diversas especies de plantas que se emplearon para fitorremediar; algunas tienen una eficiencia elevada para acumular metales, donde se les conoce como plantas hiperacumuladoras (71).

#### 2.2.19. Características de fitorremediación

Según Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (72) mencionan que las características más comunes son las siguientes:

- La técnica de fitorremediación es empleada para diferentes tipos de contaminantes
- Es empleada en áreas donde no tienen una distancia larga y también en donde la contaminación por elementos tóxicos es superficial.
- Los tejidos vegetales tienen una técnica de acumulación.
- La fitorremediación requiere de una limpieza lenta y pasiva, en donde predomina la estética y depende básicamente de la energía solar.

Las plantas que absorben los contaminantes como primer paso la metabolizan y la almacenan, disminuyendo de esta manera la liberación de componentes tóxicos. En el caso de los componentes de origen orgánico fácilmente pasan a ser degradados o metabolizados así el asimila en el crecimiento de la plántula; los elementos de origen inorgánico (metaloides y metales) hay una única forma de fitoestabilizar o fitoextraer debido a que no son biodegradables (73)

#### 2.2.20. Ventajas y desventajas

A continuación, una lista de ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas de la fitorremediación	Desventajas de la fitorremediación
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se pueden reciclar recursos (metales, biomasa, agua)</li> <li>✓ La tecnología es sustentable</li> <li>✓ Tiene una volubilidad potencial para el tratamiento de diferentes materiales peligrosos.</li> <li>✓ Es eficiente para remediar distintos tipos de elementos polución <i>in situ</i>.</li> <li>✓ Elude la excavación y el tráfico</li> <li>✓ Se aplica a ambientes con una concentración baja o moderada.</li> <li>✓ El costo es relativamente bajo, no requiere consumo de energía ni personas capacitadas para el manejo.</li> <li>✓ La posibilidad de ser aceptada por la gente es porque es agradable estéticamente.</li> <li>✓ Sostienen un menor daño para el medio ambiente.</li> <li>✓ Nunca produce elementos contaminantes suplementarios por lo que no hay necesidad de lugares de disposición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Podría ayudar a la proliferación de mosquitos.</li> <li>✓ El proceso para el desarrollo es lento, debido a que las especies vegetales son de un periodo de vida larga.</li> <li>✓ Se necesitan áreas de mayor extensión.</li> <li>✓ Depende de las estaciones</li> <li>✓ La disolución de algunos elementos contaminantes tiene una posibilidad de incrementarse, teniendo como consecuencia un deterioro ambiental o movilización de contaminantes.</li> <li>✓ El desarrollo de la vegetación podría ser reducido por la toxicidad alta.</li> <li>✓ Los elementos tóxicos bioacumulados en las hojas podrían ser expuestos o expuestos al entorno natural durante la estación de otoño.</li> <li>✓ Solo algunas plantas son acumuladoras o tolerantes.</li> <li>✓ Los elementos tóxicos pueden acumularse en el tronco para posterior quema.</li> </ul>

Fuente: Ventajas y desventajas de fitorremediación (74)

### 2.2.21. Limitaciones de la fitorremediación

Según Betancur, Macias y Suárez (75) mencionan que se debe de tener en cuenta que existen limitaciones en cuanto a la aplicación de la tecnología:

- “Las plantas utilizadas determinarán la hondura a tratar
- Elevadas concentraciones de elementos resultarían tóxicas
- Depende de las estaciones
- La biodisponibilidad y toxicidad pueden mobilizarse y bioacumularse en animales”

### 2.2.22. Tipos de fitorremediación

Según Jaramillo y Flores (76) existen diferentes procesos de fitorremediación:

Tipo	Proceso involucrativo	Polución tratada
Fitoextracción	Las plantas se utilizan para reunir metales en la parte radicular y aérea.	Metales: Ag, Cd, Co, Cu, Hg, manganeso, molibdeno, Ni, Pb y zinc. No metales: Arsénico y boro
Fitoestabilización	Los tejidos vegetales tolerantes a metales se utilizan para aminorar el traslado de los mismos y eludir el pasaje a napas subterráneas o a la atmósfera.	Lagunas de detrito de actividades de extracción. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitovolatilización	Las plantas captan y transforman metales pesados o elementos de origen orgánico y los liberan al aire mediante el proceso de transpiración.	Hg, Se y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Los macrófitos acuáticos y terrestres captan,	Municiones (nitrobenceno, nitrotolueno) atrazina,

	Guardan y descomponen elementos de origen orgánico para brindar productos de menor toxicidad o no tóxicos.	solventes, clorados, pesticidas, fofatados, fenoles y nitrilos etc.
Rizofiltración	La parte radicular de las plantas tienen una utilidad para atraer, sedimentar y acumular metales a partir de efluentes en contaminación y degradar elementos de origen orgánico.	Cd, Co, Cr, Ni, Hg, Pb, selenio, zinc, isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestimulación	Se usan los exudados de la parte radicular incrementar el desarrollo de microorganismos.	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina etc.

Fuente: Tipos de fitorremediación (76)

#### 2.2.23. Tipos de sistemas de fitorremediación acuático

Según Raskin, Kumar, Dushenkov y Salt (77) mencionan que los sistemas son de 4 tipos:

#### 2.2.24. Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes

Son albercas medioconstruidos o estanques naturales, en donde las plántulas flotantes se conservan para el tratamiento de aguas residual.

#### 2.2.25. Sistema de rizofiltración

Los sistemas de rizofiltración son sistemas que remueven nitratos, pesticidas, fosfatos, metales pesados, fenoles, fluoruros, elementos radiactivos, virus y bacterias.

#### 2.2.26. Humedales artificiales

Los humedales de origen artificial se delimitan como un dificultoso de sustratos saturados, animales, agua y flora emergente, que está diseñado por el hombre.

#### 2.2.27. Sistema integral de tratamiento

Es una combinación de los humedales artificiales y el sistema de tratamiento con plantas acuáticas.

#### 2.2.28. Tipos de macrófitas acuáticas

Según Jaramillo y Flores (76) mencionan que hay 3 tipos de macrófitas acuáticas:

##### 2.2.28.1. Macrófitos sumergidos

Este tipo de plantas se desarrollan dentro del agua sumergidos, tienen un potencial de absorber O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y minerales, las partes fotosintéticas están por debajo del agua.

##### 2.2.28.2. Macrófitos flotantes

Los macrófitos se dividen en 2 grupos:

- Plantas no fijas: Es decir que están libres de flotación, el desarrollo de la planta es sobre la superficie de modo que la parte radicular no está fija.
- Plantas fijas: De hoja flotante; las hojas se encuentran flotando sobre el agua de modo que la parte radicular está relativamente fija sobre sedimentos.

##### 2.2.28.3. Macrófitos emergentes

Los macrófitos emergentes se desarrollan en agua de baja profundidad y la raíz está arraigada en los sedimentos y la parte aérea está emergida fuera del agua de modo que la energía solar llega fácilmente.



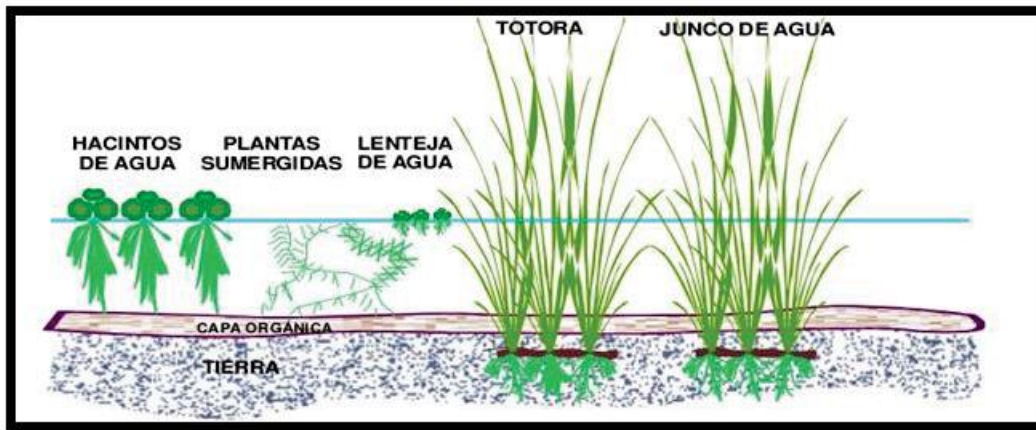


Gráfico 1: Macrófitos acuáticos (78)

### 2.2.29. Perspectiva para selección de macrófitos

Según Núñez, Meas, Borges y Olgúin (74), mencionan que se necesitan ciertos criterios para realizar la selección de macrófitos en la técnica de fitorremediación, depende de la especie, el desarrollo de la plántula, su temporalidad y el tipo de elemento a remover.

- Deben de tener un grado de tolerancia a concentraciones elevadas de metales.
- Deben de ser acumuladores de metales.
- Deben de poseer capacidad acelerada de desarrollo y productividad alta.
- Deben de ser especies predominantes del lugar.
- Deben ser de fácil cosecha.

### 2.2.30. Factor de bioacumulación

- Factor de bioacumulación: Se realiza mediante el cálculo de la división de concentración de As en la plántula entre la concentración inicial de As en agua (79).

*Ecuación 1: Cálculo del factor de bioacumulación*

$$\text{BAF} = \frac{\{\text{metal}\} \text{ Tejidos}}{\{\text{Metal}\} \text{ Agua}}$$

Dónde:

{metal} Tejidos= Concentración total del metal en tejido vegetal

{Metal} Agua= Concentración del metal inicial en el agua contaminada

Se interpreta de la siguiente manera las especies vegetales que tengan un factor de bioacumulación  $\geq 1000$  mg/l son especies hiperacumuladoras o acumuladoras; si tienen un valor  $< 1000$  mg/l se consideran tolerantes; los que presentan un valor  $< 100$  son consideradas especies excluidoras (80).

#### 2.2.31. Factor de traslocación

- Factor de traslocación: Se calcula mediante la relación de la concentración de As en parte radicular entre la concentración As de arsénico en parte aérea de la plántula (79).

*Ecuación 2: Cálculo del factor de traslocación*

$$FT = \frac{\{As\} \text{ parte aérea}}{\{As\} \text{ raíz}}$$

Dónde:

{As} parte aérea= Concentración total de arsénico en parte aérea

{As} raíz= Concentración total de arsénico en raíz

Se interpreta de la siguiente manera, las especies con un FT  $\geq 1$  mg/l son especies hiperacumuladoras o acumuladoras; si tienen un valor de  $< 1$  mg/l se consideran tolerantes; los que presentan un valor de  $< 0.1$  mg/l son consideradas especies excluidoras (80).

#### 2.2.32. Forma de acumulación de metales en macrófitos

Los macrófitos poseen capacidad de reunir metales, mediante un proceso que radica en 2 pasos (81) (82):

- Absorción rápida
- Transporte lento

En los macrófitos el primer impacto de los metales es en la parte radicular porque es el responsable de asimilar los nutrientes pasando luego a la parte aérea. Los metales producen graves daños a las hojas (mitocondrias y cloroplastos) alterando el proceso de la fotosíntesis. En un periodo avanzado de variación se producen modificaciones de regulación a nivel celular y metabólicos, seguidamente se produce el envejecimiento y afectación por el metal provocando que la planta muera (82).

### 2.2.33. Resistencia a los metales pesados en macrófitos

Las especies vegetales que se desarrollan en ambientes contaminados desarrollaron mecanismos a tolerancia, se clasifican en 2 categorías:

- **Acumulación e inclusión:** Está basada en la aprehensión en las células internas en donde no hay efectos tóxicos; desintoxicación interna de los elementos tóxicos (metales) mediante la adhesión de ácidos orgánicos, proteínas, péptidos e histidina (81).
- **Exclusión:** Involucra el estudio de elementos bioquímicos en la pared celular o ambiente; es decir precipitan al exterior los metales a través de compuestos orgánicos o secreciones (81).

### 2.2.34. Descripción de la especie vegetal

Nombre común: Berro

Nombre científico: *Nasturtium officinale* W. T. Aiton

**Clase:** Equisetopsida C. Agardh

**Subclase:** Magnoliidae Novák ex Takht.

**Superorden:** Rosanae Takht.

**Orden:** Brassicales Bromhead

**Familia:** Brassicaceae Burnett

**Género:** *Nasturtium* W. T. Aiton

**Especie:** *Nasturtium officinale* W. T. Aiton

#### 2.2.34.1. Descripción

El berro es un macrófito con tallos ascendentes y una raíz fibrosa, crece entre 10 a 50 centímetros de altura, son muy ramificados. Su hábitat son los ríos, se adaptan a la corriente de agua y la hondura del material arenoso, las flores son completamente emergentes (18).

#### 2.2.34.2. Hábitat

Crece en lugares con bastante agua, como lagunas, ríos, pantanos etc; la especie prefiere áreas en donde predomina la sombra, crece hasta los 1500 msnm, pero también se ha encontrado que crece hasta los 2500 msnm (83).

### 2.2.35. Cultivos de hidroponía en fitorremediación

El objetivo de la hidroponía es propagar especies vegetales mediante la utilización de soluciones hidropónicas reemplazando el suelo. La solución hidropónica aporta suficiente nutriente a la planta permitiendo su desarrollo. Varias investigaciones realizadas han demostrado que las especies vegetales son capaces de absorber los nutrientes esenciales mediante iones inorgánicos que están presentes en el agua (84); los cultivos hidropónicos que son utilizados en fitorremediación utilizan soluciones de origen acuoso para que las plantas se desarrollen y crezcan permitiendo una mejora de las variables de estudio en tema de investigación (85).

### 2.3. Definición de términos básicos

- a) Agua para consumo humano: Es toda fuente superficial o subterránea que cumple con todos los estándares de calidad ambiental, es decir que no cause efectos nocivos para el ser humano (58)
- b) Límites máximos permisibles: Están establecidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano D.S. 031-2010-SA; en donde se tiene que dar cumplimiento para el consumo de agua (58).
- c) Contaminación por metales pesados: Los metales pesados y los metaloides se bioacumulan y se biomagnifican a través de las cadenas tróficas. La bioacumulación de metales significa una acumulación en un organismo (86).
- d) Fitorremediación: El procedimiento de fitorremediación es un método que es eficaz en la restauración, economía, eficiencia y amable con el ambiente, esta tecnología utiliza las especies vegetales para desintoxicar, eliminar o contener los contaminantes (87)
- e) Arsénico: El As es un mineral que está repartido en todo el entorno natural las fuentes de exposición al ser humano son el agua, alimentos, suelo y aire (88).
- f) Contaminación del agua: La polución del agua es el almacenamiento de elementos extraños de deterioran la calidad como consecuencia se produce un desequilibrio en los ecosistemas (89).
- g) Macrófitos: Son especies vegetales que se distinguen a simple vista, dentro de este grupo se encuentran las plantas de tipo briofitos, cianobacterias, macroalgas, vasculares (Cormófitos) (90).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Método y alcance de la investigación

#### 3.1.1. Método general

Según José Cegarra Sánchez, el método hipotético-deductivo se emplea básicamente en la existencia habitual de acuerdo con la investigación científica. Se fundamenta en denotar una hipótesis con soluciones posibles al problema proyectado y en confirmar con los datos aptos si dichos datos están acordes con ello (91).

Asimismo, Humberto Ñaupas, Elías Mejía y otros, refieren que el método hipotético deductivo consiste en prescribir leyes generales o universales sobre observaciones de casos en particular, es decir; encaminarse de la hipótesis a una deducción a fin de determinar la veracidad o falsedad de los hechos o conocimientos (92).

Según el estudio el planteamiento de la hipótesis se asevera en la capacidad fitorremediadora del *Nasturtium officinale* en concentraciones conocidas de arsénico en el agua que busca rechazar o aceptar, llegando a la deducción de conclusiones que se compararán con los datos resultantes.

#### 3.1.2. Método específico

Según José Cegarra Sánchez, el método específico del estudio es experimental que está comprendida en una unidad conceptual y operativa en donde se aprecia diferencias en variedades diferentes según el planteamiento del problema; el cual permitirá determinar la capacidad fitorremediadora del *Nasturtium officinale* en concentraciones conocidas de As en el agua con el objeto de determinar comportamientos de los fenómenos naturales con el objetivo de controlarlos, se apoya en conocimientos que son probados experimentalmente (91).

Según Humberto Ñaupas, Elías Mejía y otros refieren que existe tres elementos científicos que caracterizan a la investigación experimental, los cuales son 1) Control, 2) Manipulación y 3) Observación-Medición, siendo el caso de nuestro tema de investigación dónde se tendrá un grupo control, luego se procederá al manejo de la variable independiente; por último, se realizará una medición y se determinará la capacidad fitorremediadora de la especie vegetal. (92)

### 3.1.3. Tipo de investigación

De acuerdo a José Cegarra Sánchez, la investigación aplicada “comprende el conjunto de actividades que tienen por finalidad el descubrir o aplicar conocimientos científicos nuevos, que puedan realizarse en productos y en procesos nuevos utilizables”; es decir permite solucionar un problema para mejorar procesos e incrementar la calidad (91), el problema identificado es la alteración de las características del agua con As en el distrito de Torata; la investigación aportará a la solución de dicha problemática mediante la fitorremediación del agua utilizando *Nasturtium officinale* logrando de esa manera hacer mejoras de la calidad del agua y salud de los habitantes..

Según Guillermina Baena; refiere que la investigación aplicada tiene como objeto el análisis de una problemática unido a la acción, es decir; durante la investigación se puede hacer aportes nuevos (93).

Como se analiza en ambos casos nuestra investigación busca identificar el problema y propone una solución a la problemática.

### 3.1.4. Nivel de investigación

La presente investigación corresponde al nivel correlacional; según Roberto Hernández Sampieri; menciona que el “estudio tiene la finalidad de conocer la relación o grado de asociación existente entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular” (94); en la investigación se analizó si existía un grado de relación entre la variable independiente concentración de As en el agua con la variable dependiente capacidad fitorremediadora del *Nasturtium officinale*.

Según Fidias Arias, menciona que la finalidad de la investigación correlacional es la determinación del grado de relación que existe entre 2 o más variables, es decir que los estudios primeramente se mide las variables seguidamente se estima la correlación (95).

### 3.2. Diseño de la investigación

El estudio es experimento “puro”; según Roberto Hernández Sampieri los experimentos puros “son aquellos que reúnen dos requisitos para lograr un control y validez interna: Grupos de comparación (manipulación de la variable independiente) y equivalencia de grupos” (94); se hará variar de manera intencional la variable independiente mediante concentraciones diferentes de As en el agua que permitirá

disponer una relación de causa-efecto de la variable independiente con la variable dependiente.

Según Humberto Ñaupas, Marcelino Valdivia, Jesús Palacios y otros mencionan que los diseños experimentales puros son los que van a reunir un control de manera aleatoria, manipulación, medición y observación (96).

Según Edinson Cabezas, Diego Naranjo y Johana Torres, describen el diseño experimental puro se caracteriza porque ejerce un control estricto sobre el experimento tanto por el establecimiento de los grupos de equiparación con la finalidad de manipular la variable independiente y por los grupos de equivalencia mediante el proceso aleatoria de la unidad de análisis (97).

*Tabla 3: Diseño de investigación*

$RG_1$	$X_1$	$O_1$
$RG_2$	$X_2$	$O_2$
$RG_3$	$X_3$	$O_3$
$RC_4$	—	$O_4$

Nota: RG: Grupo experimental; RC: Grupo control;  $O_{n+1}$ : Posprueba;  $X_n$ : Tratamiento

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1 Población

Inicialmente la población del presente fueron 250 especies vegetales de *Nasturtium officinale* (berro) de los cuales para el proceso experimental se seleccionaron 108 especies (Ver A.3.d) dichas especies vegetales fueron recolectadas del Anexo Paralaque, Sector Canto, distrito de Torata; las muestras de la especie fueron trasladadas al laboratorio ambiental para evaluar la capacidad fitorremediadora. Para la identificación de la población se buscó una fuente de agua en donde predomina la especie vegetal que esté libre de contaminación por arsénico.

#### 3.3.2. Muestra

De las 108 muestras utilizadas en el proceso experimental fueron tomadas 20 muestras después de la realización de intoxicación de las diferentes concentraciones de arsénico

definidos en los objetivos, los cuales estaban en baldes de 8 litros en el Laboratorio Ambiental del distrito de Torata. Se tomaron 10 muestras de tejido vegetal parte aérea (tallo + hojas) y 10 muestras de parte radicular sumando un total de 20 muestras analizadas.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas e instrumentos

##### 3.4.1.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica aplicada fue mediante observaciones en cada etapa experimental obteniéndose como resultados la elección de las muestras *Nasturtium officinale* para iniciar el proceso de intoxicación, una vez intoxicadas con arsénico se observó los procesos de necrosis en los tejidos vegetales.

##### 3.4.1.2. Instrumentos de recolección de datos

Las muestras de tejido vegetal fueron enviadas a un laboratorio a la ciudad de Lima en una cantidad promedio de 20 gramos de parte aérea y 10 gramos de parte radicular mediante el cual se analizaron utilizando métodos referenciados por el laboratorio.

*Tabla 4: Parámetro y metodología*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
Arsénico	Determinación de arsénico en tejido vegetal / Espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES)

\*Ver anexo F

#### A. Procesamiento de recolección de datos

La colección de datos del estudio se realizó en conformidad a las variables y la investigación está dividido en tres partes:

##### A.1. La primera corresponde a: Reconocimiento del sector

Se realizó en reconocimiento del sector y se eligió el anexo de Paralaque, Sector Canto, por la calidad de agua.



## A.2. La segunda corresponde a: Búsqueda de información y toma de muestra

- a) Búsqueda de información de caracterización de la fuente de agua del sector de Paralaque

Según el informe de ensayo del laboratorio SGS MA1926927 Rev.0 emitido el 31 de octubre del año 2019 al laboratorio ambiental San Agustín de Torata se tiene un resultado de baja concentración para al parámetro de arsénico; según la normativa menciona que cada informe emitido tiene una duración de 3 años, por lo que cumple con la normativa vigente.

- b) Toma de muestra

Se inició el proceso de toma de muestras de tejido vegetal para el análisis de arsénico y se envió a un laboratorio de la ciudad de Lima, con el objeto de contrastar resultados que difieran en el resultado de las concentraciones de arsénico, teniendo como resultado en el siguiente informe de ensayo N° IE-130122-04 (*Ver anexo D*) es decir que las plantas experimentales del sector no tienen concentraciones de arsénico y están listas para realizar el proceso de la experimentación.

## A.3. La tercera corresponde a: Proceso experimental del estudio

Se inició de la siguiente manera:

- a) Plantas experimentales (Berro)

Se utilizaron plantas de *Nasturtium officinale* (berro) del anexo de Paralaque – Sector Canto-Distrito de Torata, dónde se recolectaron plantas de berro en buen estado vegetativo, efectuándose mediante la observación.

- b) Recolección de la especie vegetal

Se recolectaron especies vegetales de berro basado tamaño, consistencia y color.

- c) Lavado de *Nasturtium officinale* (Berro)

Las plantas fueron llevadas al laboratorio ambiental San Agustín de Torata para realizar el experimento y se lavaron para eliminar todo tipo de impurezas, así como tierra y plagas.

d) Selección de la especie vegetal

Las plantas fueron seleccionadas de acuerdo a su consistencia, color y tamaño; proceso que se realizó mediante la eliminación de plantas dañadas que se produjeron mediante el transporte al lugar de experimento.

e) Adaptación de la especie vegetal

Se realizó la adaptación durante un periodo de 15 días en 4 recipientes de vidrio acondicionadas con solución nutritiva para el crecimiento óptimo de la plántula; durante el proceso se procedió a controlar el pH y temperatura del agua.

f) Proceso de intoxicación de la especie vegetal

Una vez realizado el proceso de adaptación y nutrición se procedió a intoxicar la especie vegetal con concentraciones de As a 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l, en total se tuvieron 12 repeticiones considerando una muestra control por cada repetición, el proceso tuvo un periodo de 20 días.

g) Toma de muestras después del proceso de intoxicación

Una vez culminado el periodo de intoxicación con arsénico, las muestras de tejido vegetal fueron recolectadas, desecadas a temperatura ambiente durante 72 horas y divididas en 2 partes, la primera corresponde a la parte aérea (tallo + hojas) y la segunda la parte radicular, posterior a 72 horas y obteniendo un peso seco las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas herméticas para luego ser enviadas y analizadas en un laboratorio en la ciudad de Lima.

h) Envío de muestras a laboratorio

Las muestras fueron enviadas en bolsas plásticas herméticas a un laboratorio de la ciudad de Lima para ser analizadas.

i) Resultados

Los resultados fueron enviados después de 15 días por el laboratorio a través del informe de ensayo N° IE-180322-06 (*Ver anexo E*).

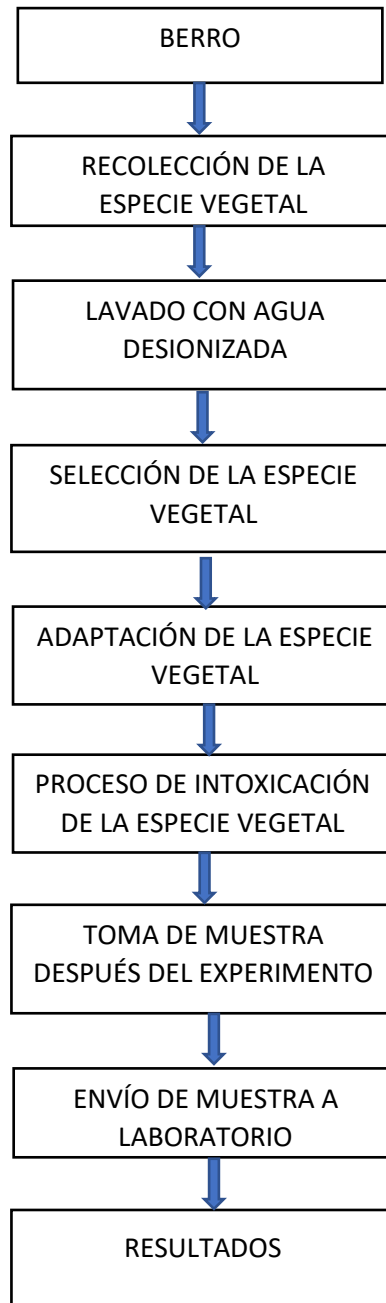


Gráfico 2: Diagrama de procedimiento  
Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.1.3. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Una vez finalizado el experimento se procedió a realizar el procesamiento de datos obtenidos con el software SPSS versión 24; el cuál se ingresó los resultados obtenidos del informe de ensayo emitido por el laboratorio. Para realizar el análisis estadístico se empleó la prueba ANOVA para las hipótesis, también se empleó la prueba POS HOC (Tukey), que permitió determinar las diferencias de las medias, en dónde se

obtuvo como resultado diferencias significativas entre tratamientos de las concentraciones.

#### 3.4.2. Materiales

##### 3.4.2.3. Material biológico

- ✓ Especie vegetal *Nasturtium officinale* (Berro)

##### 3.4.2.4. Materiales de laboratorio

- ✓ Propipeta
- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Probeta de 100 ml y 1000 ml
- ✓ Matraz
- ✓ Fiola de 200 ml
- ✓ Pipetas graduadas
- ✓ Pipetas volumétricas de
- ✓ Piseta

##### 3.4.2.5. Equipos

- ✓ 2 bombas de aire de 4 salidas
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Agitador magnético
- ✓ Desionizador de agua

##### 3.4.2.6. Reactivos

- ✓ Agua desionizada
- ✓ Arsénico solución patrón

##### 3.4.2.7. Materiales de campo

- ✓ Cuaderno de apuntes
- ✓ Cámara
- ✓ Lapicero
- ✓ Tablero
- ✓ Etiqueta
- ✓ Plumón de tinta indeleble

##### 3.4.2.8. Material de escritorio

- ✓ Laptop marca Dell

#### 3.4.2.9. Otros materiales

- ✓ 4 cubetas de vidrio de 35x20 cm
- ✓ Solución hidropónica A, B, C
- ✓ Tecnopor
- ✓ Bolsas plásticas
- ✓ Baldes de plástico de 8 litros
- ✓ 16 unidades venoclisis
- ✓ Guantes
- ✓ Mascarillas
- ✓ Mandil de laboratorio
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Cinta
- ✓ Detergente
- ✓ Tijera
- ✓ Cuter

#### 3.4.3. Procedimientos

##### 3.4.3.3. Etapa de Pre-campo

- a) Se solicitó mediante documento (solicitud) al alcalde de la Municipalidad Distrital de Torata el ingreso al laboratorio ambiental a fin de efectuar la investigación.
- b) Se coordinó con el jefe del laboratorio Ambiental San Agustín de Torata para el ingreso de materiales utilizados en la ejecución de la tesis.
- c) Se hizo la coordinación con días de entrada y salida de mi persona al laboratorio ambiental.
- d) Se coordinó con el laboratorio para el envío de muestras de tejido vegetal a la ciudad de Lima para el análisis correspondiente antes de la realización de la adaptación de la especie.
- e) Se realizó la compra de los materiales correspondientes

##### 3.4.3.4. Etapa de campo

###### 3.4.3.4.1. Etapa de recolección de la especie vegetal

Del distrito de Torata, Anexo de Paralaque, Sector Canto; se realizó la recolección de la especie vegetal para hacer la intoxicación con arsénico; las muestras se recolectaron en el mes de febrero, día 10 del año 2022, con coordenadas en Norte: 8117419, Este: 305385 y una altitud de 2863 m.s.n.m, una vez recolectadas 250 muestras se trasladaron al lugar del cultivo, para realizar la adaptación en un sistema hidropónico.

Se especifica de la siguiente manera:

- a) Se identificó el punto de recolección de las muestras de *Nasturtium officinale*
- b) Se identificó a la especie vegetal *Nasturtium officinale*.
- c) Se procedió a la toma de muestras.
- d) Se trasladó las muestras al laboratorio ambiental de Torata para realizar el proceso de adaptación y nutrición.

#### 3.4.3.5. Etapa de experimentación

La investigación es de diseño completamente al azar (DCA) según Gabriel, Castro, Valverde e Indacochea; menciona que el diseño completamente al azar “es aplicable cuando las unidades experimentales son homogéneas y la administración del experimento es uniforme para todas ellas. Al concluir el experimento las unidades experimentales mostrarán diferentes resultados atribuibles en forma exclusiva a los tratamientos aplicados” (98).

#### 3.4.3.6. Etapa de laboratorio

##### 3.4.3.6.1. Fase de adaptación y nutrición

La fase tuvo un periodo de 15 días; en el procedimiento se utilizó agua desionizada y solución hidropónica, durante el proceso se tomó control de la temperatura y el pH del agua, con la finalidad de dar un ambiente óptimo para el crecimiento de las plántulas.

- Nutrición

El proceso de la nutrición se realizó durante la adaptación y se utilizó una solución hidropónica A, B, C.

- Preparación de la solución hidropónica

Se realizó la agitación correspondiente de la solución hidropónica A,B,C; seguidamente se prepararon 28 litros de solución nutritiva, 7 litros en cada cubeta de vidrio, luego se añadió en cada cubeta de vidrio 7 ml de solución concentrada A, 3.5 ml de solución concentrada B y 3.5 ml de solución concentrada C; luego de añadir la solución hidropónica en el agua de cada cubeta de vidrio se seleccionaron las plántulas que estaban en mejores condiciones, paso seguido se colocaron las plántulas en las cubetas, por último se midió la T° del agua y el pH.

Se especifica de la siguiente manera:

- a) Se instaló el sistema de adaptación de *Nasturtium officinale* en 4 cubetas de vidrio.
- b) Se calculó la dosis de la solución hidropónica A, B, C (Añadiendo 7 ml de solución A, 3.5 ml de solución B y 3.5 ml de solución C.
- c) Se seleccionaron las plántulas de *Nasturtium officinale* que estaban en mejores condiciones.
- d) Se colocaron las plántulas en cada cubeta de vidrio con un volumen de agua desionizada de 7 litros.
- e) Se procedió a medir la temperatura y pH del agua

#### 3.4.3.6.2. Fase de intoxicación del agua con arsénico

Después de la adaptación y nutrición que tuvo una duración de 15 días, se colocaron las especies vegetales en otros recipientes con la finalidad de realizar el proceso de intoxicación que tuvo en total 12 repeticiones y con un periodo de tiempo de 20 días, el cual se especifica de la siguiente manera:

##### a) Selección de *Nasturtium officinale*

Para realizar el proceso de selección de las plántulas se tomaron criterios e indicadores según (99):

- Etapa vegetativa, se seleccionaron plántulas jóvenes.
- Medida de las plántulas entre 20 a 25 cm
- Peso de las plántulas de 10 a 13 gramos
- Se seleccionaron plántulas libres de clorosis y necrosis

##### b) Preparación del contaminante arsénico

Se realizó la preparación del contaminante en concentraciones de 0.1, 0.3 y 0.5 ppm para 4 litros de agua en cada recipiente experimental, consistía en 4 tratamientos y 3 repeticiones, haciendo un total de 12 unidades muestrales.

##### c) Cálculo de la solución

- Para realizar la preparación se tuvo la solución madre  $H_3AsO_4$  en  $HNO_3$  0.5 mol/l de 1000 mg/l As

- Luego en un balón de aforo de 200 ml de capacidad, se preparó la solución y se aforó.
- Se realizó el cálculo de la siguiente manera: (100)

*Ecuación 3: Para realizar el cálculo de la solución*

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

- **Para la concentración de la solución estándar 100 ppm:**

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 200 \text{ ml} \times 100 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

- **Para la concentración 0.1 ppm:**

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 4000 \text{ ml} \times 0.1 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 4 \text{ ml}$$

- **Para la concentración 0.3 ppm:**

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 4000 \text{ ml} \times 0.3 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 12 \text{ ml}$$

- **Para la concentración 0.5 ppm:**

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 4000 \text{ ml} \times 0.5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

- d) Distribución de las plántulas

Se colocaron 9 plantas en los recipientes de plástico que contenía el contaminante arsénico y para grupo control se colocaron 9 plantas en las 3 repeticiones haciendo un total de 27 plántulas de *Nasturtium officinale* por cada recipiente.

*Tabla 5: Proceso experimental*

<b>Grupo control</b>	<b>Tratamiento con As a 0.1 ppm</b>	<b>Tratamiento con As a 0.3 ppm</b>	<b>Tratamiento con As a 0.5 ppm</b>
<i>Nasturtium officinale</i> sin tratamiento	Berro - Rep 1	Berro - Rep 1	Berro - Rep 1
	Berro - Rep 2	Berro - Rep 2	Berro - Rep 2
	Berro - Rep 3	Berro - Rep 3	Berro - Rep 3

\*Total de plantas 108

Fuente: Elaboración propia



#### 3.4.3.7. Etapa de gabinete

Se consolidó la información requerida utilizando el programa estadístico SPSS v24, de acuerdo a los resultados del informe de ensayo N° IE-180322-06 y se utilizó Excel para determinar el factor de bioacumulación y factor de traslocación y de esta manera determinar la capacidad fitorremediadora de la especie.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. Resultados de la determinación de la concentración final de arsénico en la parte radicular y parte aérea (tallos y hojas) de *Nasturtium officinale* (berro)

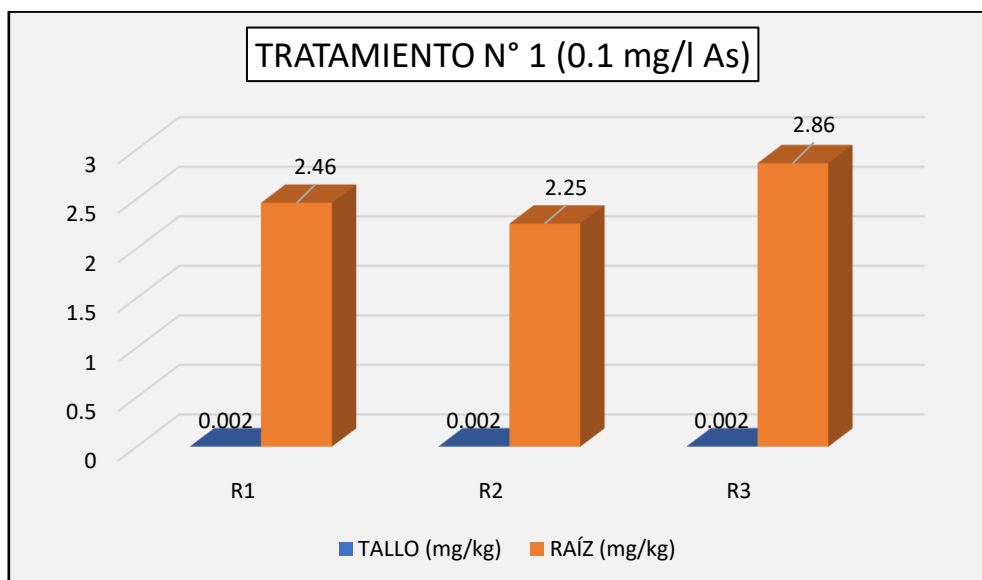


Gráfico 3: Resultado de tratamiento 1  
Fuente: Elaboración propia

Según gráfico para el tratamiento N° 1 con una concentración de 0.1 mg/l As, repetición 1 (R1): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 2.46 mg/kg para parte radicular; en repetición 2 (R2): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 2.25 mg/kg para parte radicular; en repetición 3 (R3): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 2.86 mg/kg para parte radicular; es decir que en la repetición 3 (R3) de la parte radicular tuvo una concentración mayor de arsénico respecto a los otros tratamientos.

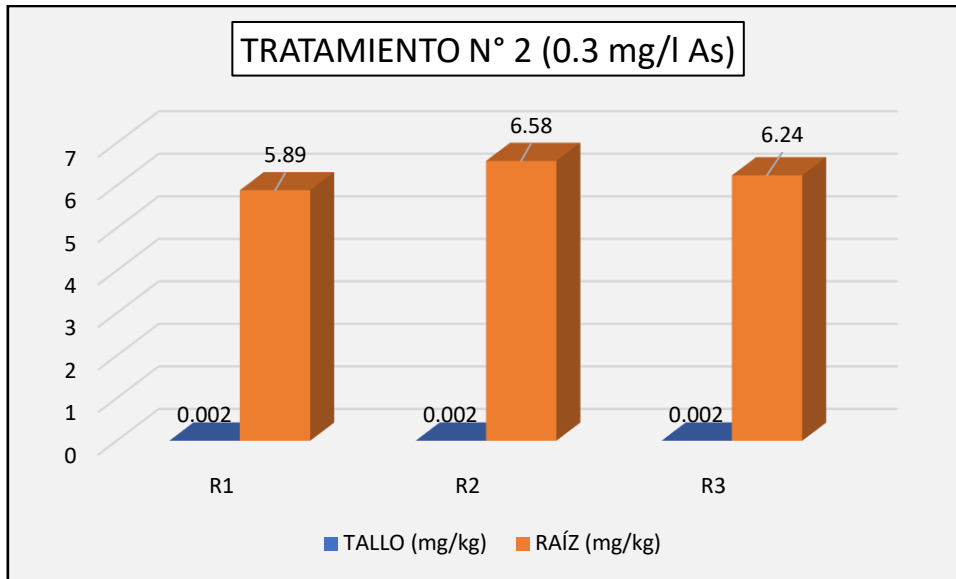


Gráfico 4: Resultado de tratamiento 2  
Fuente: Elaboración propia

Según gráfico para el tratamiento N° 2, con una concentración de 0.3 mg/l As, repetición 1 (R1): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 5.89 mg/kg para parte radicular; en repetición 2 (R2): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 6.58 mg/kg para parte radicular; en repetición 3 (R3): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 6.24 mg/kg para parte radicular; es decir que en la repetición 2 (R2) de la parte radicular tuvo una concentración mayor de arsénico respecto a los otros tratamientos.

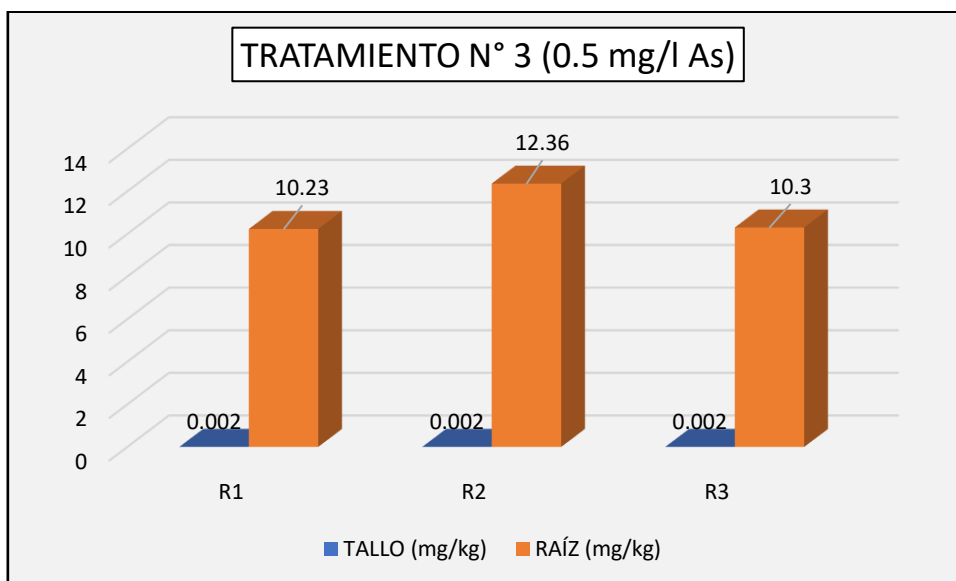


Gráfico 5: Resultado de tratamiento 3  
Fuente: Elaboración propia

Según gráfico para el tratamiento N° 3, con una concentración de 0.5 mg/l As, repetición 1 (R1): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 10.23 mg/kg para parte radicular; en repetición 2 (R2): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 12.36 mg/kg para parte radicular; en repetición 3 (R3): tiene un resultado de 0.002 mg/kg para el tallo + hojas y 10.3 mg/kg para parte radicular; es decir que en la repetición 2 (R2) de la parte radicular tuvo una concentración mayor de arsénico respecto a los otros tratamientos.

#### 4.1.2. Adaptación de *Nasturtium officinale* (berro) en una solución nutritiva

Se realizó la adaptación de *Nasturtium officinale* (berro) en una solución nutritiva A, B, C, durante un periodo de 15 días.

#### 4.1.3. Intoxicación del *Nasturtium officinale* (berro) con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).

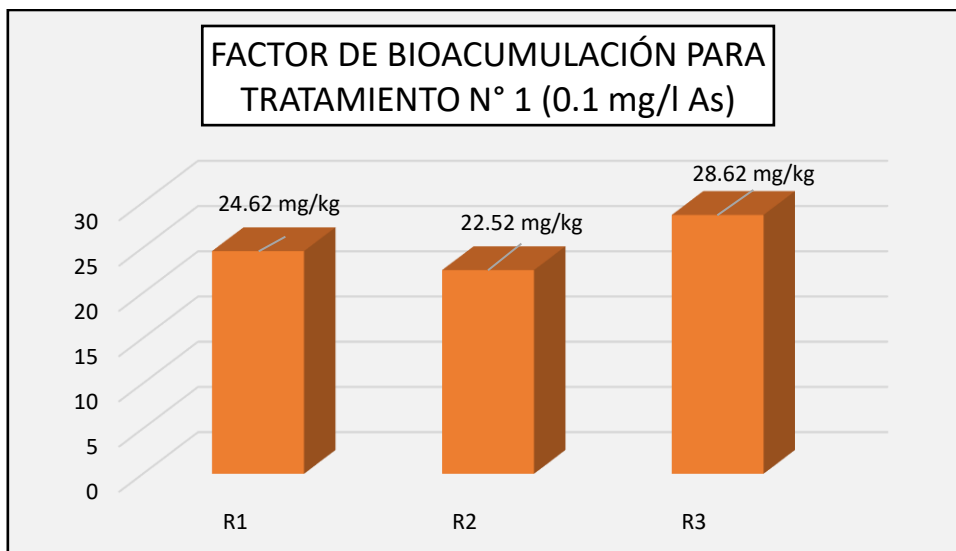
Se realizó la intoxicación del *Nasturtium officinale* (berro) con las diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l) durante un periodo de 20 días.

#### 4.1.4. Determinar la acumulación de arsénico mediante el factor de bioacumulación del *Nasturtium officinale* (berro).

Se determinó la acumulación de arsénico mediante el factor de bioacumulación del del *Nasturtium officinale* (berro), se observa datos en las tablas:

Tabla 6: BAF para tratamiento 1

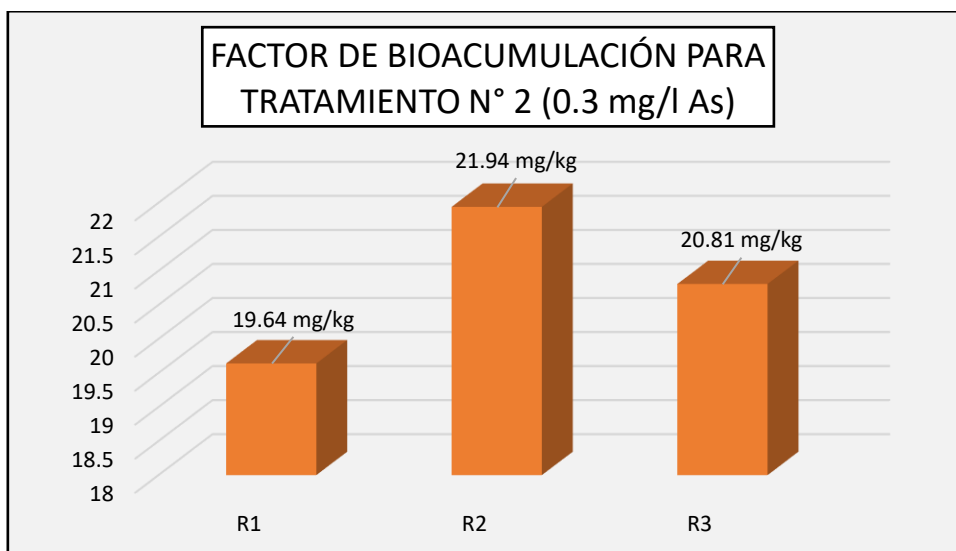
TRATAMIENTO 1 (0.1 mg/l As)	
NÚMERO DE REPETICIONES	BAF
R1	24.62
R2	22.52
R3	28.62
GRUPO CONTROL	0.00



*Gráfico 6: Resultado BAF para tratamiento 1*  
Fuente: Elaboración propia

*Tabla 7: BAF para tratamiento 2*

TRATAMIENTO 2 (0.3 mg/l As)	
NÚMERO DE REPETICIONES	BAF
R1	19.64
R2	21.94
R3	20.81
GRUPO CONTROL	0.00



*Gráfico 7: Resultado BAF para tratamiento 2*  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: BAF para tratamiento 3

TRATAMIENTO 3 (0.5 mg/l As)	
NÚMERO DE REPETICIONES	BAF
R1	20.464
R2	24.724
R3	20.604
GRUPO CONTROL	0.00

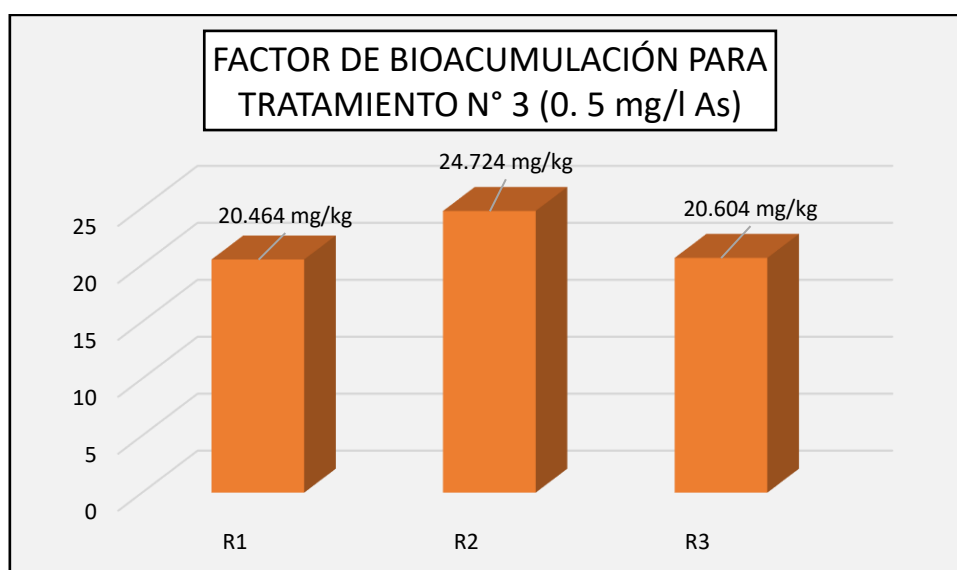


Gráfico 8: Resultado BAF para tratamiento 3  
Fuente: Elaboración propia

En las tablas 6, 7 y 8 se analizaron los resultados para *Nasturtium officinale* (Berro) y se puede observar que a las 3 concentraciones 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l de arsénico el BAF es <100 mg/l considerando de esta manera una especie excluyente con capacidad de fitorremediación tipo rizofiltradora.

4.1.5. Determinar la acumulación de arsénico mediante el factor de traslocación del *Nasturtium officinale* (berro).

Se determinó la acumulación de arsénico mediante el factor de traslocación del *Nasturtium officinale* (berro). se observa datos en las tablas:

Tabla 9: FT para tratamiento 1

TRATAMIENTO 1 (0.1 mg/l As)	
NÚMERO DE REPETICIONES	FT
R1	0.00081301
R2	0.00088889
R3	0.00069930
GRUPO CONTROL	0.000

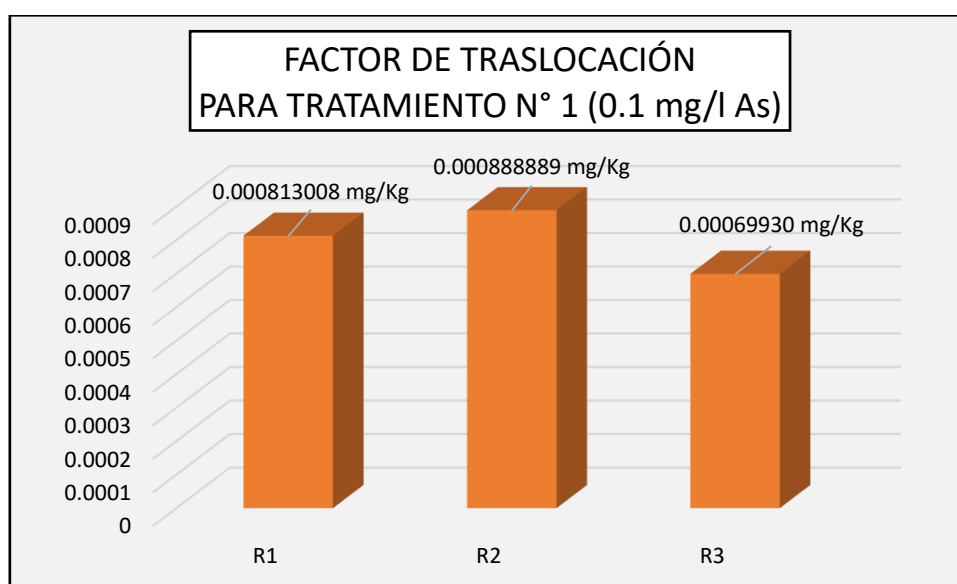
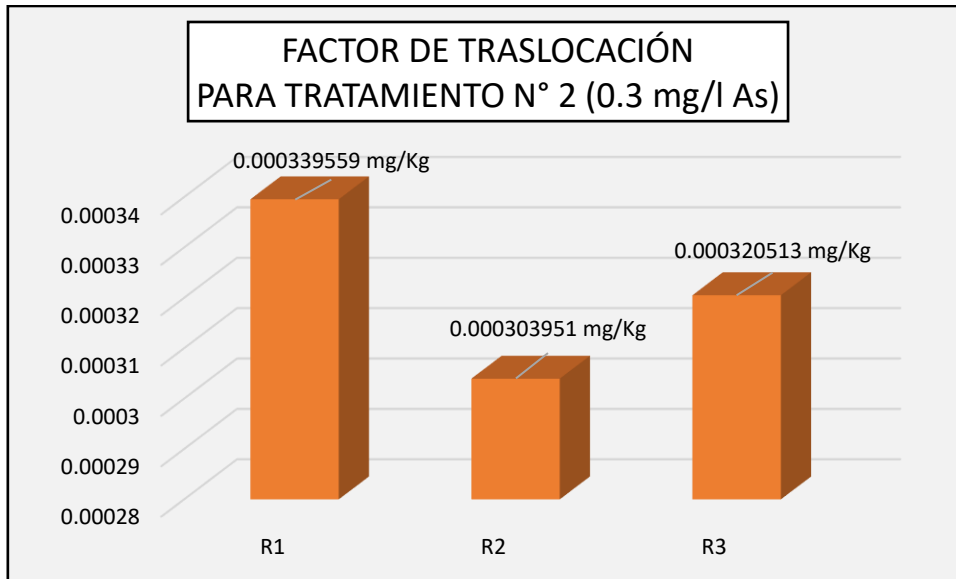


Gráfico 9: Resultado FT para tratamiento 1  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: FT para tratamiento 2

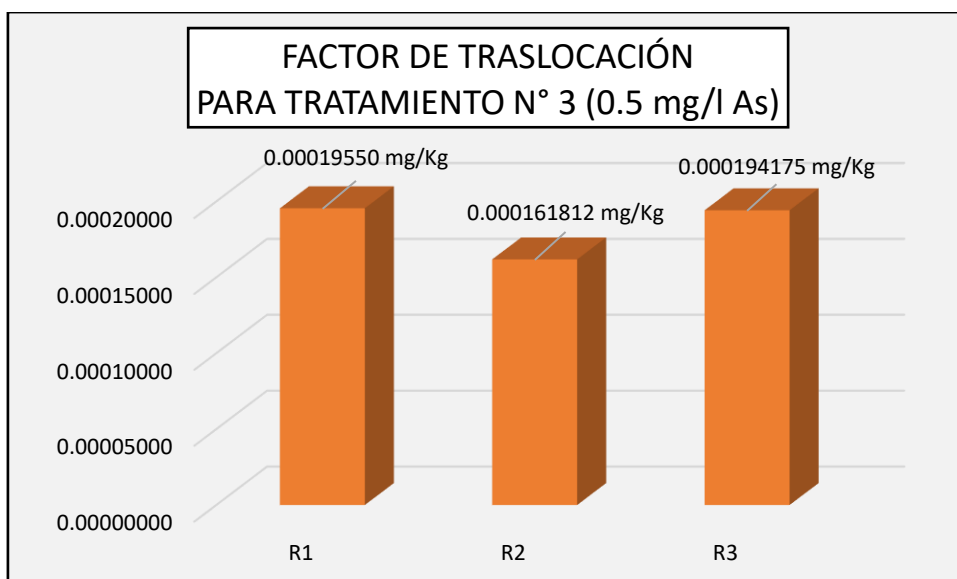
TRATAMIENTO 2 (0.3 mg/l As)	
NÚMERO DE REPETICIONES	FT
R1	0.00033956
R2	0.00030395
R3	0.00032051
GRUPO CONTROL	0.000



*Gráfico 10: Resultado FT para tratamiento 2*  
Fuente: Elaboración propia

*Tabla 11: FT para tratamiento 3*

TRATAMIENTO 3 (0.5 mg/l As)	
NÚMERO DE REPETICIONES	FT
R1	0.00019550
R2	0.00016181
R3	0.00019417
GRUPO CONTROL	0.000



*Gráfico 11: Resultado FT para tratamiento 3*  
Fuente: Elaboración propia



En las tablas 9, 10 y 11; el factor de traslocación para *Nasturtium officinale* (berro) tuvo como resultado <1 mg/l en las 3 concentraciones 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l de arsénico considerándose de esta manera una especie exclusora con capacidad de fitorremediación tipo rizofiltradora.

4.1.6. Determinar la concentración final de arsénico en *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).

Se realizó la determinación de la concentración final de arsénico en *Nasturtium officinale* (berro) en relación a diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l) mediante el informe de ensayo emitido por el laboratorio N° IE-180322-06.

4.2. Prueba de hipótesis

Tabla 12: ANOVA de *Nasturtium officinale* (Berro)

ANOVA					
Valor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	204,616	3	68,205	162,462	,000
Dentro de grupos	3,359	8	,420		
Total	207,975	11			

De acuerdo a los resultados obtenidos en el procesamiento de datos el valor de sig. es menor a 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha) para un nivel de confianza al 95%.

Ha: Las concentraciones de arsénico 0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l **influyen** de manera significativa en la capacidad fitorremediadora de *Nasturtium officinale* (berro).

Al indicar que las medias muestrales no son iguales a la concentración de arsénico que se utilizó en el tratamiento se puede concluir que las concentraciones de arsénico van a afectar en la absorción por la especie.

Tabla 13: Prueba Tukey

Valor					
HSD Tukey <sup>a</sup>					
Concentración de As (mg/l)	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
BK	3	,00000			
0.1 mg/l	3		2,52333		
0.3 mg/l	3			6,23667	
0.5 mg/l	3				10,96333
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

En la tabla 13 podemos observar que hay 4 grupos, revalidando de que las medias de cada grupo son significativamente diferentes; por el cual podemos decir que en cada grupo experimental o tratamiento T1, T2 y T3; *Nasturtium officinale* (berro) acumuló diferentes concentraciones de arsénico.

GRÁFICO DE MEDIAS

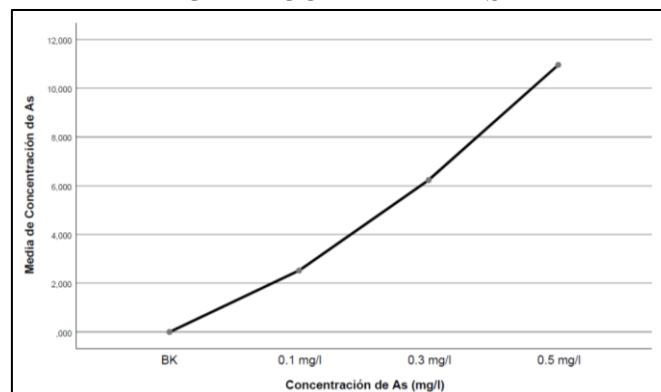


Gráfico 12: Gráfico de medias  
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 12 se puede observar la curva de incremento de absorción de arsénico, en donde a un mayor incremento de la concentración fue la absorción de la raíz.

## DIAGRAMA DE CAJAS

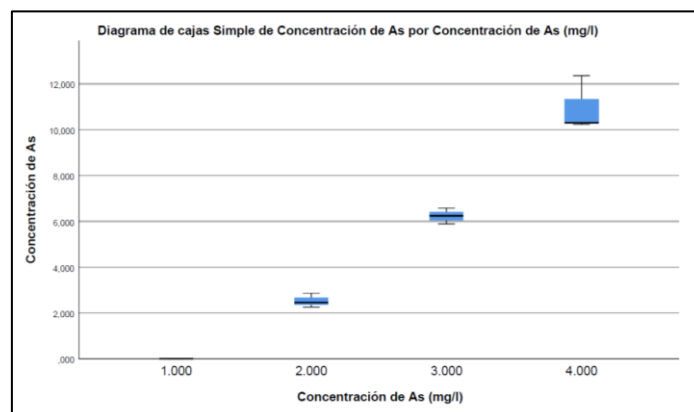


Gráfico 13: Diagrama de cajas  
Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Discusión de resultados

En la investigación titulada “Impacto de las concentraciones enriquecidas de cadmio, plomo, arsénico y zinc en el medio de cultivo sobre la absorción elemental de *Nasturtium officinale* (berro)” se determinó que la mayor acumulación de arsénico fue en la parte radicular que en las hojas, lo que implica según la investigación, las raíces actúan como barreras para la traslocación de As. En el experimento realizado de nuestra investigación se determinó que la concentración más elevada de As es en la parte radicular para los 3 tratamientos, se concluye así que la especie es exclusora, por ser el resultado menor a 1, con capacidad de fitorremediación de tipo rizofiltradora.

La investigación realizada por (14) difiere entre los resultados, es decir; no hubo periodo de adaptación de la especie vegetal, puesto que se enriquecieron de manera individual con cada elemento en este caso arsénico y se ha recolectado las muestras de la especie semanalmente, se trabajaron con 4 concentraciones de arsénico 2 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l y 20 mg/l durante el periodo de 4 semanas, los resultados muestran que tienen un valor de traslocación menor a 1, por lo que se afirma que es una planta con capacidad de fitorremediación de tipo rizofiltradora.

Las diferencias se deben a que en nuestra investigación la especie tuvo un procedimiento de adaptación es decir que se utilizó soluciones hidropónicas antes de realizar el proceso de intoxicación con arsénico es por eso que las posibles causas de la acumulación de arsénico en las raíces se deben probablemente al incremento y crecimiento de las raíces

de la especie, dado que a mayor cantidad y desarrollo de raíces mayor será la absorción y extracción de As.

En la investigación titulada “Acumulación de arsénico y respuestas biológicas del berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) expuesto a arsenito” se determinó que *Nasturtium officinale* tiene la capacidad de acumular arsenito III en la parte aérea (hojas) y los resultados muestran que es tolerable a mínimas concentraciones de arsénico, dado que a elevadas concentraciones afecta al crecimiento de la especie, se concluye que la especie es tolerable a una concentración moderada de arsénico. En nuestra investigación realizada se determinó que *Nasturtium officinale* tiene la capacidad de acumular arsénico en la parte radicular.

Una diferencia de los resultados es el tiempo de exposición a las muestras de berro y las concentraciones de arsénico, según (15) sometieron a la intoxicación de arsenito por un periodo de 7 días a concentraciones de 1,3,5,10 y 50  $\mu\text{M}$ , mientras que en nuestra investigación el periodo de intoxicación tuvo una duración de 20 días a concentraciones de 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l de arsénico.

Según las investigaciones mencionadas, la especie fue sometida a periodos de exposición diferentes, asimismo en nuestra investigación se hizo la exposición y el análisis de arsénico total, según nuestros resultados, guardan relación dado que en la investigación realizada independientemente del parámetro se concluye que *Nasturtium officinale* tiene capacidad fitorremediadora en la parte radicular de la especie; por lo tanto, se pone en común la conclusión con dicho autor que durante el proceso de fitorremediación *Nasturtium officinale* presenta una mejor adaptación a los tratamientos, siendo visible en los resultados y valores de remoción de arsénico, el cual está calificada como una especie que tiene capacidad fitorremediadora de tipo rizofiltradora, a la vez se determinó según autor que la especie tiene la capacidad de fitorremediar arsenito.

Asimismo se puede discutir que *Nasturtium officinale* no solamente tiene capacidad fitorremediadora para la absorción de arsénico en aguas que se han de utilizar para el consumo humano sino también para la bioacumulación de Cu, Zn y Ni de aguas residuales como describe la investigación denominada “bioacumulación de cobre, zinc y níquel de las aguas residuales por tratamiento de *Nasturtium officinale*” de (17); en dónde menciona que la especie fue sometida a dichos metales y los resultados muestran que son tolerantes a concentraciones bajas de ciertos metales pesados, por lo tanto se concluye que

*Nasturtium officinale* es eficaz en el remoción de ciertos metales como Cu, Zn, Ni y As, de aguas residuales y utilizado para agua potable.

En la investigación titulada “Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales *Nasturtium officinale* W. T. Aiton (Berro) E *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (Matecillo) en relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones” , la investigación tuvo como resultado de BAF que la especie *Nasturtium officinale* (berro) tiene > a 1000 mg/l hasta la concentración de 2 ppm de Hg y en factor de traslocación en las concentraciones 0.1; 0.5; 1 ppm tiene >1 mg/l de mercurio, considerándose hiperacumuladoras y que poseen capacidad fitorremediadora; en nuestra investigación realizada el factor de bioacumulación es menor a 1000 mg/l para arsénico y el factor de traslocación es menor a 1 mg/l considerándose una especie exclusiva, que presenta capacidad de fitorremediación de tipo rizofiltradora.

Como resultado de nuestra investigación presenta BAF menor a 1000 mg/l y >1 considerándose una planta exclusiva para el parámetro de arsénico; una diferencia de los estudios es que se utilizaron la misma especie para determinar la capacidad fitorremediadora de *Nasturtium officinale* (berro) para diferentes parámetros, en nuestro caso arsénico, en la investigación según autor tuvo un periodo de adaptación de la especie de 45 días con un periodo de intoxicación con mercurio de 15 días, las posibles causas se deben a que la especie fue sometida a estrés (oxidación) al metaloide arsénico y con concentraciones conocidas 0.1 ppm, 0.3 ppm y 0.5 ppm, mientras que en dicha investigación (18) se utilizó concentraciones conocidas de mercurio 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 5.0 ppm, siendo además que no hay problemas de contaminación del agua por mercurio en el distrito Torata, puesto que la mayor problemática de Torata en el agua para consumo humano es el arsénico.

## CONCLUSIONES

- La adaptación de *Nasturtium officinale* en una solución nutritiva influyó en la capacidad fitorremediadora.
- Afectó la inducción de intoxicación del *Nasturtium officinale* (berro) con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l) en su estado vegetativo.
- Se determinó la acumulación de arsénico mediante el factor de bioacumulación del *Nasturtium officinale* (berro).

- Se determinó la acumulación de As mediante del factor de traslocación del *Nasturtium officinale* (berro).
- Se determinó la concentración final de arsénico en *Nasturtium officinale* (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda para posteriores investigaciones se utilicen mayores concentraciones de arsénico y el tiempo de exposición al contaminante sea un periodo más largo.
- Se recomienda que se realicen más tratamientos con las mismas concentraciones
- Se recomienda que se utilicen laboratorios acreditados.
- Se recomienda que se compruebe el método de fitorremediación utilizado para otros metales.
- Se recomienda que se utilicen familias de la especie vegetal *Nasturtium officinale* para tratamientos de fitorremediación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPOS CAMPOS, Néstor. *La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano*. 77, Santa Marta : s.n., 1990, Caldasia, Vol. 16. 231-244.
2. LI, RUI, Y OTROS. *Characterization of typical metal particles during haze episodes in Shanghai, China*. [ed.] R Ebinghaus. Shanghai : ELSEVIER, 2017, Chemosphere, Vol. 181, págs. 259-269.
3. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Arsénico, Nota descriptiva N° 372. 2012.
4. DELGADILLO LÓPEZ, Angélica, y otros.. *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. 2, Yucatán : s.n., 2011, Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 14, págs. 597-612. 1870-0462.
5. GARBISU, CARLOS, EPELDE, LUR Y BECERRIL, JOSÉ. *Ecologistas en Acción*. [En línea] [Citado el: 10 de Abril de 2023.] <https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion/>. 57.
6. MINISTERIO DE SALUD. Dirección General de Salud de las Personas. *Dirección General de Salud de las Personas*. [En línea] 2020. [Citado el: 8 de diciembre de 2021.] [https://www.minsa.gob.pe/portalweb/06prevencion/prevencion\\_2.asp?sub5=3](https://www.minsa.gob.pe/portalweb/06prevencion/prevencion_2.asp?sub5=3).
7. MEDINA PIZZALI, María, y otros. *Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana*. 1, Lima : s.n., 2018, PERÚ MED EXP SALUD PÚBLICA, Vol. 35. 93-102.
8. DIRESA. Diagnóstico de la calidad de agua para consumo humano del Distrito de Torata. Moquegua, Mariscal Nieto, Perú : s.n., 2021. pág. 82.
9. DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD MOQUEGUA. OFICIO CIRC. N°054-2020-GRM-DIRESA/DR-DESA. Moquegua : s.n., 2021. pág. 82.
10. MINISTERIO DE SALUD. Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano. Lima, Perú : s.n., 2010. pág. 33.
11. SABATER BARRAGAN, Albert. *Biorremediamos nuestros problemas*. 2, España : Biología on-line, 2015, Vol. 4. 2339-5745.
12. JARA PEÑA, Enoc, y otros. *Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados*. 2, Lima : s.n., 2014, Revista Peruana de Biología, Vol. 21. 1561-0837.
13. MÁRQUEZ REYES, Julia Mariana, y otros. *Evaluación de los efectos sinérgicos de cromo y plomo durante el proceso de fitorremediación con berro (*Nasturtium officinale*) en un humedad artificial*. 2, México : Biotecnia, 2020, Vol. 12.
14. GOUNDEN, Denisha, y otros. *Impact of spiked concentrations of Cd, Pb, As and Zn in growth medium on elemental uptake of *Nasturtium officinale* (Watercress)*. 1, Durban : s.n., 2015, JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, Vol. 51. 0360-1234.
15. OZTURK, Fatma, y otros. *Arsenic accumulation and biological responses of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) exposed to arsenite*. Kayseri : ELSEVIER, 2010, Vol. 69, págs. 167-174.
16. DUMAN, Fatih, LEBLEBICI, Zeliha y AKSOY, Ahmet. *Growt and bioaccumulation characteristics of watercress (*Nasturtium officinale* R.BR.) exposed to cadmium, cobalt and*

- chromium*. 4, Kayseri : Taylor & Francis, 2009, Chemical Speciation & Bioavailability, Vol. 21. 0954-2299.
17. KARA, Y. *Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated Nasturtium officinale*. 1, Denizli : s.n., 2005, Vol. 2.
18. HUAMÁN TITO, Jackeline y RUMAJA SANTOS, Abigail. *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales Nasturtium officinale W.T Aiton (Berro) E Hydrocotyle ranunculoides L.f. (Matecillo) en relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones*. Cuzco : s.n., 2017.
19. BEDOYA ESCOBAR, Blanca. *Evaluación de la actividad fitorremediadora del Schoenoplectus californicus "junco" en agua contaminada con arsénico*. Tacna 2013. Tacna : s.n., 2014. pág. 160.
20. SANDOVAL VILCHEZ, Joselyn. *Eficiencia del jacinto de agua Eichhornia crassipes y lenteja de agua Lemna minor L. en la remoción de cadmio en aguas residuales*. Lima : s.n., 2019.
21. RAMOS CÁCERES, Karla. *Determinación de la capacidad fitorremediadora de Scirpus americanus (Junco) en aguas contaminadas con arsénico*, Arequipa-2016. Arequipa : s.n., 2007.
22. ROJAS ADRIANZEN, Lisbet y SUYON DÍAZ, Elizabeth. *eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del Centro Poblado Cruz del Medano – Morrope-2019*. Chiclayo : s.n., 2020.
23. QUINTANA IDROGO, Wilder. *actividad fitorremediadora de la totora (Schoenoplectus californicus) en agua contaminada por arsénico en los pozos del caserío Tranca Fanupe – Mórrope*. Chiclayo : s.n., 2019.
24. VALDIVIA RODRÍGUEZ, César. *Eficiencia de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms Laub-Pontederiaceae y Nasturtium officinale W.T. Aiton – Brassicaceae en la remoción de DBO5 y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín*. Cajamarca : s.n., 2019.
25. COAYLA MAMANI, Yajaira, y otros. *Fitorremediación de aguas residuales domésticas en Moquegua*. Moquegua : s.n., 2018, REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA, Vol. 4. 2411-8044.
26. CÁCERES POMA, Deybi, CALIZAYA VERA, Gisela y BEDOYA JUSTO, Edgar. *Eficiencia de Eisenia foetida, Eichornia crassipes E hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú*. 1, Moquegua : s.n., 2021, Ecología aplicada, Vol. 20. 1726-2216.
27. DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD. Oficio Circ. N° 054-2020-GRM-DIRESA/DR-DESA. *Diagnóstico de la calidad de agua para consumo humano del Distrito de Torata*. Moquegua, Perú : s.n., 2021.
28. FRANÇOIS DOSSIER, Jean. Observatori Solidaritat UB. [En línea] s/f. <http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/itinerarios/agua/agua.htm>.
29. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Organización de la Salud. *Organización de la Salud*. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de enero de 2022.] <https://www.who.int/health-topics/water-sanitation-and-hygiene-wash>.



30. UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN DE PORRES. *Importancia del agua*. [En línea] [Citado el: 20 de enero de 2022.] <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>.
31. MORO, Tomás. Tomás Moro Unidad Educativa. *Tomás Moro Unidad Educativa*. [En línea] 2018. [Citado el: 20 de enero de 2022.] <https://www.tomasmoro.ec/la-importancia-del-agua-para-la-vida/>.
32. OMS. *Guías para la calidad de agua potable*. 21, Ginebra : s.n., 2003, Revista Costarricense de Salud Pública, Vol. 12. ISSN 1409-1429.
33. DASKALAKIS, Kostas y O'CONNOR, Thomas. *Normalization and Elemental Sediment Contamination in the Coastal United States*. 2, Environmental Science and Technology, Vol. 29, págs. 470-477.
34. HILLEBOE, H. *Manual de tratamiento de aguas negras (1st ed.)*. México : s.n., 1995.
35. PINEDA, José. *Encolombia*. [En línea] <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a-contaminacion-de-fuente-puntual-difusa-y-lineal/>.
36. ZARZA F, Laura. *iagua*. [En línea] <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-difusa>.
37. RODRÍGUEZ HEREDIA, Dunia. *Intoxicación ocupacional por metales pesados*. 12, Medisan : s.n., 2017, Scielo, Vol. 21. 1029-3019.
38. BARCELÓ, J y POSCHENRIEDER, Ch. *Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados*. Barcelona : s.n., 1992, Suelo y Planta. 345-361.
39. CSUROS, María y CSUROS, Ssaba. *Environmental Sampling and Analysis for Metals*. 1. Boca Raton : Lewis Publisher, 2002. pág. 408. 9780429186981.
40. LOZADA ZARATE, Ernesto, y otros. *Determinación de metales pesados en Cyprinus carpio en la laguna de Metztlán, Hidalgo, México*. Hidalgo : s.n., 2007, Vol. 4, pág. 9.
41. DELGADILLO LÓPEZ, Angélica, y otros. *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. 2011, Tropical and Subtropical Agroecosystems , Vol. 14. 597-612.
42. MEDINA PIZZALI, María, y otros. *Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana*. 1, Lima : s.n., 2018, REV PERU MED EXP SALUD PUBLICA, Vol. 35, págs. 93-102.
43. GALETOVIC CARABANTES, Alexandra y DE FERNICOLA, Nilda. *Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública*. 4, Sao Paulo : s.n., 2003, Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas, Vol. 39.
44. CAMPOS, Víctor, y otros. *Aislamiento de bacterias resistentes a arsénico desde muestras de rocas volcánicas de la Quebrada Camarones; Región Parinacota. Chile*. 2, Concepción : s.n., 2007, Vol. 71, págs. 150-155. 0717-652X.
45. REIMANN, Clemens, y otros. *Arsenic distribution in the environment: The effects of scale*. Freiberg : ELSEVIER, Applied Geochemistry, Vol. 24.
46. RANGEL MONTOYA, Edelweiss, y otros. *Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos*. 2, Coahuila : s.n., 2007, Terra Latinoamericana , Vol. 33, págs. 103-118.

47. AFÁN ROJAS, Karina y FLORES ROMERO, Víctor. *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc -octubre 2017*. Cajamarca : s.n., 2018.
48. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Environmental Health Criteria 224 As (III) and As (V)*. 2001.
49. MNADAL KUMAR, Badal y SUZUKI, Kazuo. *Arsenic round the world: a review*. Japón : ELSEVIER, 2002, Talanta, Vol. 58, págs. 201-235. 263-8522.
50. PETRUSEVSKI, Branislav, y otros. *Arsenic in Drinking Water*. s.l. : Thematic overview, 2007. Vol. 17.
51. NG, Jack, WANG, Jianping y SHRAIM, Amjad. *A global health problem caused by arsenic from natural sources*. Queensland : s.n., 2003, CHEMOSPHERE, Vol. 52, págs. 1353-1359.
52. VAHTER, MARIE, MARAFANTE, ERMINIO Y DENCKER, LENNART. *Tissue distribution and retention of As-dimethylarsinic acid in Mice and Rats*. Uppsala : s.n., 2005, Archives of environmental contamination and toxicology, Vol. 13, págs. 259-264.
53. PEREZ CABALLERO, I. *Síntesis de nanopartículas de magnetita para la remoción de arsénico en agua*. México : s.n., 2012.
54. BENRAMDANE, Larbi, y otros. *Arsenic Speciation in Human Organs following Fatal Arsenic Trioxide Poisoning - A Case Report*. France : s.n., 1999, Clinical Chemistry, págs. 301-306.
55. PEREZ CARRERA, Alejo y FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia. *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. Buenos Aires : CYTED, 2010. pág. 26. 978-84-96023-74-1.
56. GALETOVIC CARABANTES, Alexandra y A.G.G. DE FERNICOLA, Nilda. *Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública*. 4, Brasil : s.n., 2003, Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas, Vol. 39.
57. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *World Health Organization*. [En línea] [Citado el: 27 de enero de 2022.] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.
58. MINISTERIO DE SALUD. *Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano*. 2010.
59. ABERNATHY, C y MORGAN, A. *EXPOSURE AND HEALTH EFFECTS*. 2001. pág. 100.
60. HUGHES, Michael, y otros. *Arsenic exposure and toxicology: A historical perspective*. 2, New York : s.n., 2011, TOXICOLOGICAL SCIENCES, Vol. 123, págs. 305-332.
61. ATSDR .*Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. [En línea] [Citado el: 27 de enero de 2022.] [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph2.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph2.html).
62. DERACHE, R. *Toxicología y seguridad de los alimentos*. 1. Barcelona : Ediciones Omega, S.A., 1990. pág. 510. 9788428208536.
63. RAMÍREZ , Augusto. *Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica*. 3, Lima : s.n., 2013, Anales de la Facultad de Medicina, Vol. 74. 1025-5583.
64. ABERNATHY, Charles y MORGAN, Ann. *Exposure and Health Effects*. Washington : s.n., 2001.

65. MENGEL , K y KIRKBY, E. *Principles of plant nutrition*. s.l. : Bern: Int. Potash Inst., 1987. pág. 687.
66. WAUCHOPE, R. Fixation of arsenical herbicides, phosphate and arsenate in alluvial soils. *Fixation of arsenical herbicides, phosphate and arsenate in alluvial soils*. 1975.
67. VERBRUGGEN, Nathalie, HERMANS, Christian y SCHAT, Henk. *Mechanisms to cope with arsenic or cadmium excess in plants*. 3, 2009, Current opinion in plant biology, Vol. 12, págs. 364-372.
68. TRIPATHI, Rudra, y otros. *Arsenic hazards: strategies for tolerance and remediation by plants*. 4, TRENDS in Biotechnology, Vol. 25, págs. 158-165.
69. FLUENCE. *FLUENCE*. [En línea] [Citado el: 28 de enero de 2022.] <https://www.fluencecorp.com/es/remocion-de-arsenico-del-agua/>.
70. MACHADO, J. *Plantas que retienen metales pesados y eficiencia de energía y la economía en el proceso de conversión de la cavitación*. Universidad Autónoma de México. Iztapalapa : s.n., 2007.
71. WATANABE, Myrna. *Phytoremediation on the Brink of Commercialization*. 1997, Environ. Sci. Technol, Vol. 31, págs. 182-186.
72. DELGADILLO, Oscar, y otros. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Nelson Antequera Durán. Cochabamba : s.n., 2010. pág. 115. 978-99954-766-2-5.
73. MCCUTCHEON, Steven y SCHNOOR, Jerald. *Phytoremediation: Transformation and control of contaminants*. New Jersey : s.n., 2003. 978-0-471-39435-8.
74. NUÑEZ LÓPEZ, Roberto, y otros. *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. 2011.
75. AGUDELO BETANCUR, Lina, MACIAS MAZO, karina y SUÁREZ MENDOZA, Alfredo. *Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos*. 1, Antioquía : Corporación Universitaria Lasallista, 2005, LASALLISTA, Vol. 2, págs. 57-60. 1794-4449.
76. JARAMILLO JUMBO, Mariuxi y FLORES CAMPOVERDE, Edison. *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua) y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca : s.n., 2012. pág. 128.
77. RASKIN, Ilya, y otros. *Bioconcentration of heavy metals by plants*. 3, New Jersey : s.n., 1994, Vol. 5, págs. 285-290.
78. TCHOBANOGLOUS, G. *Aquatic plant systems for wastewater treatment: engineering considerations*. 1990.
79. MENDIETA WEBSTER, Carla y TAISIGUE LÓPEZ, Katerine. *Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación*. Managua : s.n., 2014, appear, pág. 12.
80. ZAYED, Adel, GOWTHAMAN , Suvarnalatha y TERRY, Norman. *Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants*. Madison : s.n., 1998, Environ. American Society of Agronomy, Vol. 27, págs. 715-721.

81. GONZÁLES , Daniel y ZAPATA, Omar. *Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas*. México : s.n., 2008, Boletín de la Sociedad Botánica de México, Vol. 82. 0366-2128.
82. POSADA, Martha y ARROYAVE, María del Pilar. *Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales*. Medellín : s.n., 2002, EIA, Vol. 6, págs. 57-67. 1794-1237.
83. BISSANTI, Guido. *Un mundo ecosostenible*. [En línea] [Citado el: 28 de enero de 2022.] <https://antropocene.it/es/2017/05/20/nasturtium-officinale/>.
84. HUMANANTE CABRERA, Juan, y otros. *Biorrecuperación de aguas residuales con microorganismos*. 4, Guayaquil : s.n., 2021, Manglar, Vol. 18, págs. 345-356.
85. RAMOS CÁSERES, Karla. *Determinación de la capacidad fitorremediadora de Scirpus americanus (Junco) en aguas contaminadas con arsénico, Arequipa-2016*. Arequipa : s.n., 2017.
86. LOZADA ZÁRATE, Ernesto, y otros. *Determinación de metales pesados en Cyprinus carpio en la laguna de Metztlán, Hidalgo, México*. Hidalgo : s.n., 2010.
87. DARY , M, y otros. "In situ" phytostabilisation of heavy metal polluted soils using *Lupinus luteus* inoculated with metal resistant plant-growth promoting rhizobacteria. 210, ELSEVIER, Vol. 177, págs. 223-230.
88. ATSDR. [En línea] 2010. [Citado el: 28 de enero de 2022.] [https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/que\\_es\\_el.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/que_es_el.html).
89. MINISTERIO DE SEGURIDAD. Argentina.gob.ar. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de enero de 2022.] [https://www.argentina.gob.ar/sinagir/riesgos-frecuentes/contaminacion-del-agua#:~:text=Se%20define%20como%20la%20acumulaci%C3%B3n,animales%2C%20plantas%20y%20personas\)..](https://www.argentina.gob.ar/sinagir/riesgos-frecuentes/contaminacion-del-agua#:~:text=Se%20define%20como%20la%20acumulaci%C3%B3n,animales%2C%20plantas%20y%20personas)..)
90. CIRUJANO, S, Y OTROS. *Criterios botánicos para la valoración de las lagunas y humedales españoles (Península Ibérica y las islas Baleares)*. s.l. : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1992. pág. 456. 8480140445.
91. CEGARRA SÁNCHEZ, José. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, 2004. 84-7978-624-8.
92. ÑAUPAS PAITÁN, HUMBERTO, Y OTROS. *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. 4. Bogotá : Ediciones de la U, 2014.
93. BAENA PAZ, GUILLERMINA. *Metodología de la investigación*. 3. Mexico : s.n., 2017.
94. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la investigación*. 6. México : MCGRAW-HILL, 2014. 978-1-4562-2396-0.
95. ARIAS, FIDIAS. *El Proyecto de Investigación*. 7. Caracas : Editorial Episteme, 2016. 980-07-8529-9.
96. ÑAUPAS PAITÁN, HUMBERTO, Y OTROS. *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y redacción de tesis*. 5. Bogotá : Ediciones de la U, 2018. 978-958-762-876-0.
97. CABEZAS MEJÍA, EDINSON, ANDRADE NARANJO, DIEGO Y TORRES SANTAMARÍA, JOHANA. *Introducción a la metodología de la investigación científica*. David Andrade Aguirre. Ecuador : Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. pág. 138. 978-9942-765-44-4.

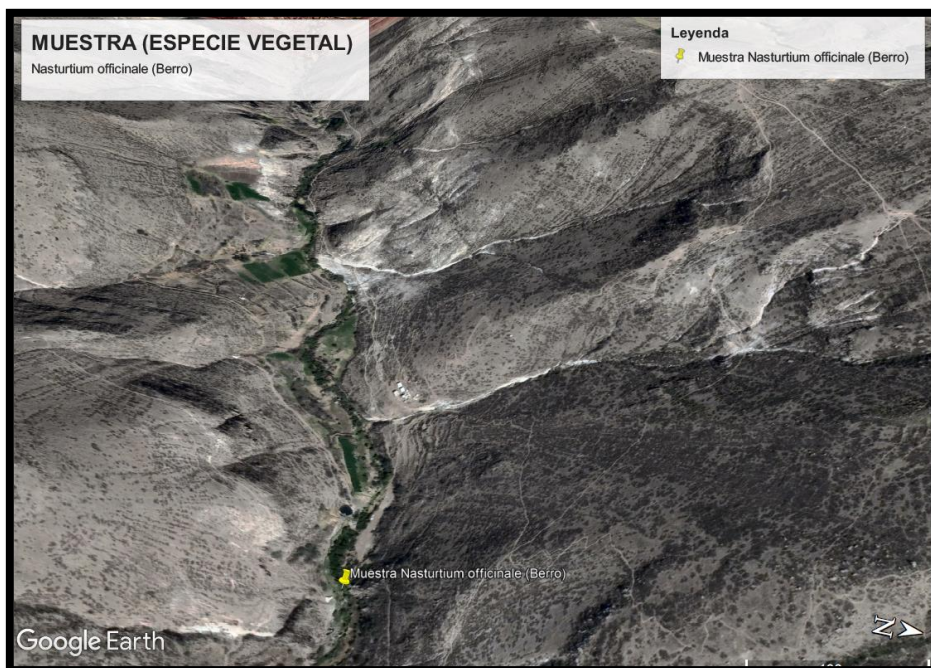
98. GABRIEL, JULIO, Y OTROS. *Diseños experimentales*. 1. Jipijapa : Grupo COMPAS, 2017. pág. 146. 978-9942-750-50-1.
99. B. S., GÖGER F. *Fisiología de las plantas*. Madrid - España : Editorial Paraninfo S.A, 2000. Vol. 2.
100. ARRIBAS, S, CONDE, L y BURRIEL , F. *Química Analítica Cuantitativa*. España : Editorial Paraninfo Madrid, 2007. Vol. 18. 9788497321402.

ANEXOS

# ANEXO A

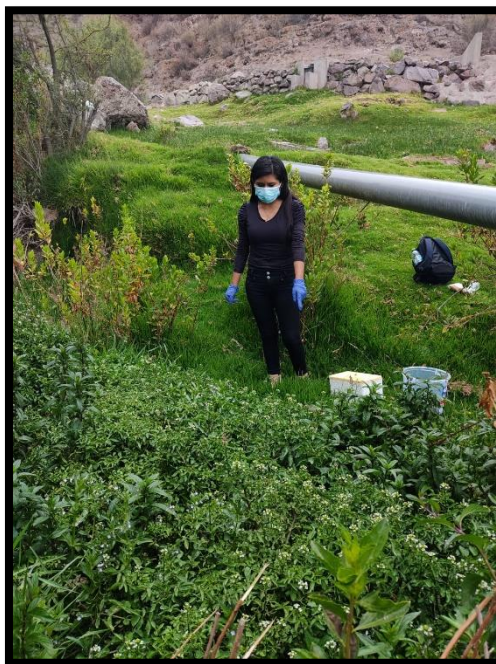
## EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

### A. UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRA DE LA ESPECIE VEGETAL



Fotografía 1: Ubicación del punto de toma de muestra

### B. TOMA DE MUESTRAS PRELIMINAR DE *Nasturtium officinale*



Fotografía 2: Toma de muestra



Fotografía 3: Toma de muestra



Fotografía 4: Toma de muestra



### C. RECOLECCIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL



Fotografía 5: Recolección de *Nasturtium officinale*



Fotografía 6: Recolección de *Nasturtium officinale*



Fotografía 7: Recolección de *Nasturtium officinale*



Fotografía 8: Recolección de *Nasturtium officinale*

#### D. ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL



Fotografía 9: Bomba de aire



Fotografía 10: Cubetas de vidrio



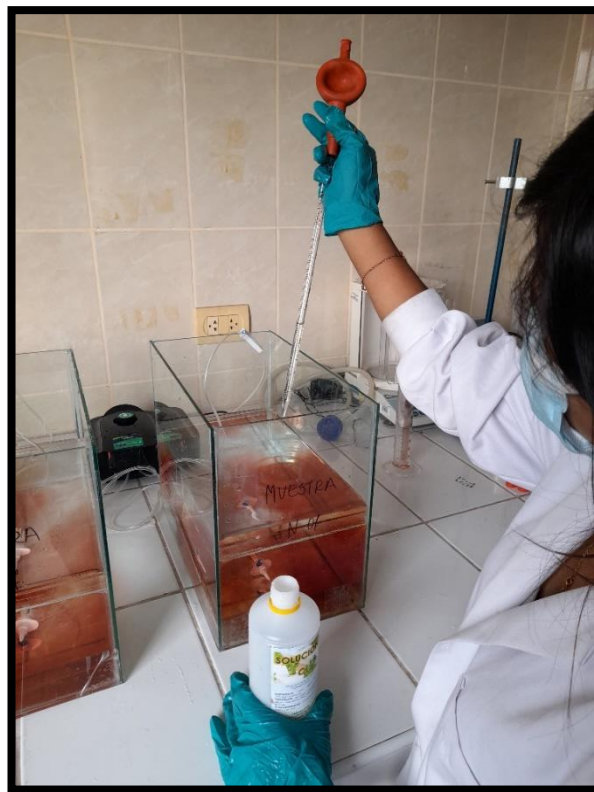
Fotografía 11: Venocllisis adaptado para bombeo de aire



Fotografía 12: Cubetas de vidrio para adaptación de especie vegetal



Fotografía 13: Solución hidropónica A, B y C.



Fotografía 14: Preparación de solución nutritiva



Fotografía 15: Sistema hidropónico



Fotografía 16: Lavado de *Nasturtium officinale*

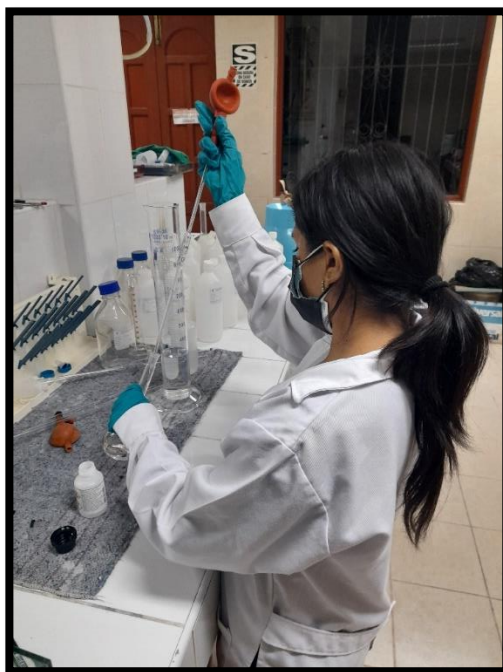


Fotografía 17: Sistema de adaptación de la especie vegetal

## E. INTOXICACIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL



Fotografía 18: Recipientes para realizar la intoxicación



Fotografía 19: Recolección de *Nasturtium officinale*



Fotografía 20: Solución patrón de arsénico

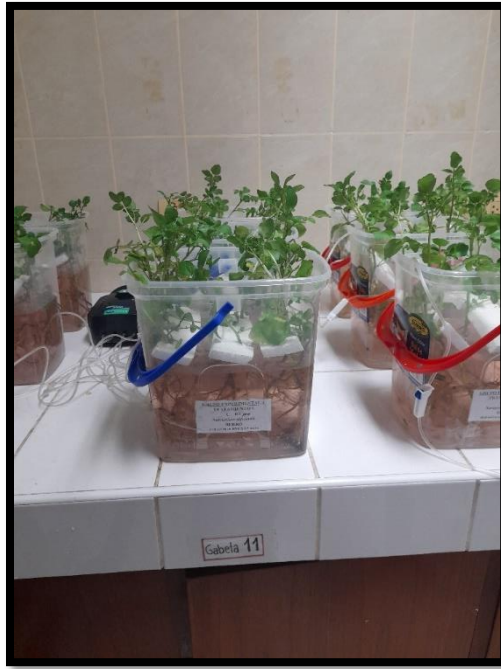




Fotografía 21: Solución estándar de As



Fotografía 22: Etapa experimental de intoxicación



Fotografía 23: Unidades experimentales



Fotografía 24: Unidades experimentales



Fotografía 25: Unidades experimentales



Fotografía 26: Plántula después de la intoxicación

# ANEXO B

MATRÍZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de <i>Nasturtium officinale</i> (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico, distrito de Torata, Moquegua?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>¿Influirá la adaptación del <i>Nasturtium officinale</i> (berro) en una solución nutritiva para determinar la capacidad fitorremediadora?</p> <p>¿Afectará la inducción de intoxicación del <i>Nasturtium officinale</i></p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie <i>Nasturtium officinale</i> (Berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico, distrito de Torata, Moquegua.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>Realizar la adaptación de la especie <i>Nasturtium officinale</i> (berro) en una solución nutritiva.</p> <p>Inducir la intoxicación del <i>Nasturtium officinale</i> (berro) con diferentes concentraciones de arsénico</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>Ho: Las concentraciones de arsénico 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l no influyen de manera significativa en la capacidad fitorremediadora de <i>Nasturtium officinale</i> (berro).</p> <p>Ha: Las concentraciones de arsénico 0.1 mg/l, 0.3 mg/l y 0.5 mg/l influyen de manera significativa en la capacidad fitorremediadora de <i>Nasturtium officinale</i> (berro).</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Concentración de arsénico en la especie vegetal.</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Capacidad fitorremediadora de la especie <i>Nasturtium officinale</i> (berro)</p>	<p>Método general y específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Método general: Hipotético – deductivo</li> <li>Método específico: Experimental</li> </ul> <p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicada</li> </ul> <p>Nivel de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Correlacional</li> </ul> <p>Diseño de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Experimento puro</li> <li>DCA</li> </ul> <p>Población y muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Población: La población de la</li> </ul>

<p>(berro) con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l)</p> <p>¿Cuál será el valor de arsénico que se determinará mediante el factor de bioacumulación del <i>Nasturtium officinale</i> (berro)?</p> <p>¿Cuál será el valor de arsénico que se determinará mediante del factor de traslocación del <i>Nasturtium officinale</i> (berro)?</p> <p>¿Cuál será la concentración final de arsénico en <i>Nasturtium officinale</i> (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l)?</p>	<p>(0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).</p> <p>Determinar la acumulación de arsénico mediante el factor de bioacumulación del <i>Nasturtium officinale</i> (berro).</p> <p>Determinar la acumulación de arsénico mediante del factor de traslocación del <i>Nasturtium officinale</i> (berro).</p> <p>Determinar la concentración final de arsénico en <i>Nasturtium officinale</i> (berro) en relación con diferentes concentraciones de arsénico (0.1 mg/l, 0.3 mg/l, 0.5 mg/l).</p>			<p>investigación es <i>Nasturtium officinale</i> (berro) del Anexo Paralaque, Sector Canto, distrito de Torata</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra:</li> </ul> <p>Muestras que fueron analizadas después del proceso experimental de intoxicación.</p>
---	---	--	--	---

# ANEXO C

## FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA ESPECIE *Nasturtium officinale*

### Identificación de la especie vegetal

Nombre científico (género, especie, autor, familia).	
Nombre local:	

### Identificación del lugar de recolección

Ubicación del campo de cultivo:	
Provincia/región/país:	

### Datos del agua

pH del agua:	
Temperatura:	

### Datos de la especie vegetal

Altura de las plantas (cm):	
Diámetro de las plantas (cm):	

### Recolección

Fecha:	
Hora:	
Condiciones:	
Método:	

Circunstancias no habituales que pueden influir en la calidad

(Condiciones climatológicas extremas, exposición a sustancias peligrosas, brotes de plagas, etc.):

---

Resumen de las condiciones de crecimiento de las plantas

Año \_\_\_\_\_

Otras observaciones y recomendaciones

---

\_\_\_\_\_



# ANEXO D

## INFORME DE ENSAYO IE-130122-04

### 1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : JUDITH ADELAIDA MAQUERA PUMA  
1.2 RUC/DNI : 75434580

### 2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 14 de Enero de 2022  
2.2 Fin : 24 de Enero de 2022  
2.3 Emisión de informe : 25 de Enero de 2022

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.6 °C  
3.2 Humedad Relativa : 51 %

### 4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado y : Ver 6.1  
método de ensayo

### 5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Tabla N°1: Datos de la Muestra Analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-3131	Tejido Vegetal	"Código de la Muestra: TBER01 Descripción de muestra: Muestra de Tejido Vegetal Fecha de Toma de Muestra: 10/01/2022"

### 6. RESULTADOS

#### 6.1. Resultados Obtenidos

Tabla N°2: RESULTADOS DE METALES TOTALES

Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados S-3131
Arsénico, As	mg/Kg	(Determination of Metals and Trace Elements by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)	< 0.002

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

# ANEXO E

## INFORME DE ENSAYO IE-180322-06

### 1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : JUDITH ADELAIDA MAQUERA PUMA  
1.2 RUC/DNI : 75434580  
1.3 Dirección : ASOC. NUEVA CUCHUMBAYA MZ A1 - LT 12 DISTRITO SAN ANTONIO  
- REGIÓN MOQUEGUA

### 2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 18 de Marzo de 2022  
2.2 Fin : 28 de Marzo de 2022  
2.3 Emisión de informe : 29 de Marzo de 2022

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.3 °C  
3.2 Humedad Relativa : 50 %

### 4. ENSAYO SOLICITADO Y METODO UTILIZADO

- 4.1 Ensayo solicitado y Método utilizado : Determinación de Arsénico en Tejido Vegetal / Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo(ICP-OES)

### 5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADAS

Tabla N°1: DATOS DE LA MUESTRA

Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Datos Adicionales
S-3530	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T0-T+H Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:35 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3531	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T0-R Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:35 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3532	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T0-T+H-R1 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:40 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**Tabla N°1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA(Continuación)**

Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Datos Adicionales
S-3533	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T1-R-R1 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:40 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3534	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T1-T+H-R2 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:40 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3535	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T1-R-R2 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:40 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3536	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T1-T+H-R3 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:40 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3537	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T1-R-R3 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:40 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3538	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T2-T+H-R1 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:46 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3539	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T2-R-R1 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:46 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3540	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T2-T+H-R2 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:46 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



**DIEGO ROMNO VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**Tabla N°1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA(Continuación)**

Código de Laboratorio	Descripción de muestra	Datos Adicionales
S-3541	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T2-R-R2 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:46 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3542	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T2-T+H-R3 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:46 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3543	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T2-R-R3 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:46 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3544	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T3-T+H-R1 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:55 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3545	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T3-R-R1 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:55 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3546	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T3-T+H-R2 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:55 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3547	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T3-R-R2 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:55 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3548	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T3-T+H-R3 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:55 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua
S-3549	Tejido Vegetal	Punto de Muestreo: T3-R-R3 Fecha: 17-03-22 / Hora: 14:55 Tipo de Matriz: Tejido Vegetal Referencia: Torata Procedencia: Torata-Moquegua

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



**DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**6. RESULTADOS**

**6.1. Resultados Obtenidos**

**Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS**

Código de Laboratorio	Unidad	Método de Ensayo	Resultado Arsénico
S-3530	mg/Kg	Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)	<0.002
S-3531	mg/Kg		<0.002
S-3532	mg/Kg		<0.002
S-3533	mg/Kg		2.46
S-3534	mg/Kg		<0.002
S-3535	mg/Kg		2.25
S-3536	mg/Kg		<0.002
S-3537	mg/Kg		2.86
S-3538	mg/Kg		<0.002
S-3539	mg/Kg		5.89
S-3540	mg/Kg		<0.002
S-3541	mg/Kg		6.58
S-3542	mg/Kg		<0.002
S-3543	mg/Kg		6.24
S-3544	mg/Kg		<0.002
S-3545	mg/Kg		10.23
S-3546	mg/Kg		<0.002
S-3547	mg/Kg		12.36
S-3548	mg/Kg		<0.002
S-3549	mg/Kg	10.30	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

**FIN DE DOCUMENTO**



**DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

# ANEXO F





HUROLAB S.A.C

**VERIFICACIÓN OPERACIONAL  
ESPECTRÓMETRO  
ICP OPTIMA 4300DV**

Código: MPICP4300/REP-01

Edición: 02/Revisión: 02

Fecha de Revisión: 01/11/20

Elaborado: RD

**Nro. Reporte: 2111221RD**

**ESPECTROFOTÓMETRO DE EMISIÓN**

PERKIN ELMER ICP OPTIMA 4300DV

Compañía: **SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS**  
Dirección: **Naranjal Calle 22 Mz. E lote 7, San Martín de Porres**  
Área: **Laboratorio**  
Responsable: **Anthony Vargas**  
Teléfono: **014531389**

Fecha de Evaluación: **22/11/2021**  
Fecha Sugerida Re Evaluación: **Noviembre 2022**  
No. de Certificado: **2111221RD**

Teléfono de Consultas: **941363976**



HUROLAB S.A.C

**VERIFICACIÓN OPERACIONAL  
ESPECTRÓMETRO  
ICP OPTIMA 4300DV**

Código: MPICP4300/REP-01

Edición: 02/Revisión: 02

Fecha de Revisión: 01/11/20

Elaborado: RD

**Nro. Reporte: 2111221RD**

**CONFIGURACIÓN EVALUADA:**

**ACCESORIOS / COMPONENTES, NO  
INCLUIDOS en la descripción del modelo  
pero utilizado en la prueba.**

<b>Modelo</b>	<b>No. Serie</b>	<b>Código de Equipo</b>
ICP4300DV	077N0072701	EL-LAB-100

<b>Equipo de Prueba</b>	<b>Número de Serie</b>
Medidor de presión de gas	N069T114

<b>Estándares Utilizados</b>	<b>Número de Lote</b>	<b>Fecha de Expiración</b>
N069 1579 Multi element Standar	3-168MJX1	30-07-2022
N930 0221 Dilucion 1/100	54-134CRY1	30-08-2022
N058 2152 Calmix 3	2-182MJX1	30-12-2021
N930 2946 Vis Wavecal Mix	53-096CRT1	30-06-2022

<b>Suministrado por Cliente</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Iniciales de Cliente</b>
Agua		A. V.

No. DE CERTIFICADO: 2111221RD FECHA DE EVALUACIÓN: 22 de Noviembre del 2021**1. RESOLUTION**

RES-ONLY-XL, la réplica más alta de la muestra RES (N069-1579) encontrada en pe\7300AT\temporary files\analysis.log

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR MEDIDO	PRUEBA
As 193.696-Res	$\leq 0.007$	0.00523	Pasó
Ni 231.604-Res	$\leq 0.008$	0.00765	Pasó
Ni 341.476-Res	$\leq 0.012$	0.00903	Pasó
La 408.672-Res	$\leq 0.020$	0.01873	Pasó
Ba 455.403-Res	$\leq 0.025$	0.02321	Pasó

**2. PRECISION:**

Precision-XL, para la muestra RSD STD (N069-1579)

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR MEDIDO	PRUEBA
As 193.696	$\leq 1.0\%$	0.58	Pasó
Zn 213.856	$\leq 1.0\%$	0.19	Pasó
Mn 257.610	$\leq 1.0\%$	0.01	Pasó
La 379.478	$\leq 1.0\%$	0.19	Pasó
Ba 455.403	$\leq 1.0\%$	0.27	Pasó
Ba 493.408	$\leq 1.0\%$	0.07	Pasó

**3. RADIAL DETECTION LIMIT**DL-2-RL, para la muestra IDL (2% $\text{HNO}_3$ ), guardar valor en muestra de Std Dev

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR MEDIDO	PRUEBA
As 193.696	$\leq 60 \text{ ug/L}$	26.37	Pasó
Zn 213.856	$\leq 2 \text{ ug/L}$	1.023	Pasó
Mn 257.610	$\leq 0.75 \text{ ug/L}$	0.651	Pasó
La 379.478	$\leq 3 \text{ ug/L}$	0.852	Pasó
Ba 455.403	$\leq 0.3 \text{ ug/L}$	0.234	Pasó
Ba 493.408	$\leq 0.6 \text{ ug/L}$	0.54	Pasó



HUROLAB S.A.C

**VERIFICACIÓN OPERACIONAL  
ESPECTRÓMETRO  
ICP OPTIMA 4300DV**

Código: MPICP4300/REP-01

Edición: 02/Revisión: 02

Fecha de Revisión: 01/11/20

Elaborado: RD

**Nro. Reporte: 2111221RD**

No. DE CERTIFICADO: 2111221RD FECHA DE EVALUACIÓN: 22 de Noviembre del 2021

**4. CALIBRACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA**

**COEFICIENTES UV**

<u>-0.27917</u>	≤	1.50
<u>-1.32274</u>	≤	1.50
<u>5.15499</u>	≤	6.00

RSD ≤ 2.00 = 0.53

**COEFICIENTES VIS**

<u>0.16710</u>	≤	2.00
<u>-1.00746</u>	≤	2.00
<u>2.70786</u>	≤	8.00

RSD ≤ 2.00 = 1.28

Intensidad de la lámpara de mercurio: 7105173.8

Valor de Slit: 1898

Conclusión: Todas las pruebas pasaron satisfactoriamente.

Este documento deja CONSTANCIA que el Instrumento ICP **OPTIMA 4300DV** con número de serie: **077N0072701**

**Cumple**

Las especificaciones del fabricante indicadas en este documento.

HUROLAB S.A.C

  
ROLANDO DIAZ  
Especialista Técnico

REPRESENTANTE EMPRESA **HUROLAB**