

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“BIOADSORCIÓN DE ARSÉNICO (III) DEL PASIVO AMBIENTAL TRATADA
CON *ASPERGILLUS NÍGER* MODIFICADO EN TICAPAMPA - ANCASH”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES

HENRY DARWIN, GUILLERMO INOCENTE

LAURA LUCERO, TRUJILLO CARRASCAL

ASESORA

MG.ING. GLADIS REYNA MENDOZA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2023

PERÚ



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**LIBRO N° 1 FOLIO N° 123 ACTA N° 122 DE SUSTENTACIÓN
POR LA MODALIDAD DE TESIS CON CICLO DE TESIS
GRUPO X TCT**

Siendo las 12:20 horas del día domingo 30 de abril de 2023, se reunieron en la sala meet <https://meet.google.com/lyzt-jhsa-xqc> el Jurado de Sustentación de Tesis, conformado por los siguientes docentes ordinarios:

ING° PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO	Presidente
ING° LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES	Secretario
Lic. SANTOS PANTALEÓN RODRIGUEZ CHUQUIMANGO	Vocal
Lic. SALVADOR APOLINAR TRUJILLO PEREZ	Miembro Suplente
ING° GLADIS ENITH REYNA MENDOZA	Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los bachilleres **GUILLERMO INOCENTE HENRY DARWIN** y **TRUJILLO CARRASCAL LAURA LUCERO** quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico mediante la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, sustenta la tesis titulada **"BIOADSORCIÓN DE ARSÉNICO (III) DEL PASIVO AMBIENTAL TRATADA CON ASPERGILLUS NÍGER MODIFICADO EN TICAPAMPA - ANCASH"** en acto público de manera **NO PRESENCIAL** a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19 a través del D.S. N° 044-2020-PCM, lo dispuesto en el DU N° 026-2020 en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario", con el quórum reglamentario de ley se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente

Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó dar por **APROBADOS**, con la siguiente escala de calificación conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021:

BACHILLER	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
GUILLERMO INOCENTE HENRY DARWIN	16	MUY BUENO
TRUJILLO CARRASCAL LAURA LUCERO	16	MUY BUENO

Concluyendo la Sustentación a las 13:00 horas del día domingo 30 de abril de dos mil veintitres

ING° PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO
PRESIDENTE

ING° LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES
SECRETARIO

Lic. SANTOS PANTALEÓN RODRIGUEZ
CHUQUIMANGO
VOCAL

Lic. SALVADOR APOLIANR TRUJILLO PÉREZ
SUPLENTE

ING° GLADIS ENITH REYNA MENDOZA
ASESORA

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: Ingeniería Química

UNIDAD DE INVESTIGACION: Facultad de Ingeniería Química

TÍTULO: “Bioadsorción de Arsénico (III) del pasivo ambiental tratada con *Aspergillus Níger* modificado en Ticapampa - Ancash”

AUTOR(ES) / CÓDIGO ORCID / DNI:

Henry Darwin, Guillermo Inocente / 0000-0003-1562-8864 / 45241653

Laura Lucero, Trujillo Carrascal / 0000- 0003-3893-7643 / 72773450

ASESOR/ CODIGO ORCID / DNI:

Mg. Ing. Gladys Enith Reyna Mendoza / 0000-0002-7400-6558 / 07836885

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química en la Universidad Nacional Del Callao y Laboratorio privado.

UNIDAD DE ANÁLISIS:

Volumen que contiene nutrientes, biomasa modificada de *Aspergillus Níger* y solución acuosa de PAM a concentración definida.

TIPO DE INVESTIGACION: Aplicada

ENFOQUE: Cuantitativo

DISEÑO: Experimental

TEMA OCDE: Ingeniería de Proceso

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

La presente Tesis fue sustentada por los bachilleres **GUILLERMO INOCENTE HENRY DARWIN** y **TRUJILLO CARRASCAL LAURA LUCERO** ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING°	PABLO BELIZARIO DIAZ BRAVO	Presidente
ING°	LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES	Secretario
LIC.	SANTOS PANTALEÓN RODRIGUEZ CHUQUIMANGO	Vocal
LIC.	SALVADOR APOLINAR TRUJILLO PEREZ	Suplente
ING°	GLADIS ENITH REYNA MENDOZA	Asesora

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 1 Folio N° 123 y Acta N° 122 de fecha 30 de abril del 2023, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099–2021–CU del 30 de junio de 2021.

DEDICATORIA

A mi abuelo José, a mis padres por apoyarme e inspirarme. A mi familia y amistades por su apoyo incondicional siempre.

L.T.C.

A mis padres y amistades por el apoyo brindado en todo momento.

H.G.I.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por inspirarnos y guiarnos a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestra alma Mater, la Universidad Nacional del Callao, y a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería Química quienes han compartido sus conocimientos.

A nuestra asesora Mg. Ing. Gladys Enith Reyna Mendoza, por el apoyo brindando durante el desarrollo del trabajo de investigación.

A MINLAB S.R.L. y su equipo de profesionales por su apoyo e impulso en pro de la investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN.....	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Descripción de la realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema (problema general y específicos)	12
1.3. Objetivos (general y específicos).....	12
1.4. Justificación (de acuerdo a la naturaleza del problema)	13
1.5. Delimitantes de la investigación (teórica, temporal y espacial)	13
1.5.1. Teórica.....	13
1.5.2. Temporal	14
1.5.3. Espacial	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes: Internacional y nacional	15
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	15
2.1.2. Antecedentes nacionales	16
2.2. Bases teóricas	18
2.2.1. Adsorción.....	18
2.2.2. Pasivos ambientales mineros	20
2.2.3. Comportamiento del arsénico en aguas superficiales.....	23
2.3. Marco Conceptual	26
2.4. Definición de términos básicos.....	28
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	30
3.1. Hipótesis (general y específicas)	30
3.1.1. Operacionalización de variable	30
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	32
4.1. Diseño metodológico	32
4.2. Método de investigación.....	33
4.3. Población y muestra.....	44

4.3.1.	Población	44
4.3.2.	Muestra	44
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	44
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos de la información.....	44
4.5.1.	Técnicas para la recolección de información	44
4.5.2.	Equipos y materiales	45
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	47
4.7.	Aspectos éticos en la investigación	47
V.	RESULTADOS.....	49
5.1.	Resultados descriptivos.....	49
5.2.	Resultados Inferenciales	55
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.	59
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	60
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	61
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe).....	62
VII.	CONCLUSIONES	63
VIII.	RECOMENDACIONES	64
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros recomendados.....	26
Tabla 2	Operacionalización de variables.....	31
Tabla 3	Variables independientes y niveles de experimentación	32
Tabla 4	Matriz de experimentación	33
Tabla 5	Caracterización de la solución acuosa del PAM	49
Tabla 6	Características fisicoquímicas del PAM-Ticapampa	49
Tabla 7	Porcentaje de remoción de As (III) en función de la concentración inicial de As, Ph y tiempo de remoción.....	50
Tabla 8	Porcentaje de remoción de arsénico (III) a pH4 y pH6	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de adsorción	19
Figura 2	Presencia de As(III) con pH	24
Figura 3	Planificación del monitoreo	25
Figura 4	Recolección y caracterización de la muestra (PAM Ticapampa)	34
Figura 5	Preservación de la muestra E-03	35
Figura 6	Cepa Aspergillus Níger (AN) activada	35
Figura 7	Placas sembradas con Aspergillus Níger	36
Figura 8	Esterilización de medio de cultivo	37
Figura 9	Raspado de Aspergillus Níger	37
Figura 10	Biomasa con Aspergillus Níger	38
Figura 11	Biomasa modificada con óxido de hierro agitación 100rpm	39
Figura 12	Adquisición de A.N. y su acondicionamiento	40
Figura 13	Bioadsorción	41
Figura 14	Bioadsorción de la muestra a pH 6	41
Figura 15	Sedimentación de las muestras	42
Figura 16	Muestras centrifugadas	42
Figura 17	Preservación de la muestra a pH<2	43
Figura 18	Bioadsorción y evaluación de arsénico residual en la muestra tratada	43
Figura 19	Medidor de pH Lab 855	45
Figura 20	Conductímetro Ultrameter II 6PFC	45
Figura 21	Balanza Analítica Eurolab	46
Figura 22	Agitador magnético (Digital Ceramic Hot Plate stirrer)	46
Figura 23	Autoclave Analógica vertical - QUIMIS Q190-2	46
Figura 24	Centrífuga refrigerada de gran capacidad - BIOBASE	47
Figura 25	%Remoción As(III) vs tiempo a concentraciones 0.851ppm y 1.702ppm a pH4	51
Figura 26	%Remoción As(III) vs tiempo a concentraciones 0.851ppm y 1.702ppm a pH6	52

Figura 27	%Remoción As(III) vs tiempo a pH4 y pH6 a concentración 0.851ppm.....	53
Figura 28	%Remoción As (III) vs tiempo a pH4 y pH6 a concentración 1.702ppm.....	54
Figura 29	Gráfica de efectos principales para %Remoción de As(III).....	55
Figura 30	Gráfica de efectos por interacción de dos variables sobre el % de remoción de As(III).....	56
Figura 31	Gráfica de contorno 1.....	57
Figura 32	Gráfica de contorno 2.....	58
Figura 33	Gráfica de contorno 3.....	59
Figura 34	Anexo VII - Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.....	72
Figura 35	Pasivo ambiental minero de Ticapampa - Ancash.....	73
Figura 36	Punto E-03.....	74

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

As: Arsénico

A.N. *Aspergillus Níger*

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno

MINAM: Ministerio del Ambiente

ICP: Plasma de acoplamiento inductivo

ICP-OES: Plasma de acoplamiento inductivo por espectrofotómetro de emisión ópticos

PAM: Pasivo Ambiental Minero

pH: Potencial de hidrógeno

RESUMEN

El presente trabajo de tesis consistió en determinar la bioadsorción de arsénico (III) con *Aspergillus Níger* modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash. Las características fisicoquímicas del agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa fueron de: concentración de arsénico 1,702ppm, pH 5,5, conductividad 1019 us/cm y DBO₅ 80,3 mg/L; manteniendo constante la cantidad de biomasa modificada y de nutrientes, el tiempo y velocidad de agitación, temperatura y velocidad de centrifugación. El acondicionamiento del *Aspergillus Níger* implicó tratamientos previos y se usó óxido de hierro para modificar la biomasa. Para el proceso de bioadsorción se utilizó el diseño factorial de 3 parámetros pH (4 y 6), concentración inicial de arsénico en el PAM (0.851 ppm y 1.702 ppm) y tiempo de remoción (43, 67, 91 y 112 horas). La cantidad de arsénico presente en la muestra inicial, así como en cada una de las 16 experiencias fue seguida mediante espectrometría con plasma de acoplamiento inductivo (ICP). Se evaluó la influencia del pH, concentración inicial de arsénico y tiempo de remoción en el proceso de bioadsorción. Finalmente, se logró reducir la concentración de arsénico en el PAM de Ticapampa – Ancash en las pruebas experimentales cuyo porcentaje de bioadsorción fueron mayores a 90% en todos los experimentos siendo los experimentos 8, 11 y 12 los de mayor porcentaje de remoción (99.76%).

Palabras clave: Bioadsorción, Arsénico, *Aspergillus Níger*

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the percentage of arsenic (III) bioadsorption with modified *Aspergillus Niger* in the Ticapampa - Ancash environmental passive. The physicochemical characteristics of the surface water of the Ticapampa environmental passive were determined, which were arsenic concentration of 1,702 ppm, pH of 5.5, conductivity of 1019 us/cm, and BOD5 of 80.3 mg/L. For the bioadsorption process, the factorial design of 3 parameters was used: pH (4 and 6), initial arsenic concentration in the PAM (0.851 ppm and 1.702 ppm), and removal time (43, 67, 91, and 112 hours), while keeping the modified biomass and nutrient quantity, time and agitation speed, temperature, and centrifugation speed constant. *Aspergillus Niger* conditioning involved previous treatments, and iron oxide was used to modify the biomass. The amount of arsenic present in the initial sample, as well as in each of the 16 experiments, was monitored using inductively coupled plasma spectrometry (ICP). The influence of pH, initial arsenic concentration, and removal time on the bioadsorption process was evaluated. The results showed that the bioadsorption percentage was over 90% in all experiments, with experiments 8, 11, and 12 showing the highest removal percentage (99.76%). In conclusion, the concentration of arsenic in the Ticapampa - Ancash PAM was reduced, demonstrating the benefits of this technique in the treatment of environmental passive.

Key words: Bioadsorption, Arsenic, *Aspergillus Niger*.

INTRODUCCIÓN

En Perú, los pasivos mineros son considerados un riesgo potencial que puede causar daños o efectos adversos a la salud humana, seguridad y medio ambiente. Sin embargo, su tratamiento supone una evaluación previa que concluye en una lista de priorización que va desde el pasivo ambiental minero de “muy alto riesgo” hasta aquel que no tiene relevancia alguna por su efecto insignificante. Por tanto, es necesario buscar recuperar áreas impactadas, realizar la disposición de relaves y monitorear su tratamiento para minimizar el impacto ambiental. [1]

El presente trabajo aborda la situación de la contaminación principalmente por arsénico (As) sin dejar de lado otros elementos tóxicos como los metales pesados tales como el cadmio (Cd), Cromo (Cr^{6+}), mercurio (Hg), plomo (Pb), los cuales tienen efectos tóxicos incluso en concentraciones muy bajas. Varias actividades industriales y procesos naturales han sido los responsables de la contaminación del medio ambiente, convirtiéndose en un problema mundial. [2]

El arsénico se introduce en el medio ambiente a través de una combinación de procesos naturales tales como: reacciones de meteorización, actividad biológica y emisiones volcánicas, sin embargo, en esta última década el hombre ha tenido un impacto adicional importante a través de la actividad minera, fundición de metales no ferrosos, refinación de petróleo, quema de combustibles fósiles, el uso de pesticidas y herbicidas arsenicales; ciertamente en las últimas décadas los productos arsenicales han disminuido, pero el impacto que se ha generado al medio ambiente se mantendrá todavía por algunos años. [3]

Las especies más predominantes del arsénico en tierra y agua se encuentran en dos estados de oxidación, arsenito (As (III)) y arseniato (As (V)). El arsenito y sus metabolitos tienen una variedad de efectos genotóxicos; experimentos previos han demostrado que, a alta exposición de arsenito, este se puede acumular tanto en la piel como en el cabello, siendo esta especie la más tóxica y difícil de eliminar.[4]

Esta investigación busca determinar el porcentaje de remoción de arsénico (III) en el pasivo ambiental de Ticapampa, utilizando un proceso de bioadsorción como tecnología de mayor eficiencia, algunas de las tecnologías tradicionales más usadas para la remoción de arsénico son la coagulación-floculación, precipitación, adsorción, e intercambio iónico, pero muchos son costosos o no hay una buena remoción total. Por otro lado, una de las tecnologías más prometedoras resulta ser la bioadsorción, no solo por su bajo costo, sino porque resulta ser un proceso rápido que permite tratar grandes volúmenes de agua. [5]

Por tanto, en este trabajo nos enfocamos en la remoción de arsénico con *Aspergillus Níger* modificado tomando como muestra el agua superficial del pasivo minero ambiental ocasionado por el relave de Ticapampa en la región Ancash.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La industria minera cumple un rol fundamental en la economía de los países del mundo, dentro de ellos se encuentran el Perú, en donde constituye un gran factor de desarrollo. Como primer proveedor de divisas aporta a nuestro país más del 60% del total de nuestros ingresos por exportaciones. [6]

La actividad minera en el departamento de Áncash está valorizada en US \$1,282 millones, distribuidos en las provincias de Recuay, Bolognesi y Yungay, con los proyectos Magistral, San Luis, ampliación Pachapaqui e Hilarión, respectivamente. [7]

Los pasivos ambientales son producto del impacto negativo de la actividad minera y minero- metalúrgica, minas en abandono sin plan de cierre, actividades sin tecnologías de limpieza o por actividades de minería ilegal.

El mayor riesgo ambiental de los pasivos ambientales mineros es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de las aguas se debe a la liberación de contaminantes tóxicos contenidos en los residuos mineros y desde las obras mineras, los tajos abiertos y los socavones entre otros. Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes. El potencial de liberación de estos contaminantes y el riesgo asociado dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la operación de la extracción, del procesamiento, la gestión de los residuos, la calidad de las medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía a posibles receptores. [8]

Los residuos mineros (relaves) ubicado en la provincia de Recuay región Ancash, declarada como pasivo ambiental minero según resolución ministerial N° 335-2022-MINEM/DM (Anexo: Inventario de PAM), se encuentra en la cuenca del Santa y puede afectar la calidad de vida de la población que vive en los alrededores de Ticapampa, por la formación de drenajes ácidos de mina. [9]

Uno de los elementos tóxicos en el pasivo ambiental de Ticapampa es el arsénico y sus efectos tóxicos afectan a personas de todas las edades, principalmente a aquellas que viven en la pobreza y con desnutrición: niños, mujeres embarazadas y en lactancia, e individuos con enfermedades crónicas. Además, se ha relacionado su exposición crónica por el agua de consumo humano a cáncer de piel, vejiga, riñón y próstata. [10]

Existen estrategias biológicas en donde microorganismos y plantas pueden inmovilizar o transformar el elemento in situ, lo cual puede reducir su biodisponibilidad[11]. La biomasa modificada de *Aspergillus Níger*, remueve un 66% de As (III) en solución (1 mg/L), a las 24 h de remoción, 28°C, 100 rpm y 1 g de biomasa; y elimina eficientemente el elemento in situ (67% en agua contaminada con arsénico). Estos resultados sugieren la potencial aplicabilidad de esta biomasa para la remediación de nichos acuáticos contaminados con As (III). [12]

1.2. Formulación del problema (problema general y específicos)

Problema general

¿Cuál es el porcentaje de bioadsorción de arsénico (III) mediante *Aspergillus Níger* modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa-Ancash?

Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas que presenta el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash?
- b) ¿Cuáles son los parámetros que influyen en la bioadsorción de arsénico (III) mediante *Aspergillus Níger* modificado?

1.3. Objetivos (general y específicos)

Objetivo general

Evaluar la bioadsorción de arsénico (III) mediante *Aspergillus Níger* modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash.

Objetivos específicos

- a) Determinar las características fisicoquímicas que presenta el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash.

- b) Determinar los parámetros que influyen en la bioadsorción de arsénico (III) mediante *Aspergillus Níger* modificado.

1.4. Justificación (de acuerdo a la naturaleza del problema)

Los pasivos ambientales, producto de las antiguas operaciones mineras y extracción ilegal de minerales a lo largo del tiempo constituyen un problema ambiental y social. Estos pasivos ambientales mineros contienen sustancias tóxicas que se filtran hacia los ríos y napas freáticas como parte de los procesos hidrológicos, luego dichas aguas podrían ser utilizadas para regadíos, bebida de animales y personas.

El arsénico es una de las sustancias tóxicas que se encuentra en los pasivos ambientales y sus efectos en la salud por exposición prolongada de consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. [10]

La relevancia social de esta investigación se sustenta en la biorremediación de pasivos ambientales mineros, al alcanzar un proceso tecnológico más efectivo para la remoción de uno de los contaminantes altamente tóxico, utilizando *Aspergillus Níger* modificado para la bioadsorción de arsénico (III).

En consecuencia, los resultados obtenidos de esta investigación aportarán con información necesaria para futuros trabajos en temas de biorremediación de elementos tóxicos usando como tecnología la bioadsorción, reduciendo el impacto generado por los pasivos ambientales mineros, logrando cumplir con los estándares de calidad ambiental (ECA) categoría 3 - inorgánicos "Riego de vegetales y bebidas de animales" para agua. [13]

1.5. Delimitantes de la investigación (teórica, temporal y espacial)

1.5.1. Teórica

El presente trabajo está enmarcado dentro de la teoría de bioacumulación y biosorción. [11]; poniendo énfasis en la capacidad de adsorción del *Aspergillus Níger* modificado para que pueda ser aplicada como proceso biotecnológico en la remoción de arsénico en pasivos ambientales.

La evaluación de la remoción de arsénico se basa en los métodos de análisis instrumental multi elemental a nivel traza utilizando un espectrofotómetro con plasma acoplado inductivamente (ICP).

1.5.2. Temporal

La investigación se inició en diciembre del 2022 y concluyó en marzo del 2023.

1.5.3. Espacial

La investigación se ha realizado sobre el pasivo ambiental minero ubicado en el distrito de Ticapampa, departamento de Ancash provincia de Recuay y Aija. Tomando muestras acuosas (agua superficial) de la canaleta adyacente al relave minero de Ticapampa.

Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional del Callao y las lecturas para evaluar la remoción de arsénico se realizó en un laboratorio certificado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: Internacional y nacional

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo “Bioadsorción de Arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de *Aspergillus Níger*” (Hidalgo, México) con la finalidad de disminuir la concentración de arsénico presente en las aguas subterráneas, los autores analizaron la capacidad de remoción de As (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de *Aspergillus Níger*, mediante espectrometría de absorción atómica. Removiendo en un 66% de arsénico (III) en solución (1 mg/L), a las 24 h de remoción, 28°C, 100 rpm y 1 g de biomasa; eliminando de manera eficiente el 67% de arsénico en agua contaminada.[14]

En la publicación: “Potencial aplicación de bacterias ácido-lácticas en sistemas de tratamiento de agua” (Concepción, Chile) los autores propusieron el uso de bacterias ácido-lácticas (BAL) como una alternativa biotecnológica al tratamiento de aguas residuales en la remoción de metales pesados en sistemas acuáticos, adicionando las BAL en un lecho granular de un filtro (biofiltro). Como resultado removieron de 30% a 96% de metales pesados como Se, Ag, As, Fe, Zn, Cd y Pb desde sistemas acuosos y hasta un 20% de moléculas orgánicas como aflatoxina (AFB1) y microcistina-LR (MC-LR). Se consideró un procedimiento innovador ya que no generó residuos en sus procesos y fue de bajo costo frente a alternativas convencionales químicas. [15]

En el artículo de investigación “Remediación de Iones Cr (VI) en Soluciones Acuosas por *Aspergillus Níger* BM-56”; se usaron diferentes concentraciones de metal 0.1, 0.5 y 1.0 miligramo por litro a diferentes pH (2.5, 4.5, 5.5 y 7) las concentraciones de Cromo (VI) examinadas tuvieron una eficiencia de remoción del 100%. Para un pH 5.5 se obtuvo la máxima remoción mientras que pH 2.5 y 4.5 disminuyó en un 2 a 4% respecto al máximo. [16]

En el artículo “Optimización de las actividades de remediación de metales pesados (plomo) de hongos *Aspergillus penicillioides* (F12) a través de sustancias poliméricas extracelulares” se enfatiza la optimización de los

parámetros de pH, tiempo y temperatura mediante el diseño Box-Behnken para mejorar la bioadsorción de plomo de las aguas residuales utilizando una sustancia polimérica extracelular (EPS) producido por el hongo *Aspergillus penicillioides* (F12) (MN210327). El análisis estadístico demostró que la mejor bioadsorción del plomo ocurrió a un pH de 8,85 y una temperatura de 32°C durante 5,74 horas. Además, se observó que la tasa de floculación fue más alta en la arcilla de caolín y el 50% de actividad emulsionante a una concentración de 0,5 mg/L de EPS, estos resultados abren nuevas posibilidades para la biorremediación sostenible de metales pesados a través del uso del EPS fúngico a escala industrial.[17]

En el estudio de Karaman, C. investigó el rendimiento de la biosorción de arsénico (V) en agua utilizando un carbono poroso similar al grafeno (GPC) fabricado a partir de cáscara de naranja (OP). Se evaluaron diferentes condiciones experimentales, como pH inicial, concentración inicial de As(V), dosis de biosorbente y tiempo de contacto, para optimizar el proceso de biosorción. Los GPCs sintetizados mostraron una alta eficiencia de eliminación del 88.2% a un pH inicial de 6.0, una concentración inicial de As(V) de 100 mg/L y una dosis de biosorbente de 2.0 g/L. Además, se desarrolló un modelo de red neuronal artificial (ANN) de tres capas para pronosticar el rendimiento de biosorción de As(V) de los GPCs. El modelo de ANN fue validado con datos experimentales y mostró una alta precisión en la estimación de la variable objetivo. Este modelo de ANN puede ser útil para la optimización de las condiciones del proceso a escala piloto del proceso de biosorción de As(V) por GPC. [18]

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis publicada “Bioadsorción de Cu (II), de aguas residuales mineras, con Cochayuyo (*Chondracanthus chamissoi*)” (Arequipa, Perú), los autores abordaron el estudio del proceso de bioadsorción para la eliminación del ion cobre (II), presente en un efluente minero, haciendo uso del cochayuyo (*Chondracanthus Chamissoi*) residual del litoral sur peruano (provincia Islay), demostraron que al aumentar el pH y la masa del adsorbente, el rendimiento de adsorción aumentó, logrando conseguir una eficiencia de adsorción del 46.3%,

reduciendo la concentración inicial del efluente desde 2.9061 mg/L hasta 1.56 mg/L. [11]

En el artículo científico “Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial” (Trujillo, Perú), el autor realizó un estudio sobre la remoción de metales pesados en una determinada localización del río Moche (RMoch6) mediante el biopolímero quitosano comercial, obteniendo como resultados que para remover el mayor porcentaje de plomo, aluminio y cadmio las concentraciones del quitosano deben ser 7,83g, 7,75g y 8,83g y un tiempo de 90 min.[19]

En el informe científico “Evaluación de la capacidad de bioabsorción de plomo por hongos filamentosos nativos del relave minero de Ticapampa (Recuay, Ancash)” (Lima, Perú) los autores determinaron la capacidad de bioabsorción de plomo con biomasas fúngicas aisladas del relave minero de la localidad de Ticapampa (Provincia de Recuay, Región Ancash); los resultados de este informe indicaron que las cepas fúngicas de 0.1M, 0.2M y 0.4M resultaron ser los biosorbentes más efectivos para la remoción de plomo. Los autores identificaron estas cepas fúngicas como: *Talaromyces flavus*, *Talaromyces muroii* y *Penicillium velutinum* respectivamente, siendo la especie *Talaromyces muroii* de mayor eficacia en el proceso de bioabsorción de plomo, logrando una remoción del 94.85% equivalente a 189.7 mg/L de plomo removido a las 6 horas de sorción y a un pH de 6. [20]

El propósito del estudio “Adsorción de arsénico de aguas subterráneas utilizando óxido de hierro a diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio”, fue examinar cómo la concentración de hipoclorito de calcio afecta la capacidad de adsorción de arsénico utilizando óxido de hierro como medio adsorbente en aguas subterráneas. Se llevaron a cabo experimentos en un reactor batch con distintas dosis de hipoclorito de calcio y se utilizó limadura de hierro oxidada como adsorbente. Los resultados indicaron que la eliminación de arsénico fue mayor con dosis más altas de hipoclorito de calcio, aunque el mejor resultado se logró con 15 mg/L, logrando una eliminación del 94,92%. Se diseñó un filtro casero para tratar el agua contaminada de manera continua, logrando una

eliminación del 98,07% y un nivel de arsénico de 1,86 $\mu\text{g/L}$. Como resultado, se concluyó que el óxido de hierro es un buen adsorbente químico para el arsénico y se produjo agua con niveles por debajo del máximo permitido. Además, se observó que la eficiencia de eliminación presenta una curva con un nivel máximo con dosis más altas de hipoclorito de calcio. [21]

En el trabajo de investigación “Adsorción de Arsénico (V) Con Biomasa de Sacha Inchi por Columnas de Lecho Fijo” se muestran los resultados de pruebas de adsorción de arsénico (As^{+5}) utilizando cáscara de Sacha Inchi recubierta con óxidos de hierro (BCSIR) en columnas de lecho fijo. Se analizó el rendimiento de la columna variando la altura del lecho (3 cm y 6 cm) y la concentración inicial de entrada (0.1 mg/L y 0.3 mg/L) para determinar la influencia de estos factores en la capacidad de adsorción. Los resultados indicaron que, al aumentar la concentración de entrada, la capacidad de adsorción también aumentó, y que una mayor altura del lecho adsorbente proporcionó un mejor rendimiento. Además, se encontró que la capacidad de adsorción fue superior al 47% en todos los casos. Se utilizó el modelo de Thomas para ajustar los datos experimentales en función del tiempo, el cual describe la curva de ruptura, y se demostró que este modelo se ajusta adecuadamente a los datos experimentales. [22]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Adsorción

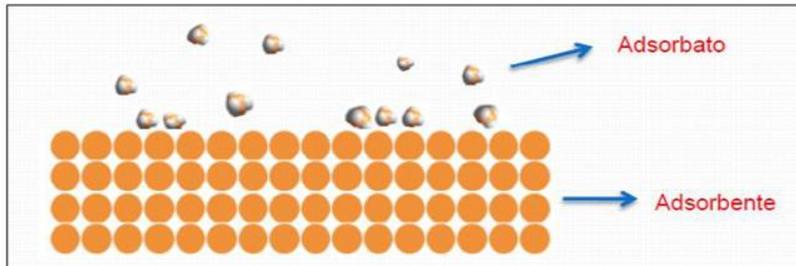
La adsorción es un proceso de transferencia de masa que consiste en un fenómeno de sorción de gases o solutos por superficies sólidas o líquidas.[23]

Proceso de adsorción. La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente" tal como se puede apreciar en la figura 1. El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción. No debe confundirse con la Absorción ya que la característica que las distingue es que en un proceso de adsorción el fluido no se incorpora al volumen del material, sino que es retenido en su superficie y en

la absorción las moléculas o átomos de una fase penetran casi uniformemente en los de otra fase constituyéndose una "solución" con esta segunda. [24]

Figura 1

Proceso de adsorción



Fuente: Kaiser (1881)

Tipos de adsorción. Existen 3 tipos de adsorción:

Adsorción por intercambio: Ocurre cuando los iones de la sustancia se concentran en una superficie como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie. [25]

Fisorción o Adsorción Física: Ocurre por fuerzas del tipo Van Der Waals, entre un átomo o una molécula y la superficie. A este tipo de interacción que ocurre sin modificación alguna de la molécula se le ha llamado adsorción física. [25]

Quimisorción o Adsorción Química: Si una molécula con afinidad hacia las valencias libres en la superficie de un sólido se acerca lo suficiente, se producirá un re-arreglo electrónico con el sistema tal como se observa en una reacción química. El resultado es la fijación de la molécula en la superficie a través de una adsorción química o quimisorción. [25]

Bioadsorción. Proceso de adsorción sobre una biomasa viva o muerta. Este proceso tiene como propósito eliminar sustancias contaminantes en aguas residuales, con un mayor enfoque en la eliminación de metales pesados y utilizando biomásas vivas o muertas. En el caso de las biomásas vivas estudios recientes indican que presentan una amplia variedad de mecanismos para la

acumulación de metales pesados, sin embargo, las biomasas muertas también resultan ser más eficientes en la remoción de metales pesados, evitando el complemento de nutrientes y eliminando el problema de toxicidad. [21]

2.2.2. Pasivos ambientales mineros

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. Los pasivos ambientales mineros son resultado de un mal cierre de mina. En el artículo 3 de la ley N°28271 del 2004 se menciona que la identificación y actualización del inventario del registro de pasivos ambientales mineros se encuentra a cargo del órgano técnico competente del ministerio de energía y minas. El inventario se viene actualizando desde el 2006 hasta el 2022, habiéndose este último año declarado un total de 6903 pasivos ambientales mineros. [26]

Los pasivos ambientales pueden ser generados por residuos mineros producto de los diferentes procesos que se dan para la extracción del mineral. En la guía ambiental para el manejo de relaves mineros se menciona que los residuos pueden ser sólidos y líquidos generados por la concentración y cianuración. Relaves derivados de la extracción de metales preciosos como oro, plata, metales básicos como cobre plomo zinc; los cuales predominan en la industria minera peruana. A partir de los minerales polimetálicos se extraen una amplia gama de metales y usualmente altos en minerales sulfurados tales como la pirita. En territorio peruano los relaves polimetálicos normalmente contienen de 10 a 60% de pirita. [26,27]

En la guía ambiental de manejo de agua en operaciones minero metalúrgicas, se tiene en cuenta como fuentes potenciales de descargas al drenaje de la mina, en esta etapa de operación se eliminan grandes cantidades de agua que pueden contener una alta concentración de metales y por lo tanto contaminar aguas superficiales, otra fuente potencial serían las operaciones durante el proceso de beneficio, el efluente del proceso puede ser depositado en canchas de relave donde los contaminantes se pueden lixiviar contaminando las aguas

superficiales o subterráneas o ser transportadas a corrientes y áreas adyacentes mediante escorrentía superficial. Los depósitos mineros incluyen pilas de desecho, canchas de relave y pozas de agua residual, estos depósitos pueden contribuir a la contaminación del agua mediante la generación de drenajes ácidos de minas. [28]

El drenaje ácido de mina (DAM) resulta de la oxidación de minerales sulfurosos en la roca cuando son expuestos al agua y al aire, a menudo la generación del DAM puede ser acelerada por la actividad biológica particularmente el *phio**bacillus ferrooxidans* que se desarrolla vigorosamente en medios de pH bajo, teniendo como fuente escorrentías de labores mineras, atajo abierto y canchas de relave. [28]

Tratamiento de agua de pasivos ambientales mineros. Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano. [29] En el caso de aguas provenientes de pasivos ambientales mineros se hace más necesario el tratamiento por su alto contenido de metales.

Tratamiento activo del agua. Son aquellos procesos que requerirían una operación continua por el hombre tal como en una planta de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo: neutralización, filtración, osmosis inversa, intercambio iónico y ablandamiento químico. Es la forma más común de tratamiento de agua en las minas en funcionamiento. [28]

Tratamiento pasivo del agua. Los sistemas pasivos son una tecnología efectiva y limpia para controlar la contaminación de efluentes líquidos en instalaciones mineras, especialmente en el tratamiento de aguas ácidas de minas de carbón y minería metálica. Para ampliar su uso, se deben abordar temas críticos como el comportamiento de diferentes materiales en la barrera, procesos geoquímicos y eficiencia reactiva. Además, son ideales para drenajes ácidos en zonas mineras abandonadas debido a su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento en comparación con los sistemas convencionales, lo que los convierte en tecnologías emergentes. [30]

Biorremediación. Se basa en el uso de microbios para limpiar aguas subterráneas y suelos contaminados la biorremediación estimula el crecimiento de determinados microbios que usan los contaminantes como fuente de alimento y energía. [31]

Biorremediación mediante microorganismos. La capacidad de oxidar el As (III) aeróbicamente se ha detectado en especies del género *Aspergillus Níger*. Sin embargo, en condiciones anaeróbicas, la oxidación de As (III) a As (V) no es un proceso estrictamente específico y pueden ser llevadas a cabo por microorganismos Gram-positivos y Gram-negativos. Existen diferentes mecanismos que utilizan los microorganismos para lograr la inmovilización del metal, como la biosorción, bioacumulación, biomineralización, biotransformación y quimisorción. En esta tesis nos enfocamos en la biotransformación. [32]

Biotransformación. Conversión de una sustancia en otros compuestos por organismos; incluye la biodegradación. [33]

Aspergillus. Es un hongo filamentoso hialino ampliamente distribuido. Se han identificado alrededor de 900 especies, clasificado en 18 grupos. Esto se basa en las características morfológicas del hongo, como el tamaño y la forma de las cabezas conidiales, la morfología de los conidióforos, fiálides y métulas, y la presencia de células de Hülle y esclerocios. [34]

Aspergillus Níger. Es una especie de hongo que crece rápidamente en agar Sabouraud a 25°C, originando colonias blancas que cambian a amarillas y adquieren un aspecto de pimienta negra a medida que se producen conidios. A nivel microscópico, las hifas de este hongo presentan tabiques y las paredes del conidióforo son lisas e incoloras, mientras que las vesículas son esféricas y generan conidios negros o marrones, cuyas paredes son gruesas y rugosas. [35]

El patrón de crecimiento del hongo sugiere desarrollo de tolerancia y adaptación en la presencia de los metales evaluados. 1mM de cada sal metálica efectuará el crecimiento del hongo iniciando a las 24 horas, y para 5mM dará inicio a las 72 horas. Considerando que la fase lag (latencia) se da antes de las 24 horas. [36]

Sembrar o inocular es agregar una porción de muestra (inóculo) en un medio adecuado, con la finalidad de crear un cultivo microbiano generando así el desarrollo y multiplicación. Luego de la siembra se procede a incubar el medio de cultivo a una temperatura óptima para su crecimiento. Para realizar la siembra por estría, se vierte sobre una placa de Petri el medio de cultivo fundido y se deja solidificar. [37]

La temperatura del medio de adsorción podría ser importante para los mecanismos dependientes de la energía en la biosorción de metales por microorganismos. Es menos probable que los mecanismos independientes de la energía se vean afectados por la temperatura, ya que el proceso responsable de la biosorción es en gran medida de naturaleza fisicoquímica. [16]

2.2.3. Comportamiento del arsénico en aguas superficiales.

El arsénico se halla en aguas superficiales como especie disuelta presentándose en forma de oxianiones, formando sales, o formando una base fuerte y en algunos casos formando un ácido débil, en estos casos el arsénico se encuentra como arsénico trivalente As (III). [38]

El óxido arsenioso es por lo general muy poco soluble en medio acuoso, en algunos casos logra formar un ácido débil arsenioso como se describe en la reacción (1) caso muy diferente es el óxido de arsénico (III) que no se disuelve en agua, pero si se logra disolver en una solución diluida de hidróxido de sodio (2N) tal como indica la reacción (2):



El arsénico tiende a disolverse en ácido nítrico diluido formando el óxido arsenioso que en presencia de agua termina formando un ácido débil arsenioso tal como indica la ecuación (3). [38,39]

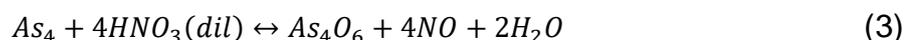
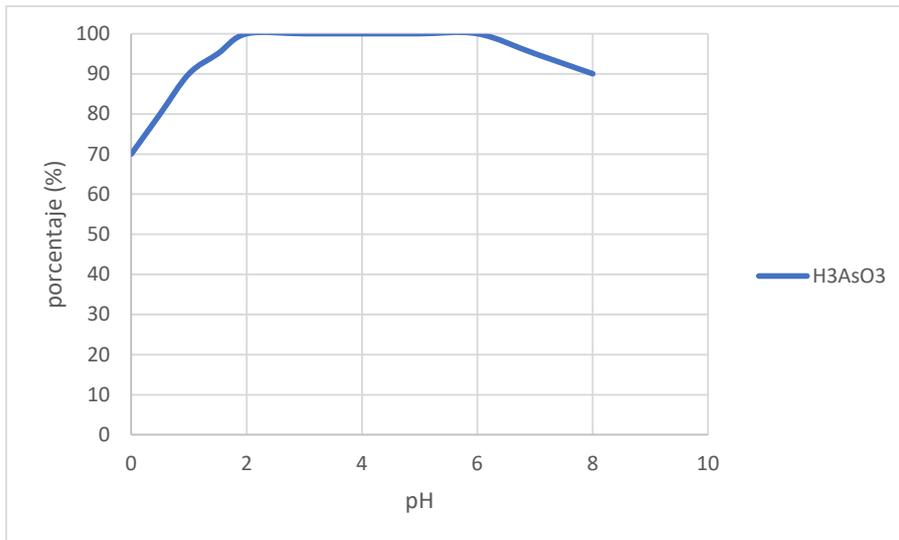


Figura 2

Presencia de As(III) con pH



Fuente: Tomado de M. Litter, A. Sancha, y A. Ingallinella. (2010) [38,39,40]

En la figura se observa el porcentaje de la especie de As (III) en medio acuoso vs la función de pH línea de color azul.

2.2.4. Muestreo ambiental. El muestreo ambiental consiste en tomar muestras representativas que permitan caracterizar el componente ambiental en estudio, las cuales presentan las mismas características o propiedades del componente que se está evaluando. Las muestras tomadas son enviadas a un laboratorio acreditado. [41]

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) describe las técnicas de muestreo a realizarse de manera puntual y/o compuesta, y comprende la recolección, análisis y evaluación sistemática en un determinado espacio y tiempo. Esta técnica depende del objetivo del estudio, las condiciones ambientales en el sitio, los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras entre otros factores.

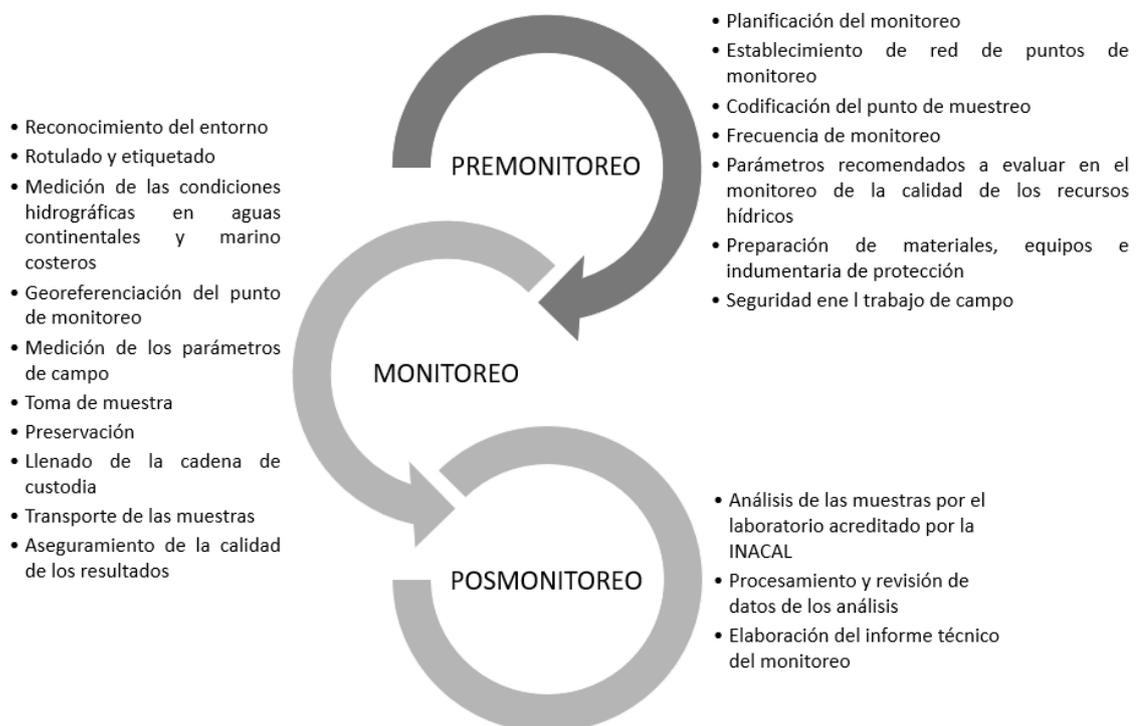
Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. El Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales es de uso obligatorio a nivel nacional para el monitoreo de la calidad ambiental del agua de los cuerpos de agua tanto continentales (ríos,

quebradas, lagos, lagunas, entre otras) como marino-costeros (bahías, playas, estuarios, manglares, entre otros) en cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos. En el capítulo 6, considera la logística mínima necesaria, planificación, ejecución y aseguramiento de la calidad del muestreo. De acuerdo con el protocolo para este trabajo se considera un tipo de muestra simple o puntual. [42]

Planificación del monitoreo. Los pasos que se dan en cada una de las etapas para la planificación del monitoreo son vitales para asegurar que la muestra a analizar en el laboratorio cumpla con los requerimientos analíticos.[42]

Figura 3

Planificación del monitoreo



Fuente: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

Tabla 1

Parámetros recomendados

Parámetros	Categoría 3
Parámetros de campo	pH, T, Conductividad, OD
Parámetros químicos- físicos	DBO5, Aceites y Grasas, N-NO ₃ , Sulfatos, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg Mn, Ni, Pb, Zn)
Parámetros microbiológicos	Coliformes Termotolerantes.

Fuente: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

Las muestras acuosas encontradas en el pasivo ambiental minero de Ticapampa corresponden según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales a la categoría 3. Son parámetros recomendados para aguas superficiales.

2.3. Marco Conceptual

El *Aspergillus Níger* es un hongo que puede remover elementos tóxicos en concentraciones tanto altas como bajas, sin embargo, existe evidencia que sugiere que su capacidad para remover metales pesados es mayor en concentraciones altas; esto se debe a que el *Aspergillus Níger* produce una serie de enzimas y ácidos orgánicos que pueden solubilizar los metales pesados y hacerlos más accesibles para el proceso de adsorción. [43] Por lo tanto se espera una remoción de arsénico (III) en el PAM de Ticapampa utilizando el *Aspergillus Níger*.

En el distrito de Ticapampa, departamento de Ancash provincia de Recuay y Aija se ubica el PAM declarado cómo tal en la R.M. N° 335-2022-MINEM/DM. La relavera se halla en la localidad de Ticapampa, en una franja de terreno entre la carretera a Huaraz y el Río Santa, estos relaves se encuentran acumulados en

una plataforma de varios niveles. Los relaves son antiguos y proceden del tratamiento de minerales polimetálicos de Pb, Ag y Zn formando taludes erosionados por las lluvias como consecuencia se generan drenajes ácido de minas, erosión de desechos tóxicos y depósitos de relaves, los cuales pueden contener arsénico entre otros elementos tóxicos.

La adsorción de elementos tóxicos mediante microorganismos depende de varios parámetros, entre ellos el pH, tiempo de remoción, concentración del analito [14]; si varían alguno de estos parámetros, la adsorción de arsénico y por lo tanto su remoción en el análisis final será diferente.

La adsorción de arsénico se ve favorecida cuando se trabaja con óxido de hierro cubriendo la biomasa, según reporta Santos, Erik [14]; obteniendo hasta un 66% de remoción a pH 6 en un tiempo de remoción 24 horas, en aguas contaminadas, por lo tanto es de esperar que la remoción de arsénico (III) con biomasa modificada usando óxido de hierro para el *Aspergillus Níger* tenga valores de remoción elevados.

Los microorganismos se reproducen en diferentes medios de cultivo, para el caso del *Aspergillus Níger*, Gladys; utilizó una cepa de *A. Níger BM-56* en un medio de cultivo que contiene en 1 litro de solución: 3g de NaNO₃; 1g de K₂HPO₄; 0.5g de MgSO₄.7H₂O; 0.5g de KCl y 10 g de glucosa, para remover cromo (VI) en soluciones acuosas de concentración 0.1; 0.5 y 1 ppm y a pH 5.5 inoculados con 5ml de suspensión de conidios de *Aspergillus Níger*, logrando remover el 100% en todas las concentraciones ensayadas. [16] Por lo que nuestro trabajo utiliza esta propuesta de medio de cultivo.

Para medir la concentración de elementos a nivel traza se utilizan técnicas espectrométricas como la de absorción atómica (AA) y los de ionización por inducción de plasma (ICP), siendo el último el que permite analizar concentraciones bajas de arsénico como mínimo 0.004 mg/L por lo tanto los límites de detección que nos ofrece este método resultan de gran interés para el análisis de nuestro trabajo.

En este trabajo de investigación se utiliza el método de bioadsorción con biomasa modificada de *Aspergillus Níger*, teniendo como parámetros el pH, la concentración inicial de arsénico (III) en la muestra y el tiempo de remoción de arsénico.

2.4. Definición de términos básicos

Biosorción: Este proceso se refiere a la captación de metales pesados en estado iónico por medio de una biomasa viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos, como la adsorción y el intercambio iónico, cuando se utiliza biomasa viva, los diferentes procesos metabólicos. [28]

Estándares de Calidad Ambiental (ECA): Los ECA son las medidas que establecen el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. [33]

Arsénico: Elemento de la tabla periódica considerado metaloide, altamente tóxico, presente en aguas superficiales como especie disuelta presentándose en forma de oxianiones. [44]

Muestreo de agua: Es una herramienta de monitoreo. Su función básica es la extracción de una parte del cuerpo de agua para determinar sus características y condiciones actuales. [42]

Muestra simple o puntual: A este tipo de muestra también se le denomina discreta consiste en la toma de una porción de agua en un punto o lugar determinado para su análisis individual, representan las condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua para el lugar tiempo y circunstancias particulares en el instante en que se realizó su recolección. [42]

Aspergillus Níger modificado: El *Aspergillus Níger* modificado con nitrato férrico es una cepa genéticamente modificada que produce más enzimas utilizando el nitrato férrico como fuente de nitrógeno. Esta modificación mejora su capacidad para producir enzimas en condiciones de cultivo específicas y tiene aplicaciones en la producción de enzimas industriales. El uso de nitrato férrico

como fuente de nitrógeno puede ser una alternativa sostenible y rentable a otras fuentes de nitrógeno. [14]

Inóculo: Un inóculo se puede definir como la población de microorganismos o células que se introduce en el medio de fermentación o cualquier otro medio adecuado. [45]

Biomasa: Es la cantidad de materia viva proporcionada por un área dada o volumen de la superficie terrestre (terrestre o acuático). [46]

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis (general y específicas)

Hipótesis general

La bioadsorción de arsénico (III) del agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash, mediante *Aspergillus Níger* modificado supera el 80% de remoción de arsénico.

Hipótesis específicas

El pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash tiene características fisicoquímicas que no cumplen con el estándar de calidad ambiental. (Categoría 3 -inorgánicos)

Las concentraciones del pasivo ambiental, pH y el tiempo de remoción influyen en la bioadsorción de arsénico (III).

3.1.1. Operacionalización de variable

Variable dependiente

F(X) = Bioadsorción de arsénico (III) en el agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash mediante *Aspergillus Níger* modificado.

Variables independientes

X 1 = Características fisicoquímicas del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash.

X 2 = Parámetros de Bioadsorción de arsénico (III) con *Aspergillus Níger* modificado.

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	MÉTODO	TÉCNICA
Bioadsorción de arsénico (III) en el agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado.	Proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones. [25]	Proceso que permite la reducción de As (III) por bioadsorción con <i>Aspergillus Níger</i> modificado.	Remoción del arsénico (III)	Porcentaje de remoción $\frac{[As]_0 - [As]_{tm}}{[As]_0} * 100\%$	Matemático	ICP
Características fisicoquímicas del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash.	Las características que proveen información sobre la calidad del agua superficial del pasivo ambiental minero. [13]	Características fisicoquímicas del agua superficial del pasivo ambiental minero de Ticapampa	Elementos químicos	Concentración	Instrumental	ICP
			pH	pH	Instrumental	Potenciométrico
Parámetros de Bioadsorción de arsénico (III) con <i>Aspergillus Níger</i> modificado.	A concentraciones altas de Arsénico (III) la remoción es mucho mayor que a concentraciones bajas, considerando que a pH ácido la bioacumulación de arsénico es mucho más factible, teniendo esta influencia en el tiempo de remoción que tiende a ser menor. [11,36,43]	Valores de concentración de arsénico (III), pH, tiempo de remoción para la bioadsorción de arsénico (III) en el pasivo ambiental de Ticapampa- Ancash.	Concentración de As (III)	0.841	Volumétrico	Volumétrico
				1.702		
			pH	4	Instrumental	Potenciométrico
				6		
				43		
Tiempo de remoción (horas)	67	Cronométrico	Cronómetro			
	91					
	112					

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La presente investigación en función de su propósito es aplicada, puesto que propone una nueva técnica para la adsorción de arsénico (III).

Por su nivel es explicativa, porque explica la influencia del tratamiento (pH, concentración de arsénico y tiempo de remoción) para disminuir la concentración de arsénico (III) en el pasivo ambiental Ticapampa- Ancash.

Por su diseño es experimental, ya que se manipula y controla variables independientes que influyen en la variable dependiente.

Por la naturaleza de los datos y la información, es cuantitativa, usa datos para comprobar la hipótesis.

La notación de factores se muestra en la tabla 3. Los niveles para el pH son 2 (4 y 6), los niveles para concentración inicial de arsénico son 2 (0.841 ppm y 1.702 ppm) y los niveles para el tiempo de remoción son 4 (43; 67; 91 y 112 horas).

El diseño experimental de variables se muestra en la tabla 4.

Tabla 3

Variables independientes y niveles de experimentación

Variable Independiente	Unidades	Notación	Niveles			
pH	-	X1	4	6		
Concentración inicial de arsénico	ppm	X2	0.841	1.702		
Tiempo de remoción	horas	X3	43	67	91	112

Tabla 4*Matriz de experimentación*

N° de experimentos	pH	Concentración (ppm)	Tiempo(horas)	% Remoción de As (III)
1	4	0.841	43	Y1
2	6	0.841	43	Y2
3	4	1.702	43	Y3
4	6	1.702	43	Y4
5	4	0.841	67	Y5
6	6	0.841	67	Y6
7	4	1.702	67	Y7
8	6	1.702	67	Y8
9	4	0.841	91	Y9
10	6	0.841	91	Y10
11	4	1.702	91	Y11
12	6	1.702	91	Y12
13	4	0.841	112	Y13
14	6	0.841	112	Y14
15	4	1.702	112	Y15
16	6	1.702	112	Y16

El experimento básico se realizó con 16 tratamientos (3 factores, 2 niveles para pH y concentración de As y 4 niveles para el tiempo).

4.2. Método de investigación

El método de investigación consta de 3 etapas:

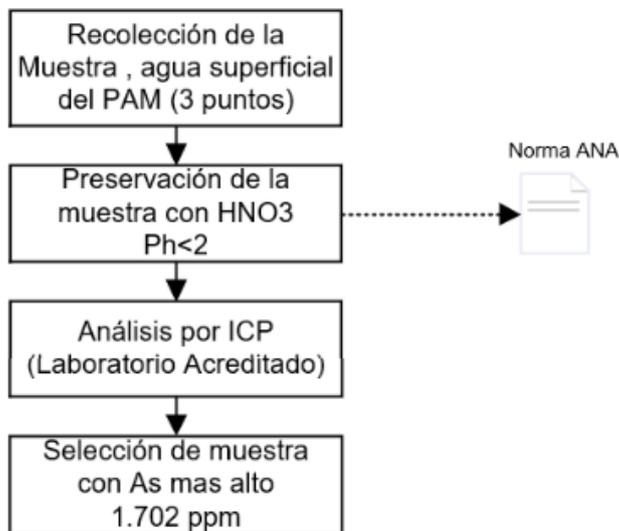
- Etapa 1: Recolección y caracterización de la muestra.
- Etapa 2: Adquisición de *Aspergillus Níger* y su acondicionamiento.
- Etapa 3: Bioadsorción y evaluación de arsénico residual en la muestra tratada.

Etapa 1: Recolección y caracterización de la muestra

Se tomó una muestra puntual acuosa del pasivo ambiental de Ticapampa (E-03), se registraron pH y Temperatura, se siguió con el protocolo de la ANA para preservar la muestra para su análisis en Lima. Se acidifica a pH <3 con HNO₃ y se almacenaron en recipientes de polietileno de alta densidad (PE-HD). [14] Parte de la muestra es enviada al laboratorio acreditado MINLAB para su respectiva caracterización, el resto de la muestra es utilizada para la etapa de bioadsorción y evaluación de arsénico residual. En la figura 4 se muestra el proceso de la recolección de la muestra y su caracterización.

Figura 4

Recolección y caracterización de la muestra (PAM Ticapampa)



Nota: La recolección de la muestra se realizó en el mes de enero 2023 en la cual fue preservada con ácido para su posterior análisis en laboratorio.

En la figura 5 se observa la preservación de la muestra con ácido nítrico pH <2.

Figura 5

Preservación de la muestra E-03



Etapa 2: Adquisición de Aspergillus Níger y su acondicionamiento

Esta etapa describe desde la adquisición y activación de la cepa *Aspergillus Níger* hasta la preparación de *Aspergillus Níger* modificado con óxido de hierro, etapa previa al proceso de bioadsorción.

- Adquisición de la cepa *Aspergillus Níger* (AN) activada: La cepa de *A. N.* activada, fue proporcionada por el laboratorio de Micología de la Facultad de Microbiología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Figura 6

Cepa Aspergillus Níger (AN) activada



- Sembrado de *Aspergillus Níger* en placas Petri: El sembrado de AN en las placas Petri se realiza por el método de estrías en agar Sabouraud glucosado a partir de la cepa activada.

Figura 7

Placas sembradas con Aspergillus Níger



- Preparación del medio de cultivo: Para un litro de solución, se agrega 3 gramos de NaNO_3 , 1 gramo de K_2HPO_4 , 0.5 gramos de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 gramos de KCl y 10 gramos de glucosa; y se enraza con agua destilada. El medio de cultivo fue agitado en un agitador rotatorio durante tres horas, a una temperatura ambiente de 28°C y una velocidad de 250 rpm. [16] Para garantizar la esterilización del material de trabajo, se sometió a un proceso de autoclave a una temperatura de 121°C .

Figura 8

Esterilización de medio de cultivo



- Raspado de *Aspergillus Níger* obtenido de las placas: Las esporas del *Aspergillus Níger* se extrajeron de las placas petri mediante raspado con un aza de siembra 10 uL/needle el raspado se coloca en un vaso precipitado que contiene el medio de cultivo. Posteriormente, se homogenizó la solución.

Figura 9

Raspado de Aspergillus Níger



- Crecimiento de la biomasa: Luego de la agitación se deja en reposo el medio de cultivo que contiene el *Aspergillus Níger* por 7 días a temperatura ambiente.

Figura 10

Biomasa con Aspergillus Níger



- Preparación de biomasa modificada: Se utilizó una base compuesta por 20 mL de biomasa fúngica (obtenida del proceso anterior). A esta base se le añadieron 80 mL de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 2M y 1 mL de NaOH 10M. La solución se homogenizó en un vaso precipitado con agitación de 100 rpm durante 15 minutos, y posteriormente se incubó durante 3 horas a temperatura ambiente de 28°C. [14]

Figura 11

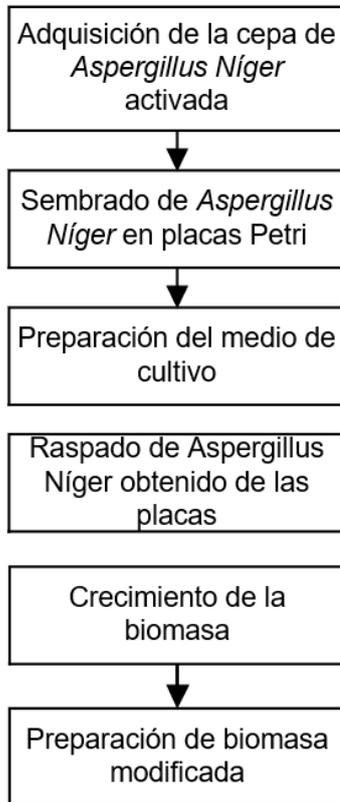
Biomasa modificada con óxido de hierro agitación 100rpm



La Figura 12 muestra la adquisición de *Aspergillus Níger* y su acondicionamiento. esta incluye adquisición de la cepa *Aspergillus Níger* (AN) activada, sembrado de *Aspergillus Níger* en placas petri, preparación del medio de cultivo, raspado de *Aspergillus Níger* obtenido de las placas, crecimiento de la biomasa y preparación de biomasa modificada.

Figura 12

Adquisición de A.N. y su acondicionamiento



Nota: Se observó un buen crecimiento de biomasa favoreciendo al hongo *Aspergillus Níger*

Etapa 3: Bioadsorción y evaluación de arsénico residual en la muestra tratada

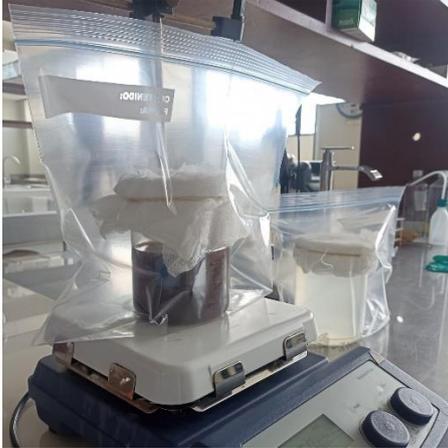
En esta etapa se detalla desde el proceso de bioadsorción de arsénico (III) con *aspergillus Níger* modificado hasta la evaluación del arsénico residual en la muestra tratada.

- Bioadsorción: Se toma una alícuota de 100ml del medio de cultivo previamente descrito en la etapa 2, se añade 10ml de solución de *Aspergillus Níger* modificado y se completa a 500 ml con muestra acuosa del agua superficial del PAM Ticapampa a una concentración de acuerdo con el diseño experimental. Se ajusta el pH de acuerdo con el diseño

experimental, manteniendo una agitación constante de 600 rpm durante 3 horas y a temperatura ambiente.

Figura 13

Bioadsorción



Nota: Se lleva a cabo la agitación del medio de cultivo, *Aspergillus Níger* modificado y la muestra con arsénico.

Figura 14

Bioadsorción de la muestra a pH 6



- Sedimentación: Se deja en reposo las muestras tratadas en el paso anterior, para separar las fases que se forman.

Figura 15

Sedimentación de las muestras



- Centrifugación: Se toman alícuotas de 100ml de la fase sobrenadante en diferentes periodos de tiempo 43, 67, 91 y 112 horas de acuerdo con el diseño experimental, obteniendo en total 16 muestras. Cada una, se lleva a centrifugar por 15 min a 4000 rpm.

Figura 16

Muestras centrifugadas



- Análisis de las muestras tratadas mediante ICP: Cada muestra tratada se ajusta a pH (1-2) para su preservación y ser enviadas al laboratorio acreditado para el respectivo análisis de arsénico por ICP.

Figura 17

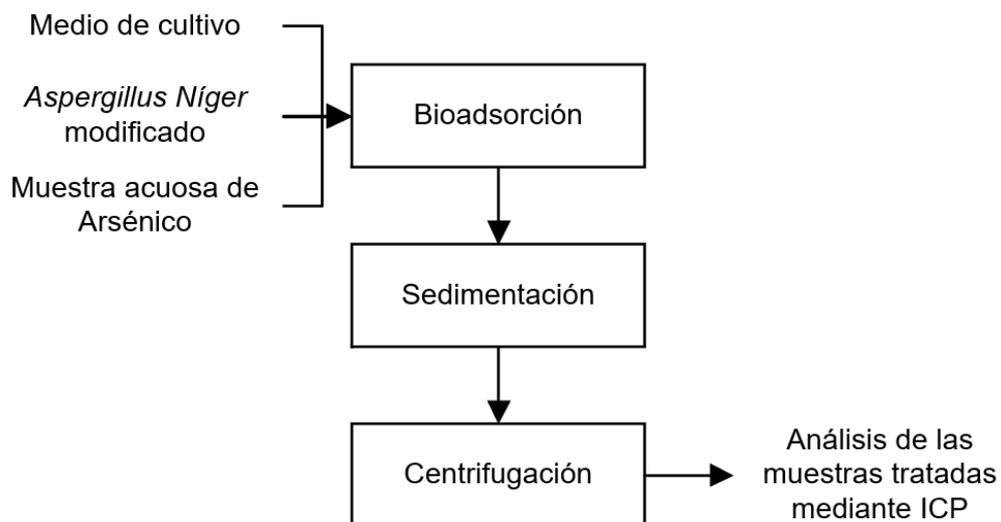
Preservación de la muestra a pH<2



La Figura 17 muestra la bioadsorción y evaluación de arsénico residual en la muestra tratada. Esta etapa incluye la bioadsorción, sedimentación, centrifugación y análisis de las muestras tratadas por ICP.

Figura 18

Bioadsorción y evaluación de arsénico residual en la muestra tratada



4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Para el presente trabajo se utilizó 10 L de agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash obtenido de acuerdo con el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua, para muestras puntuales. [42]

4.3.2. Muestra

La muestra para el tratamiento está constituida por 390 mL de solución acuosa (agua superficial) del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Las corridas experimentales de la investigación se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao en los meses de febrero y marzo de 2023.

La caracterización de la muestra del pasivo ambiental y el análisis de arsénico residual en las muestras experimentales se realizaron en un laboratorio acreditado.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos de la información

4.5.1. Técnicas para la recolección de información

Etapa 1: Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado (arsénico) de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, acidificamos a pH (1-2) con ácido nítrico recolectando la muestra en un envase de PE-HD. Para su posterior análisis por ICP en el laboratorio MINLAB.

Etapa 2: Realizamos sembrado por estrías en placas petri esterilizadas a partir de la cepa activada de *Aspergillus Níger*. La esterilización del medio de cultivo se realiza en la autoclave evitando la contaminación del medio. La modificación de *Aspergillus Níger* por óxido de hierro se realiza tomando una alícuota del medio de cultivo con mucho cuidado evitando tomar algún material sólido, al agregar el óxido de hierro y el NaOH considerar en agitación constante.

Etapa 3: El tiempo fue medido con cronometro (horas). En la bioadsorción se observa la formación de 2 fases, por lo cual hacemos uso del equipo de centrifugación. Para la preservación de la muestra según Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, acidificamos a pH (1-2) con ácido nítrico controlando su pH con el potenciómetro. Las muestras fueron refrigeradas para luego ser enviadas para su análisis por ICP en el laboratorio MINLAB. La data recolectada se realizó en tablas.

4.5.2. Equipos y materiales

Figura 19

Medidor de pH Lab 855



Figura 20

Conductímetro Ultrameter II 6PFC



Figura 21

Balanza Analítica Eurolab



Figura 22

Agitador magnético (Digital Ceramic Hot Plate stirrer)



Figura 23

Autoclave Analógica vertical - QUIMIS Q190-2



Figura 24

Centrífuga refrigerada de gran capacidad - BIOBASE



Equipo de Plasma de acoplamiento inductivo (ICP) – MINLAB

Materiales de laboratorio

Vasos de 500ml, baguetas, termómetro, mechero de Bunsen, trípode y rejilla, placas petri descartables, aza de siembra descartables, gasa esterilizada, bolsas zic ploc, galoneras esterilizadas y respiradores de pieza facial filtrantes.

Reactivos

Agar Sabouraud Glucosado, HNO_3 , NaNO_3 , K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KCl , Glucosa, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, NaOH y *Aspergillus Níger*.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Para la caracterización de las muestras del pasivo ambiental se utilizó equipo de detección ICP, para la evaluación de la influencia los parámetros de bioadsorción de As (III) mediante la biomasa modificada de *Aspergillus Níger* se utiliza estadística inferencial. Y para determinar la eficiencia de bioadsorción de As (III) mediante *Aspergillus Níger* modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash, se realiza un análisis descriptivo exploratorio.

4.7. Aspectos éticos en la investigación

El presente trabajo de investigación es experimental y a nivel de laboratorio; se desarrolla mostrando originalidad y utilidad, siguiendo los principios de ética de investigación, por lo que se procedió a realizar las corridas experimentales

siguiendo las buenas prácticas para la obtención de la data. Así mismo, para el análisis fisicoquímico se utilizaron los servicios de un laboratorio externo con equipos certificados.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Las tablas 5 y 6 muestran la caracterización del agua superficial del PAM Ticapampa. En la tabla 5 se observa la concentración en mg/L de los principales elementos tóxicos que fueron obtenidos mediante la técnica de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) en el laboratorio MINLAB. La tabla 6 muestra las características de temperatura, pH, conductividad, DBO₅ y la cantidad de aceites y grasas presentes en el agua superficial del PAM-Ticapampa.

Tabla 5

Caracterización de la solución acuosa del PAM

Elemento	mg/L
1. Arsénico	1.702
2. Cobre	0.011
3. Mercurio	0.004
4. Plomo	0.039
5. Zinc	0.466

Tabla 6

Características fisicoquímicas del PAM-Ticapampa

Ensayo	Unidad
Temperatura	16 °C
pH	5.5
Conductividad	1019 us/cm
DBO ₅	80.3 mg/L
Aceites y Grasas	1.0 mg/L

La Tabla 7 muestra los resultados de la concentración final de arsénico (III) en las muestras tratadas, así como el cálculo del porcentaje de remoción de las 16 muestras según el diseño experimental.

Tabla 7

Porcentaje de remoción de As (III) en función de la concentración inicial de As, Ph y tiempo de remoción

N° de experimentos	pH	Tiempo de remoción (h)	Concentración As inicial	Concentración As final	% Remoción de As
1	4	43	0.851	0.045	94.71%
2	6	43	0.851	*0.004	99.53%
3	4	43	1.702	0.011	99.35%
4	6	43	1.702	0.031	98.18%
5	4	67	0.851	*0.004	99.53%
6	6	67	0.851	0.004	99.53%
7	4	67	1.702	0.005	99.71%
8	6	67	1.702	*0.004	99.76%
9	4	91	0.851	*0.004	99.53%
10	6	91	0.851	*0.004	99.53%
11	4	91	1.702	*0.004	99.76%
12	6	91	1.702	*0.004	99.76%
13	4	112	0.851	0.022	97.41%
14	6	112	0.851	*0.004	99.53%
15	4	112	1.702	0.006	99.65%
16	6	112	1.702	*0.004	99.76%

Nota: *concentraciones menores a 0.004

La tabla 8 muestra el porcentaje de remoción de arsénico (III) a pH constante de 4 y 6.

Tabla 8

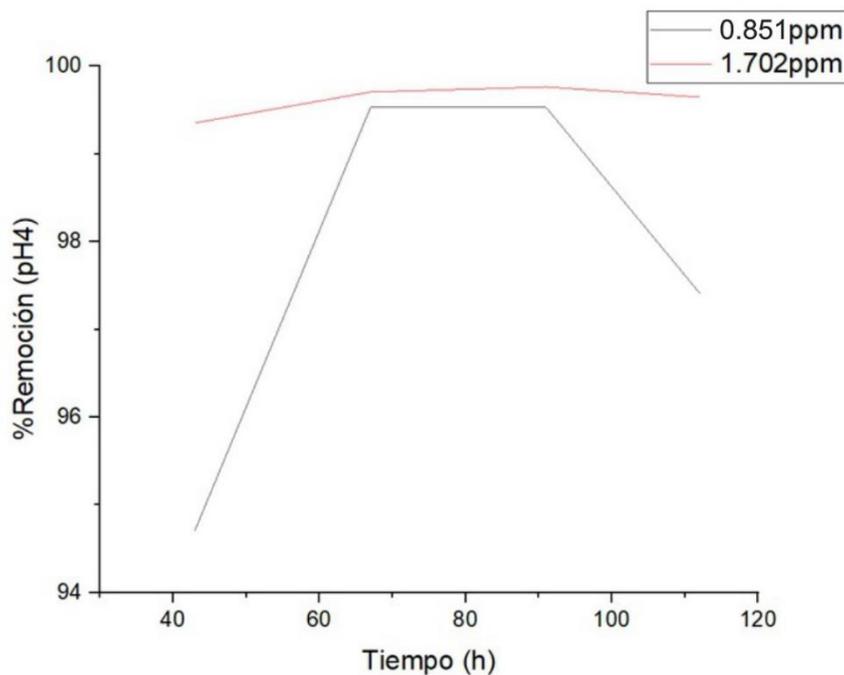
Porcentaje de remoción de arsénico (III) a pH4 y pH6

tiempo (Horas)	pH4		pH6	
	0.851ppm	1.702ppm	0.851ppm	1.702ppm
43	94.71%	99.35%	99.53%	98.18%
67	99.53%	99.71%	99.53%	99.76%
91	99.53%	99.76%	99.53%	99.76%
112	97.41%	99.65%	99.53%	99.76%

La Figura 25 muestra la relación entre el tiempo y el porcentaje de remoción de As(III) a concentraciones de 0.851 ppm y 1.702 ppm, manteniendo un pH constante de 4.

Figura 25

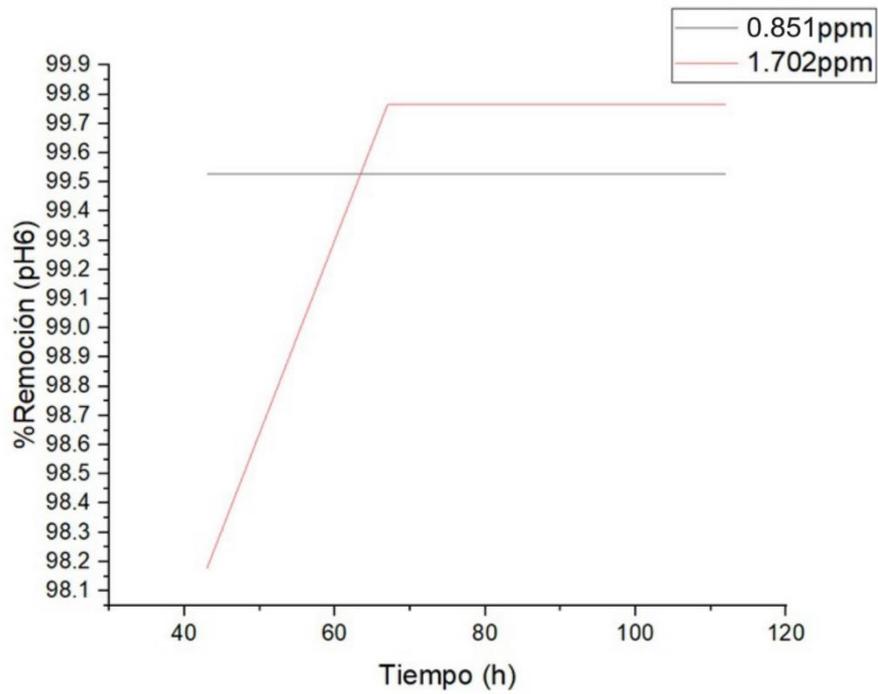
%Remoción As(III) vs tiempo a concentraciones 0.851ppm y 1.702ppm a pH4



La figura 26 representa el comportamiento del porcentaje de remoción de As (III) respecto al tiempo a concentraciones 0.851ppm y 1.702ppm a pH 6 constante.

Figura 26

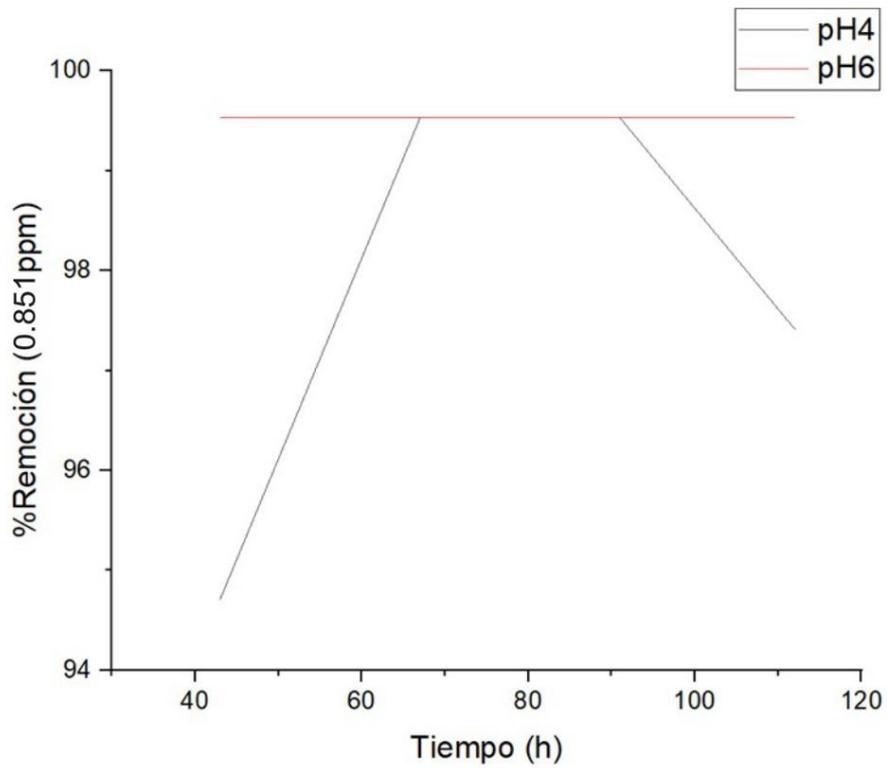
%Remoción As(III) vs tiempo a concentraciones 0.851ppm y 1.702ppm a pH6



La figura 27 representa el comportamiento del porcentaje de remoción de As (III) frente al tiempo a pH 4 y pH 6 y concentración inicial de As de 0.851 ppm.

Figura 27

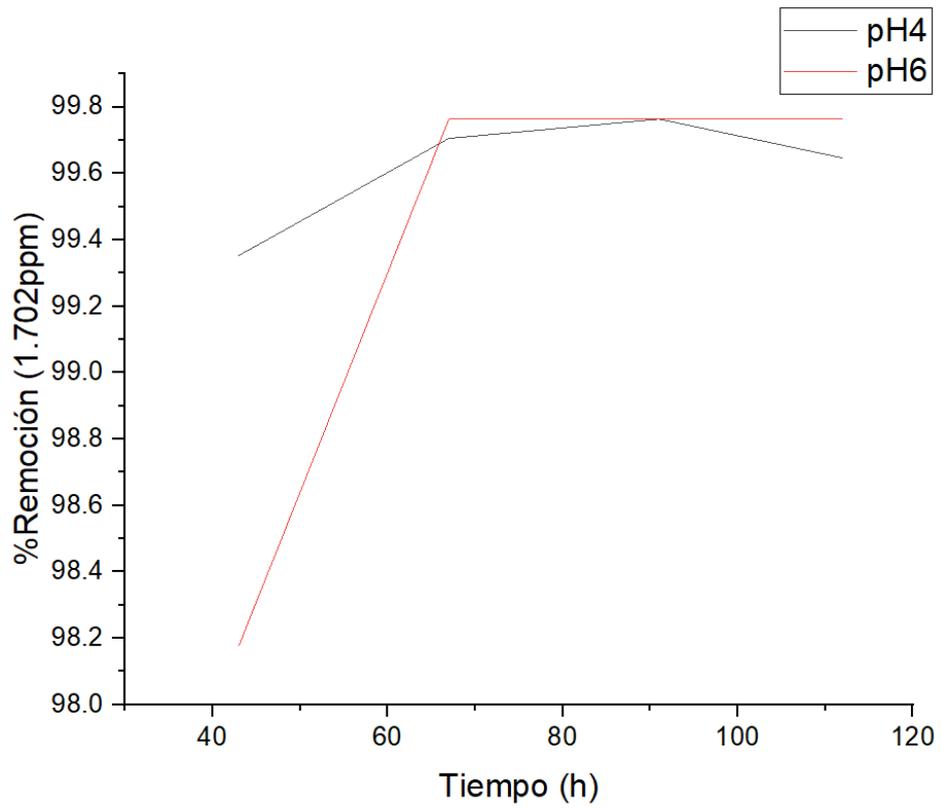
%Remoción As(III) vs tiempo a pH4 y pH6 a concentración 0.851ppm



La figura 28 representa el comportamiento del porcentaje de remoción de As(III) frente al tiempo a pH 4 y pH 6 y concentración inicial de As de 1.702ppm.

Figura 28

%Remoción As (III) vs tiempo a pH4 y pH6 a concentración 1.702ppm

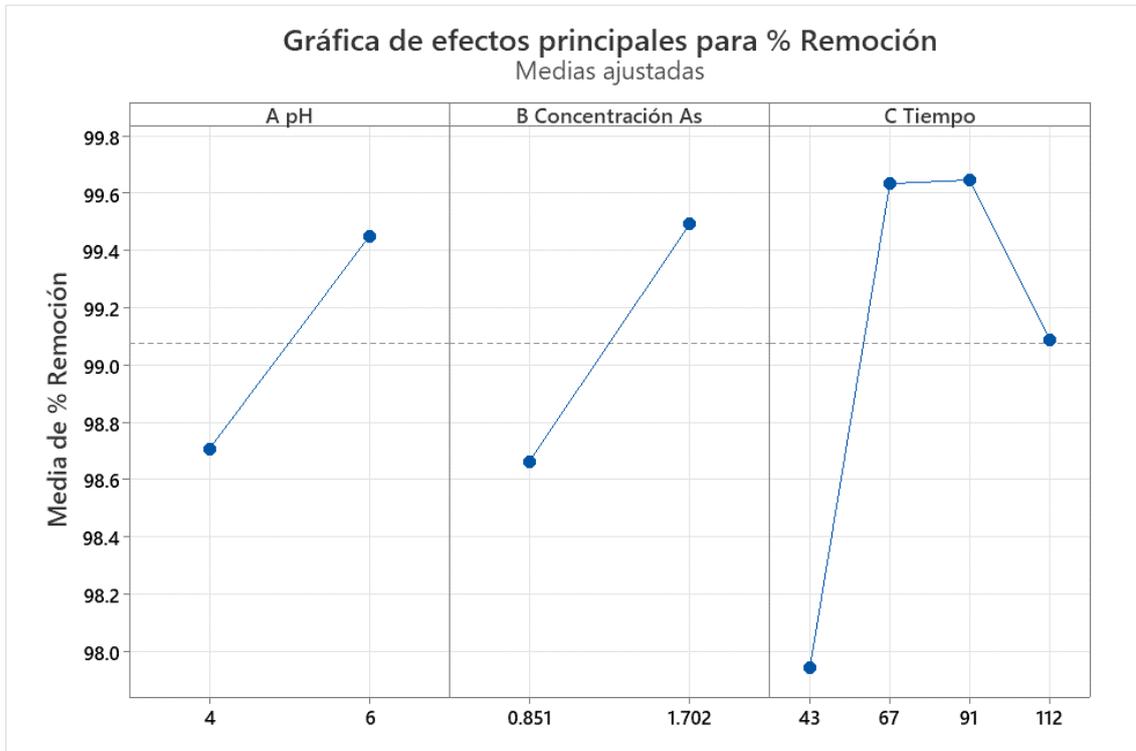


5.2. Resultados Inferenciales

En la figura 29 se muestra los efectos principales para la variable dependiente (porcentaje de remoción de arsénico (III))

Figura 29

Gráfica de efectos principales para %Remoción de As (III)

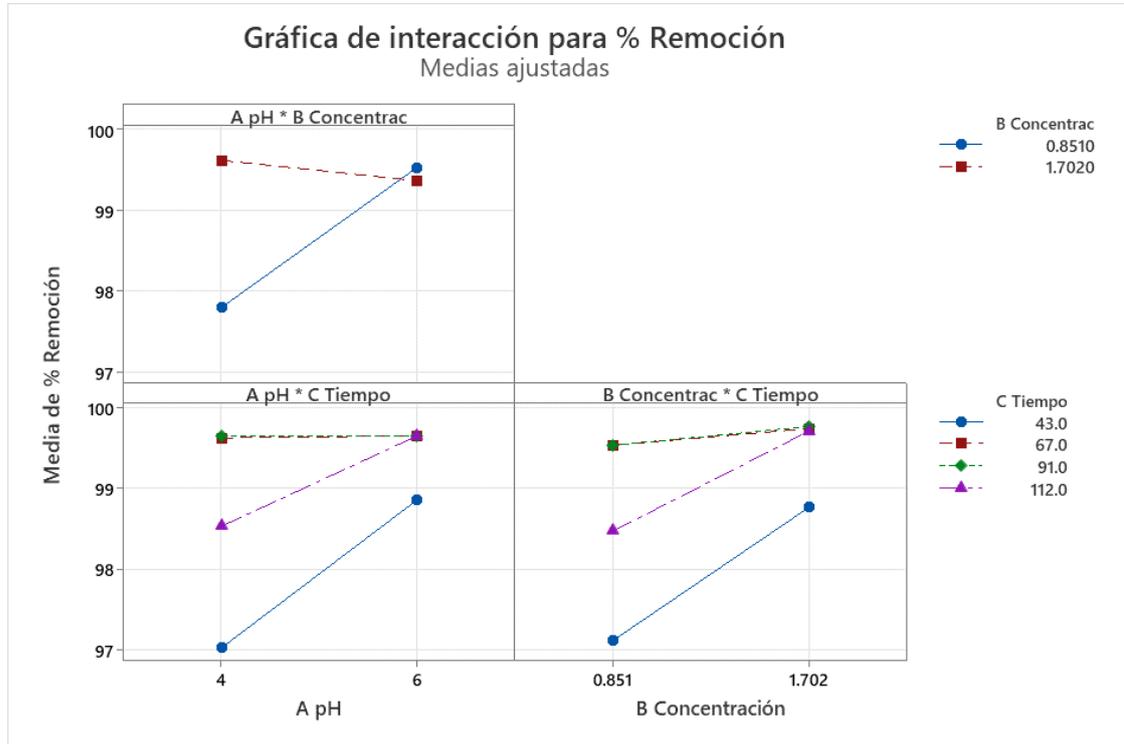


En el grafico se puede observar que a pH 6 el porcentaje de remoción de arsénico (III) está por encima de la media, con respecto a la concentración inicial de arsénico en la muestra se observa que a concentración de 1.702 ppm está por encima de la media y con respecto al tiempo de remoción en la muestra se observa que a los tiempos de 67 y 91 horas está por encima de la media mientras que a 112 horas está sobre la media 99.1% de remoción de arsénico (III).

En la figura 30 se aprecia el gráfico de efectos para interacciones de dos variables sobre porcentaje de remoción.

Figura 30

Gráfica de efectos por interacción de dos variables sobre el % de remoción de As(III).



En el grafico pH* Concentración se aprecia que el porcentaje de remoción de arsénico (III) es significativo a pH 6 para las concentraciones trabajadas.

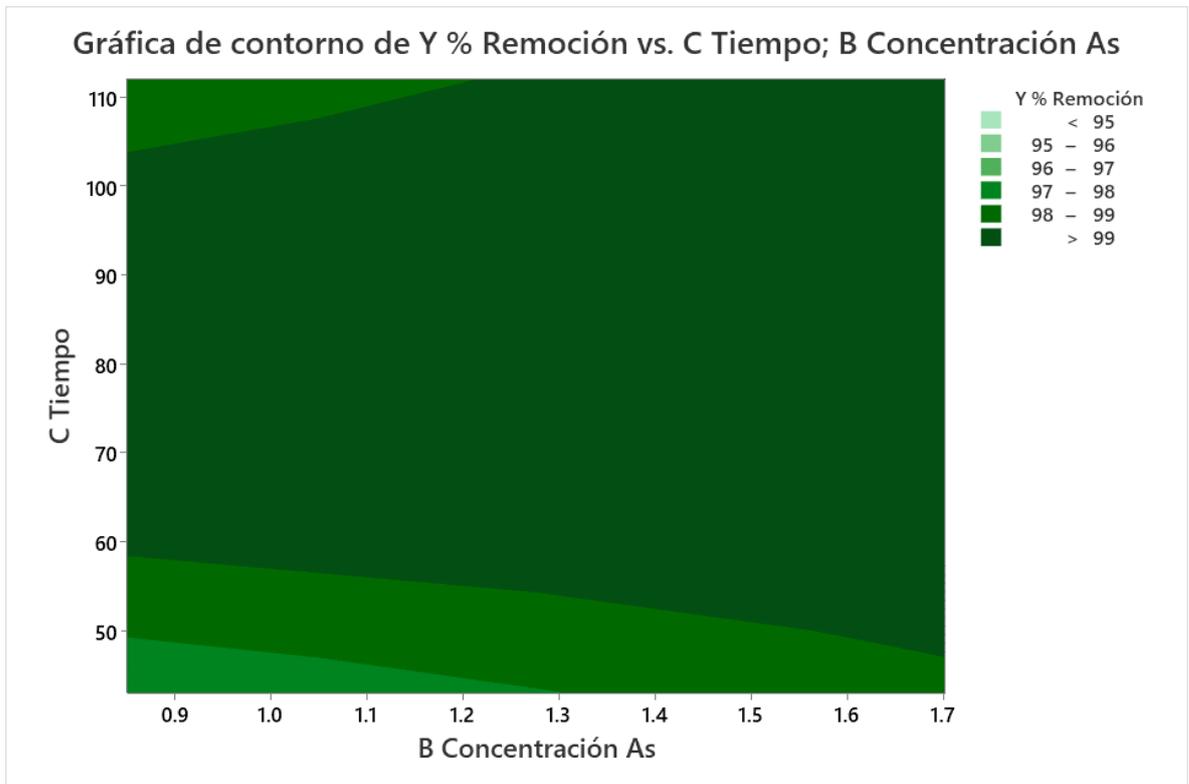
En el grafico pH * tiempo se aprecia que el porcentaje de remoción de arsénico (III) es significativo a pH 6 para los tiempos de 67, 91 y 112 horas.

En el grafico concentración * tiempo se aprecia que el porcentaje de remoción de arsénico (III) es significativo a concentración de 1.702 ppm para los tiempos de 67, 91 y 112 horas.

En la figura 31 la gráfica de contorno nos permite ubicar en la zona más oscura el porcentaje de remoción de As (III) mayor a 99%.

Figura 31

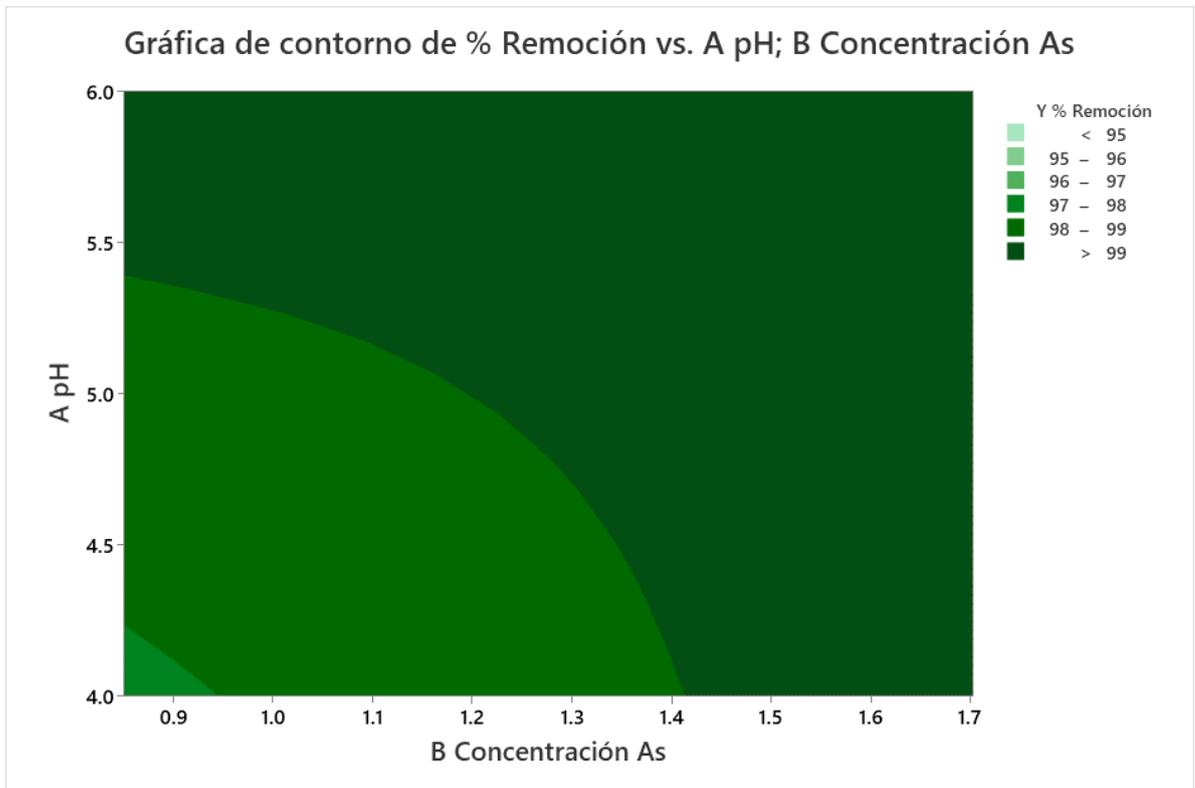
Gráfica de contorno 1



En la figura 32 observamos para porcentajes de remoción mayores a 99% desde concentraciones 1.4ppm de As (III) y pH cercano a 5.

Figura 32

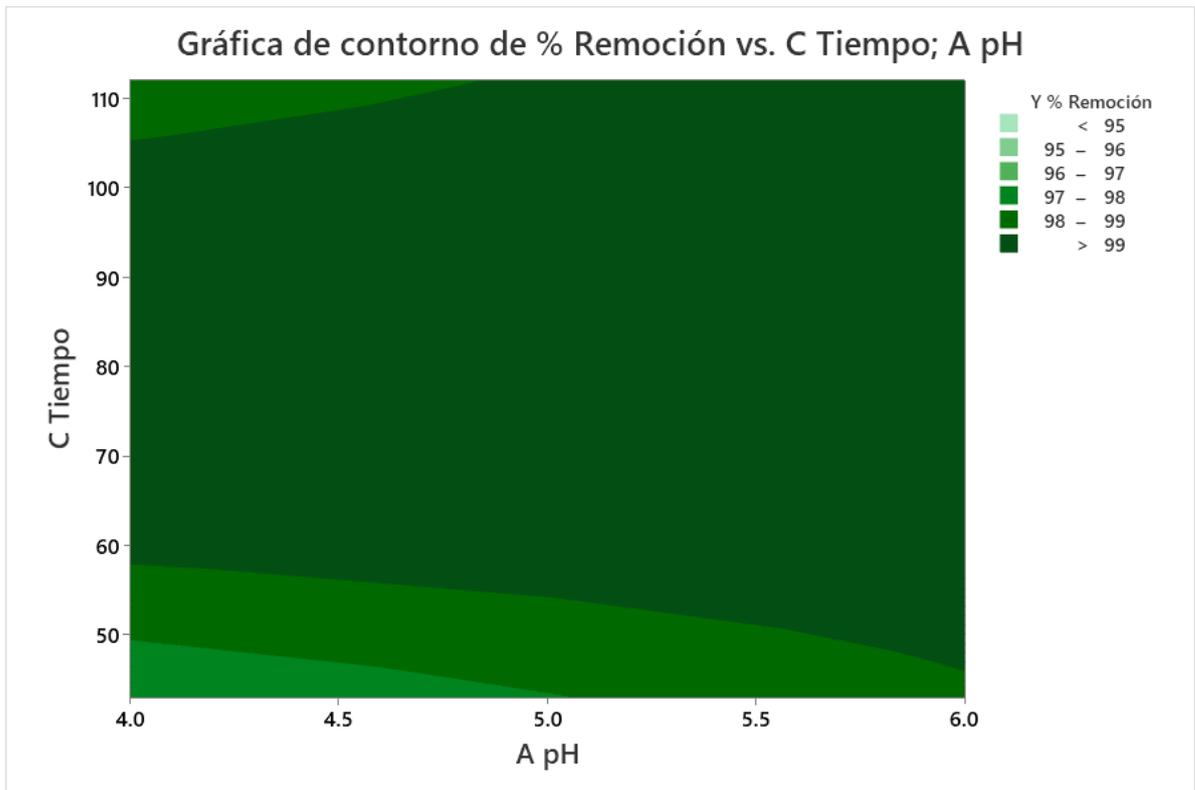
Gráfica de contorno 2



En la figura 33 observamos para porcentajes de remoción mayores a 99% se dan a pH 6 con tiempos menores a 60 horas. Sin embargo, a pH menores se lleva una mejor remoción a más tiempo.

Figura 33

Gráfica de contorno 3



5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.

No Se cuenta con otros datos estadísticos.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

La hipótesis específica 1 plantea que el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash no cumple con el estándar de calidad ambiental en términos de sus características fisicoquímicas, específicamente en la categoría 3 de contaminantes inorgánicos. Para comprobar esta hipótesis, se realizó la caracterización del pasivo ambiental de Ticapampa, y los resultados obtenidos, los cuales se presentan en las tablas 5 y 6, mostraron que estos superan los valores establecidos en el estándar de calidad ambiental para la categoría 3 de contaminantes inorgánicos (ver anexo 3). Por lo tanto, se confirma la hipótesis específica 1.

La hipótesis específica 2 plantea que las concentraciones del pasivo ambiental, pH y el tiempo de remoción influyen en la eficiencia de bioadsorción de arsénico (III), esto es demostrado mediante el análisis estadístico de efectos que se muestran a partir del análisis de resultados de la tabla 7 y la figura 29 donde se observa que hay un efecto positivo en el porcentaje de remoción de arsénico (que expresa la bioadsorción de arsénico (III)) a mayor pH y mayor concentración de arsénico en el pasivo ambiental. Respecto al tiempo de remoción se aprecia un efecto positivo hasta 67 horas, más allá del cual no habría efecto de remoción, llegando a un segundo punto de inflexión a 91 horas posterior al cual se aprecia un efecto negativo. Semejante al comportamiento del tiempo de vida del hongo y luego observamos una disminución de la remoción, siendo esta la etapa de muerte del hongo. Así mismo en la figura 30 se observa que existe interacción significativa para el porcentaje de remoción de arsénico con respecto a pH y concentración inicial de arsénico del pasivo ambiental, para pH y tiempo de remoción hay interacción significativa a 67 y 91 horas de remoción y finalmente para concentración de arsénico del pasivo ambiental y tiempo de remoción, la interacción es significativa para los tiempos de 67 y 91 horas. El gráfico de efectos principales observamos que a pH 6 hay una mejor remoción que a pH 4 y de acuerdo con la concentración de As (III) existe una mejor remoción a 1.702 ppm y el tiempo mayor a 43 horas observamos porcentajes de remoción mayores

al 99% manteniéndose en este porcentaje hasta 91 horas. Estos resultados son coherentes con los gráficos de contorno figura 31, figura 32 y figura 33 que muestran porcentajes de remoción cercano al 99% a tiempos mayores de 60 horas, pH mayor a 5.5 y concentración mayor a 1.4 ppm.

La hipótesis general plantea que el porcentaje de bioadsorción de arsénico (III) mediante *Aspergillus Níger* modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa-Ancash es 80%, de acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 7 se obtienen porcentajes de remoción mayor a 80%, en todos los experimentos siendo los experimentos 8, 11 y 12 los que muestran mayores porcentajes de bioadsorción expresado como porcentaje de remoción a 99.76%, quedando demostrada la hipótesis general.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Los resultados experimentales bajo las condiciones de pH 6, tiempo de remoción 67 horas y concentración inicial 1.702 ppm muestran una concentración final de arsénico menor a 0.004 ppm lo cual indica una eficiencia de bioadsorción del 99.76% (% de remoción de As(III)) a diferencia de lo reportado por Santos E., que obtuvo un 67% como señala en el artículo "Bioadsorción de Arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de *Aspergillus Níger*" bajo las condiciones de tiempo de remoción 24 horas, pH 6 y concentración de arsénico 1ppm.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo la eficiencia de bioadsorción de 99.76% (% de remoción de As (III)) se asemeja a la eficiencia de remoción Cr (VI) con *Aspergillus Níger* BM-56 del 100%, descrito por Ducal G. en su artículo "Remediación de Iones Cr(VI) en soluciones acuosas por *Aspergillus Níger* BM-56" en condiciones de pH 5.5, 96 horas de remoción y en todas las concentraciones de Cr(VI) ensayadas. Debido a la adsorción o asimilación del ion metálico por el *Aspergillus Níger*.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe)

Los autores de la presente investigación nos responsabilizamos por la información emitida en el presente informe, de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la investigación de la Universidad Nacional del Callao a través de la Resolución del Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

VII. CONCLUSIONES

1. Mediante el proceso de bioadsorción de arsénico (III) con *Aspergillus Níger* modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa-Ancash, se obtuvo porcentajes de bioadsorción de arsénico (III) mayores al 90% en todos los experimentos siendo los experimentos 8, 11 y 12 los que muestran mayores porcentajes de bioadsorción (99.76%).
2. Se determinó las características fisicoquímicas en el agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa-Ancash siendo la concentración de arsénico 1.702 ppm, pH 5.5, conductividad 1019 us/cm y DBO₅ 80.3 mg/L cuyos valores superan lo señalado en el estándar de calidad ambiental categoría 3.
3. Se concluye que los parámetros de bioadsorción de arsénico (III): pH, concentración inicial de arsénico y tiempo de remoción con *Aspergillus Níger* modificado en el PAM Ticapampa - Ancash influyen de manera favorable.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Realizar el proceso de bioadsorción de arsénico (III) utilizando el *aspergillus Níger* modificado a menores tiempos de remoción.
2. El método utilizado en el presente trabajo puede aplicarse para remover otros metales como por ejemplo cobre plomo y zinc como se aprecia en los resultados de análisis por ICP (ver anexo 4).
3. Investigar sobre los porcentajes de remoción de arsénico y otros elementos tóxicos a diferentes concentraciones de inóculo.
4. Se recomienda tratamiento secundario para los lodos generados durante el proceso de bioadsorción.
5. Es recomendable que estos trabajos de aplicación con nuevas tecnologías sean subvencionados por el estado en el marco de remediación de pasivos ambientales mineros.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RODRÍGUEZ, Carla, 2018. *Estudio de caso de pasivos ambientales mineros en la región La Libertad/Perú* en línea. COOPERACIÓN ALEMANA PARA EL DESARROLLO INSTITUTO FEDERAL DE GEOCIENCIAS Y RECURSOS NATURALES. [Accedido 14 octubre 2022]. Recuperado a partir de: <https://minsus.net/mineria-sustentable/wp-content/uploads/2019/01/estudio-de-caso-de-pasivos-ambientales-mineros-aspectos-juridico-institucionales.pdf>
2. RAHMAN, Zeeshanur y SINGH, Ved Pal, 2019. *The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview.* en línea. 1 julio 2019. Springer International Publishing. [Accedido 19 septiembre 2022].
3. SMEDLEY, P L y KINNIBURGH, D G, 2001. *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters* en línea. UK. [Accedido 9 octubre 2022]. Recuperado a partir de: www.elsevier.com/locate/apgeochem
4. ROSSMAN, Toby G., 2003. *Mechanism of arsenic carcinogenesis: An integrated approach.* en línea. 10 diciembre 2003. Elsevier. [Accedido 9 octubre 2022].
5. CONTRERAS, Carmen, 2022. *Evaluación de absorción de plomo y cadmio en solución acuosa de flujo continuo utilizando broza de Coffea arabica.* San Salvador.
6. TAMAYO, Jesús, 2017. Osinergmin La industria de la minería en el Perú. . 2017.
7. SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA PETRÓLEO Y ENERGÍA, 2021. *Áncash: el 43% de la población se beneficia con las actividades mineras - Desde Adentro.* en línea. 27 octubre 2021. [Accedido 6 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.desdeadentro.pe/2021/10/ancash-el-43-de-la-poblacion-se-beneficia-con-las-actividades-mineras/>

8. DELGADO, Gabriela, 2015. *Los pasivos ambientales mineros: Diagnóstico y propuestas.*
9. MINEM, 2022. Inventario de Pasivos ambientales ineros. *RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 335-2022-MINEM/DM.* en línea. 7 septiembre 2022. [Accedido 8 enero 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/3456690-335-2022-minem-dm>
10. OMS, 2022. Arsénico. *Organización Mundial de la Salud.* en línea. 7 diciembre 2022. [Accedido 8 enero 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
11. SUNI, Karen y GUZMAN, Dayri, 2019. “*Bioadsorción de Cu (II), de agaus residuales mineras, con Cochayuyo (Chondracanthus chamissoi)*”. en línea. 2019. Arequipa. [Accedido 8 septiembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/95856474-57c4-40d8-950b-c94a9bfc15b0>
12. RAJENDRAN, P, MUTHUKRISHNAN, J y GUNASEKARAN, P, 2003. *Microbes in heavy metal remediation.*
13. SINIA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL, 2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. en línea. 2017. [Accedido 9 septiembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
14. SANTOS, Erik E, CÁRDENAS, Juan F, TORRE, María E, MARTÍNEZ, Víctor M, RODRÍGUEZ, Adriana, ACOSTA, Ismael, POTOSÍ, Luis y - MÉXICO, S L P, 2017. *Bioadsorción de Arsénico (III) en solución acuosa por la biomasa modificada de Aspergillus Níger* en línea. Recuperado a partir de: http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/1
15. LUNA, Cristián y VERGARA, Luis, 2021. *Potential application of lactic acid bacteria in water treatment systems.* . 1 agosto 2021. Asociacion Espanola de Ecologia Terrestre.

16. DUCA, Gladys, NUÑEZ, Carlos, NAVARRO, Antonio y RUBIO, Cristina, 2012. *Remediación de Iones Cr(VI) en Soluciones Acuosas por Aspergillus niger BM-56*.
17. PARIA, K., PYNE, S. y CHAKRABORTY, S.K., 2021. *Optimization of heavy metal (lead) remedial activities of fungi Aspergillus penicillioides (F12) through extra cellular polymeric substances*. Chemosphere, vol. 286, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.131874.
18. KARAMAN, C., 2020. Modeling of Biosorption of Arsenic(V) on waste orange peel derived graphene-like porous carbon by artificial neural network approach. *European Journal of Science and Technology* [en línea], [consulta: 19 abril 2023]. DOI 10.31590/ejosat.803101. Disponible en: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1320237>.
19. GUTIERREZ, Laura, 2022. Removal of heavy metals from the RMoch6 point of the Moche River by means of commercial chitosan biopolymer. *Revista Ciencia y Tecnología*. 18 marzo 2022. Vol. 18, no. 1, pp. 205-214. DOI 10.17268/rev.cyt.2022.01.15.
20. PÉREZ, Mirella, ROSAS, Paola, VILLENA, Gretty, LEÓN, Kety y ESPINOZA, Marco, 2015. Evaluación de la capacidad de bioabsorción de plomo por hongos filamentosos nativos del relave minero de Ticapampa (Recuay, Ancash) Evaluation of the biosorption capacity of lead by filamentous fungi native to the Ticapampa mining tailings (Recuay, Ancash). . 2015. Vol. 15, no. 2, pp. 3-11.
21. FLORES, E. y JIMÉNEZ, J., 2019. *Adsorción de arsénico de aguas subterráneas utilizando óxido de hierro a diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio*. [en línea]. Lambayeque: [consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8102/BC-4503%20FLORES%20GONZALES-JIMENEZ%20REQUEJO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
22. ROQUE, J. y BELTRÁN, A., 2022. *Adsorción de Arsénico (V) Con Biomasa de Sacha Inchi por Columnas de Lecho Fijo* [en línea]. Arequipa:

- s.n. [consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30810933/>.
23. HU, Haidong y XU, Ke, 2019. Physicochemical technologies for HRP's and risk control. En: *High-Risk Pollutants in Wastewater*. Elsevier. pp. 169-207. ISBN 9780128164488.
 24. BELTRÁN, Eleonora y GÓMEZ, Marcela, 2016. Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 25 julio 2016. Vol. 12, no. 2, pp. 172-197. DOI 10.18359/rfcb.2027.
 25. TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Angel y GARCÉS, Luz, 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Educación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena*. 26 octubre 2015.
 26. PRESIDENTE DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2004. *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera LEY N° 28271* en línea. [Accedido 14 octubre 2022]. Recuperado a partir de: <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/28271.pdf>
 27. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, sin fecha. *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*.
 28. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, sin fecha. *guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero-metalúrgicas*. .
 29. ARELLANO, Javier., 2002. *Introducción a la Ingeniería ambiental*. Alfaomega. ISBN 9701507835.
 30. LÓPEZ, E, ADUVIERE, O y BARETTINO, D, 2002. Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro. Universidad Politécnica de Madrid). 2002.
 31. Guía comunitaria sobre la biorremediación ¿Qué es la biorremediación?, 2021. *Oficina de Administración de la Tierra y Gestión de Emergencias*. en línea. Recuperado a partir de: <https://clu-in.org/>

32. TORRES, Duilio, 2003. El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Revista Científica de Ecología y medio ambiente*. 2003. Vol. 12, pp. 1-5.
33. EPA, OEI, SOR, System Of Registries, sin fecha. Vocabulary Catalog List Detail. .
34. ALCALÁ, Luis, MUÑOZ, Patricia, PELÁEZ, Teresa y BOUZA, Emilio, sin fecha. *Aspergillus y aspergilosis*. .
35. MARQUES, Soledad y TORRES, Josep, 1998. *Colonización fúngica de lentes de contacto*. . 1998.
36. GLORIA, Ana, VILLALBA, Villalba, VIANEY, Grecia y GÓMEZ, Azuara, sin fecha. *Aislamiento e identificación e identificación de aspergillus níger y evaluación de su tolerancia a metales tóxicos*. México.
37. SANTAMBROSIO, Eduardo, 2009. *Siembra y recuento de microorganismos*. en línea. 2009. [Accedido 8 octubre 2022]. Recuperado a partir de: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/biotecnologia/practicolll.pdf
38. VOGEL, Arthur, 1945. *Química analítica Cualitativa*. 3ed. Buenos Aires.
39. AYRES, Gilbert, 1970. *Análisis Químico Cuantitativo*. Mexico: Mexico.
40. PÉREZ, Alejo y FERNÁNDEZ, Alicia, 2010. *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. Buenos Aires. ISBN 9788496023741.
41. RAMIRO, Hugo, APAC, Gómez, LINO, Genaro, MEJÍA, Matute, PAUL, César, JAHN, Ortiz, MARÍA, Roxana y CÁCERES, Barrantes, 2015. *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. Lima.
42. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2016. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales ANA. . 2016.
43. SAYER, Jacqueline, sin fecha. *Solubilization and transformation of insoluble inorganic metalcompounds to insoluble metal oxalates by Aspergillus Níger*.

44. Arsénico (As) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente, sin fecha. en línea. [Accedido 9 enero 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>
45. SOOD, S., SINGHAL, R., BHAT, S. y KUMAR, A., 2011. Inoculum Preparation. *Comprehensive Biotechnology, Second Edition*. 9 septiembre 2011. Vol. 2, pp. 152-164. DOI 10.1016/B978-0-08-088504-9.00090-8.
46. EL-SHAARAWI, A. H. y PIEGORSCH, Walter W., 2002. *Encyclopedia of environmetrics*. Wiley. ISBN 0471899976.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia “Bioadsorción de arsénico (III) del pasivo ambiental tratada con *Aspergillus Níger* modificado en Ticapampa – Ancash”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR
¿Cuál es el porcentaje de bioadsorción de arsénico (III) mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa-Ancash?	Evaluar la bioadsorción de arsénico (III) mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado en el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash.	La bioadsorción de arsénico (III) del agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash, mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado supera el 80% de remoción de arsénico.	$F(X)$ = Bioadsorción de arsénico (III) en el agua superficial del pasivo ambiental de Ticapampa – Ancash mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado.	Porcentaje de remoción del arsénico (III) por bioadsorción.	Porcentaje de remoción
¿Cuáles son las características fisicoquímicas que presenta el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash?	Determinar las características fisicoquímicas que presenta el pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash.	El pasivo ambiental de Ticapampa - Ancash tiene características fisicoquímicas que no cumplen con el estándar de calidad ambiental. (Categoría 3-inorgánicos)	X 1 = Características fisicoquímicas del pasivo ambiental de Ticapampa-Ancash.	Concentración de arsénico (III) pH	Concentración pH
¿Cuáles son los parámetros que influyen en la bioadsorción de arsénico (III) mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado?	Determinar los parámetros que influyen en la bioadsorción de arsénico (III) mediante <i>Aspergillus Níger</i> modificado.	Las concentraciones del pasivo ambiental, pH y el tiempo de remoción influyen en la bioadsorción de arsénico (III).	X 2 = Parámetros de Bioadsorción de arsénico (III) con <i>Aspergillus Níger</i> modificado.	Concentración de As (III) pH Tiempo de remoción	1.702ppm 0.851ppm 4 y 6 43 67 91 112 horas

Figura 34 Anexo VII - Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
2.- Nutrientes			
Fosfatos	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	1 mes
		Congelar por debajo de -18° C.	1 mes
Fósforo total	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con H ₂ SO ₄ o HNO ₃	1 mes
		Congelar por debajo de -18° C.	6 meses
Nitrógeno amoniacal	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	24 horas
	PE	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 3 ±0,5 con HNO ₃	14 días
	Vidrio o PTFE	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con H ₂ SO ₄ . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	1 mes
Nitratos	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
Nitritos	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
Nitrógeno total	Plástico o vidrio	Filtrar <i>in situ</i> .	4 días
	Plástico	Acidificar a pH 1 - 2 con H ₂ SO ₄ .	1 mes
3.- Metales y metaloides			
Corrida de metales totales	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	1 mes
Corrida de metales disueltos	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	1 mes
Aluminio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	1 mes
Antimonio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	1 mes
Arsénico	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	6 meses
Bario	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	1 mes
Berilio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	1 mes
Boro	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	6 meses
Cadmio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	6 meses
Calcio	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ .	1 mes
Cobalto	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ .	1 mes
Cobre	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	6 meses
Cromo	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HNO ₃	6 meses
Cromo hexavalente	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	24 horas
Hierro	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ .	1 mes

Nota: Conservación y Preservación de Muestra de Agua en Función del Parámetro Evaluado

Figura 35

Pasivo ambiental minero de Ticapampa - Ancash



Nota: Imagen muestra el relave y adyacente se encuentra una canaleta de agua superficial.

Figura 36

Punto E-03



Nota: Imagen del agua superficial en PAM Ticapampa

Anexo 2 ECA - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3

Anexo 3 ECA - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (inorgánicos)

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Anexo 4 Informe de Ensayo de laboratorio (Análisis ICP)

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 1 de 7

Nombre del Solicitante : GUILLERMO INOCENTE HENRY DARWIN
Asunto : Análisis Físico-Químicos
Tipo de Muestra : Agua Superficial
Cantidad de Muestras : 17
Fecha de Recepción : 21-03-2023
Características de la muestra : Frascos de PVC x 100mL c/u. Preservadas.
Fecha de realización del ensayo : Del 21-03-2023 Hasta 27-03-2023

DESCRIPCION DE MUESTRAS

CODIGO	DESCRIPCION
M - 1	Agua superficial tratada
M - 2	Agua superficial tratada
M - 3	Agua superficial tratada
M - 4	Agua superficial tratada
M - 5	Agua superficial tratada
M - 6	Agua superficial tratada
M - 7	Agua superficial tratada

Nota: Las muestras fueron enviadas por el Cliente/Datos proporcionados por el cliente.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un período de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 2 de 7

DESCRIPCION DE MUESTRAS

CODIGO	DESCRIPCION
M – 8	Agua superficial tratada
M – 9	Agua superficial tratada
M – 10	Agua superficial tratada
M – 11	Agua superficial tratada
M – 12	Agua superficial tratada
M – 13	Agua superficial tratada
M – 14	Agua superficial tratada
M – 15	Agua superficial tratada
M – 16	Agua superficial tratada
E – 03	*****

Nota: Las muestras fueron enviadas por el Cliente/Datos proporcionados por el cliente.

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACION	METODOLOGÍA
Determinación de Metales por ICP	EPA 200.7 Trace Elements in Water by Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission. Revisión 4.4. January 2001. (elementos Bi, Sc, Y, W, Zr validados)

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL. sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un período de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 3 de 7

RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES:

Elemento	Unidad	Límite Detección	M – 1	M – 2	M – 3	M – 4	M – 5	M – 6	M – 7	M – 8	M – 9
Ag	mg/L	0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009
Al	mg/L	0.037	0.379	0.142	0.640	0.158	0.353	0.145	0.608	0.200	0.320
As	mg/L	0.004	0.045	<0.004	0.011	0.031	<0.004	0.004	0.005	<0.004	<0.004
Ba	mg/L	0.003	0.062	0.025	0.096	0.031	0.058	0.019	0.092	0.036	0.057
Be	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Bi	mg/L	0.017	0.065	<0.017	<0.017	0.018	<0.017	<0.017	<0.017	0.026	<0.017
Ca	mg/L	0.029	26.109	18.665	47.689	38.699	26.700	16.917	47.664	36.878	26.799
Cd	mg/L	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Co	mg/L	0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Cr	mg/L	0.007	0.022	0.007	0.037	0.007	0.023	<0.007	0.038	<0.007	0.026
Cu	mg/L	0.006	<0.006	0.014	0.012	0.010	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Fe	mg/L	0.068	36.602	6.117	33.077	9.188	43.396	3.435	36.335	4.766	52.551
Hg	mg/L	0.004	<0.004	0.019	<0.004	0.005	0.012	0.013	<0.004	0.005	<0.004
K	mg/L	0.043	155.478	163.896	169.283	167.346	160.522	163.814	173.480	171.849	162.960
Mg	mg/L	0.052	14.144	13.512	17.654	17.034	14.546	13.106	17.763	16.970	14.508

- La determinación de metales por ICP fue realizado por un Tercer Laboratorio.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un período de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 4 de 7

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES:

Elemento	Unidad	Límite Detección	M – 1	M – 2	M – 3	M – 4	M – 5	M – 6	M – 7	M – 8	M – 9
Mn	mg/L	0.009	0.212	0.169	0.423	0.342	0.214	0.142	0.427	0.311	0.214
Mo	mg/L	0.006	0.014	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Na	mg/L	0.031	1555.070	1722.110	1719.740	1799.630	1624.710	1733.150	1761.590	1838.860	1618.550
Ni	mg/L	0.007	0.027	<0.007	<0.007	0.020	0.012	<0.007	0.026	0.012	0.009
P	mg/L	0.010	0.053	0.087	0.045	0.198	0.154	0.129	0.015	0.204	<0.010
Pb	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Sb	mg/L	0.008	<0.008	<0.008	0.048	0.023	0.016	0.009	0.011	0.013	0.034
Sc	mg/L	0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Se	mg/L	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.005	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Sn	mg/L	0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Sr	mg/L	0.005	0.207	0.159	0.476	0.346	0.242	0.137	0.478	0.320	0.241
Ti	mg/L	0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Tl	mg/L	0.008	<0.008	<0.008	0.027	0.024	0.036	<0.008	<0.008	0.016	<0.008
V	mg/L	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
W	mg/L	0.006	0.019	<0.006	0.015	0.009	0.007	<0.006	<0.006	0.014	<0.006
Y	mg/L	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Zn	mg/L	0.005	0.223	0.029	0.356	0.065	0.236	0.016	0.359	0.043	0.229
Zr	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003

- La determinación de metales por ICP fue realizado por un Tercer Laboratorio.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un período de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 5 de 7

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES:

Elemento	Unidad	Límite Detección	M – 10	M – 11	M – 12	M – 13	M – 14	M – 15	M – 16	E – 03
Ag	mg/L	0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009
Al	mg/L	0.037	0.142	0.469	0.149	0.280	0.175	0.380	0.134	0.363
As	mg/L	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.022	<0.004	0.006	<0.004	1.702
Ba	mg/L	0.003	0.018	0.089	0.024	0.054	0.013	0.087	0.027	0.124
Be	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Bi	mg/L	0.017	<0.017	0.021	0.025	<0.017	<0.017	0.039	<0.017	<0.017
Ca	mg/L	0.029	16.656	46.733	26.965	26.636	15.339	46.947	12.151	62.721
Cd	mg/L	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Co	mg/L	0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
Cr	mg/L	0.007	0.010	0.033	<0.007	0.028	0.016	0.030	<0.008	<0.008
Cu	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.011
Fe	mg/L	0.068	4.224	41.405	2.117	71.031	11.105	61.210	3.481	3.995
Hg	mg/L	0.004	0.009	<0.004	0.019	0.009	<0.004	0.004	<0.004	<0.004
K	mg/L	0.043	167.936	172.786	176.135	166.305	169.028	175.208	175.258	12.235

- La determinación de metales por ICP fue realizado por un Tercer Laboratorio.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 6 de 7

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES:

Elemento	Unidad	Limite Detección	M – 10	M – 11	M – 12	M – 13	M – 14	M – 15	M – 16	E – 03
Mg	mg/L	0.052	13.160	17.393	16.541	14.702	13.087	17.618	16.747	9.948
Mn	mg/L	0.009	0.139	0.420	0.210	0.217	0.157	0.419	0.262	0.561
Mo	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Na	mg/L	0.031	1743.220	1721.790	1951.040	1642.190	1739.980	1743.470	1918.210	125.222
Ni	mg/L	0.007	<0.007	0.025	<0.007	0.022	<0.007	0.016	<0.007	<0.007
P	mg/L	0.010	0.123	0.124	0.159	0.027	0.150	0.249	0.208	0.024
Pb	mg/L	0.006	<0.006	<0.006	0.015	0.034	0.027	0.013	<0.006	0.039
Sb	mg/L	0.008	0.023	0.017	<0.008	0.016	0.033	0.029	0.032	0.017
Sc	mg/L	0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Se	mg/L	0.004	0.018	<0.004	0.014	0.013	<0.004	0.005	<0.004	<0.004
Sn	mg/L	0.020	0.067	<0.020	<0.020	<0.020	0.031	<0.020	<0.020	<0.020
Sr	mg/L	0.005	0.130	0.472	0.256	0.235	0.118	0.464	0.232	0.633
Ti	mg/L	0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Tl	mg/L	0.008	0.020	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	0.022	<0.008	<0.008
V	mg/L	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

- La determinación de metales por ICP fue realizado por un Tercer Laboratorio.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

INFORME DE ENSAYO N° AM23010

Emitido en Lima, el 27 de Marzo del 2023

Pág. 7 de 7

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES:

Elemento	Unidad	Limite Detección	M – 10	M – 11	M – 12	M – 13	M – 14	M – 15	M – 16	E – 03
W	mg/L	0.006	0.013	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.015	0.013	<0.006
Y	mg/L	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Zn	mg/L	0.005	0.016	0.349	0.020	0.224	0.025	0.357	0.022	0.466
Zr	mg/L	0.003	0.003	<0.003	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003

- La determinación de metales por ICP fue realizado por un Tercer Laboratorio.

Ing. Pablo Limachi Gómez
Gerente Comercial

Ing. Martin Rivadeneyra Asanza
Jefe de Laboratorio

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minlab SRL. sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minlab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03

AM - FR - 37 CADENA DE CUSTODIA PARA MUESTRAS DE AGUA

	CARGO	NOMBRE	FIRMA
Elaborado por			
Revisado por:			
Aprobado por:			

Cualquier copia o reproducción total o parcial de este documento sin el sello color rojo de Control de Documentos se constituye en COPIA NO CONTROLADA.

Vigente desde: 23-08-2008

Version: 03

Pág. 2 de 2