



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



**REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR ZEOLITAS NATURALES
ACTIVADA CON ÓXIDO FÉRRICO EN AGUAS NATURALES DE
POZOS SUBTERRÁNEOS PARA CONSUMO HUMANO, DEL
DISTRITO DE COATA PROVINCIA PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JESSICA ALAIDA GÓMEZ CHOQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR ZEOLITAS NATURALES ACTIVADA CON ÓXIDO FÉRRICO EN AGUAS NATURALES DE POZOS

AUTOR

JESSICA ALAIDA GÓMEZ CHOQUE

RECuento DE PALABRAS

31453 Words

RECuento DE CARACTERES

163346 Characters

RECuento DE PÁGINAS

176 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.7MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 27, 2023 11:09 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 27, 2023 11:11 PM GMT-5

● **19% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Lidia Ensueño Romero
Dra. Lidia Ensueño Romero Ipuri
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FIQ. UNA - PUNO

Herberto S. Miranda Zea
Dr. sc. HERBERTO S. MIRANDA ZEA
INGENIERO QUÍMICO
CIP. 17616

Resumen



DEDICATORIA

Dedicó la presente tesis

A DIOS, por darme la vida, Por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos

A mi familia, a mis padres Lucia y Rene, por darme todo su apoyo y por ser un ejemplo a seguir, porque ellos son la motivación de mi vida mi orgullo de ser lo que seré

A mi hermano, Alexander que siempre ha estado junto a mí y siempre me ha brindado todo su apoyo.

A mis amigos, por todo el apoyo que me han brindado y me acompañaron en todo el proceso de investigación a mis amigas Marleni, Dina, y a mis amigos Abelardo y Engel.

Jessica Alaida Gómez Choque



AGRADECIMIENTOS

Antes que todo quiero agradecer a DIOS por darme siempre fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el camino de lo prudente y darme sabiduría para mejorar día a día.

A mi familia por su apoyo incondicional en toda mi vida, por sus enseñanzas, su dedicación sus consejos por estar siempre a mi lado de forma excepcional

Mi gratitud, a la Universidad nacional del altiplano y a mí la facultad de ingeniería química, por su formación profesional.

Agradezco profundamente a mi asesor de tesis D.Sc. Norberto Sixto Miranda Zea, por su dedicación, apoyo y paciencia en guiarme en este proceso tan importante en mi vida académica,

Agradezco a mis docentes al D.Sc. Moisés Pérez Capa, M.Sc. Salomón Tito León, M.Sc. Jorge Aruwanca Cartagena por haberme brindado su apoyo y conocimientos en este proyecto de investigación

Jessica Alaida Gómez Choque



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURA	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2.1. formulación del problema general.....	24
1.2.2. formulación de problemas específicos	24
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.3.1. Hipótesis general	25
1.3.2. Hipótesis específicas	25
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	26
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
1.5.1. Objetivo general	28



1.5.2. Objetivos específicos.....28

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO	30
2.1.1. Aguas naturales	30
2.1.2. Aguas subterráneas.....	30
2.1.3. Metales pesados.....	31
2.1.4. Propiedades químicas del arsénico.....	31
2.1.5. Zeolitas naturales.....	32
2.1.6. Andesita.....	33
2.2. MARCO CONCEPTUAL	34
2.2.1. Metales pesados en el agua.	34
2.2.2. Iones metálicos y no metálicos en el ciclo del agua.....	34
2.2.3. Arsénico	35
2.2.4. Toxicidad del arsénico (As) en el agua	36
2.2.5. Adsorción	36
2.2.6. Oxidación del arsénico en el agua.....	37
2.2.7. Estados redox del arsénico	37
2.2.8. Coagulación floculación.....	39
2.3. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	50

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	58
--	-----------



3.1.1. Ubicación geográfica.....	58
3.1.2. Coordenadas geográficas.....	58
3.1.3. Ubicación política	59
3.1.4. Ubicación hidrográfica.....	60
3.1.5. Población y muestras.....	61
3.2. MATERIALES.....	62
3.2.1. Materiales, equipos y reactivos.	62
3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS.....	63
3.3.1. la metodología para caracterizar los parámetros físico-químicos de la zeolita natural, para utilizar en procesos de remoción de arsénico, de soluciones acuosas y de aguas naturales subterráneas de pozo.....	64
3.3.2. La metodología para Determinar las concentraciones óptimas de floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, y de la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico de viruta de hierro metálico y el pH óptimo; aguas naturales subterráneas de pozo.	66
3.3.3. La metodología para Determinar en proceso discontinuo batch, la remoción de arsénico As (V) por floculación con sulfato de aluminio, con policloruro de aluminio y adsorción por la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico; en aguas de pozo para consumo humano.	67
3.3.4. La metodología para Determinar el isoterma de mejor ajuste para la remoción de arsénico As (V) en soluciones acuosas y aguas naturales subterráneas de pozo, en proceso discontinuo batch, por floculación con sulfato de aluminio y	



policloruro de aluminio. Mediante adsorción con zeolita natural acondicionado con solución de hidróxido férrico	71
3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	71
3.5. VARIABLES	72
3.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	73
3.6.1. Primer proceso de análisis con floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	73
3.6.2. Segundo proceso de análisis con floculante policloruro de aluminio (PCA) [Aln (OH)m(SO ₄) p (Cl _{3n-m-2p})].	74

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. LOS RESULTADOS DE CARACTERIZAR LOS PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS DE LA ZEOLITA NATURAL, PARA UTILIZAR EN PROCESOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO, DE SOLUCIONES ACUOSAS Y DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE POZO	76
4.2. LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES ÓPTIMAS DE FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO, Y DE LA ZEOLITA NATURAL ACONDICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO Y EL PH ÓPTIMO; PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO AS (V) ..	77
4.3. LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN EN PROCESO DISCONTINUO BATCH, DE LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO AS (V) POR FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO, POLICLORURO DE	



ALUMINIO Y ADSORCIÓN CON ZEOLITA NATURAL ACONDICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO; EN AGUAS NATURALES SUBTERRÁNEAS DE POZO PARA CONSUMO HUMANO 78

4.3.1. Primer proceso de tratamiento, para determinar las dosis óptimas de floculación con sulfato de aluminio, hidróxido férrico y solución de zeolita natural.....	78
4.3.1.1 Determinación de la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio.	78
4.3.1.2 Determinación de la dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M).	83
4.3.1.3 Determinación de la dosis óptima de zeolita natural del (1%)	86
4.3.2. Segundo proceso de tratamiento, para determinar las dosis óptimas de floculación con policloruro de aluminio (PAC), hidróxido férrico y solución de zeolita natural.	89
4.3.2.1 Determinación de la dosis óptima del coagulante floculante policloruro de aluminio (PAC).	90
4.3.2.2 Evaluación de la dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M).	92
4.3.2.3 Evaluación de dosis óptima de zeolita natural del (1%)	95
4.3.3. Análisis estadístico.....	97
4.3.3.1 Análisis estadístico del primer proceso con floculante, sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural.	98



4.3.3.2	Análisis estadístico del segundo proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosa.	100
4.3.4.	Evaluación comparativa de las concentraciones óptimas para el proceso de floculación con sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, para la remoción de arsénico as (v) en soluciones acuosas.....	103
4.3.5.	Evaluación del contenido de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos en el distrito de coata.	106
4.4	LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL ISOTERMA DE ÓPTIMO AJUSTE PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO AS (V) EN SOLUCIONES ACUOSAS Y AGUAS NATURALES SUBTERRÁNEAS DE POZO.	111
V.	CONCLUSIONES.....	133
VI.	RECOMENDACIONES.....	135
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXOS.....		144

ÁREA : Ciencias de la Ingeniería.

TEMA: Tecnologías ambientales y recursos naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03 de enero 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades químicas del arsénico	32
Tabla 2 Categorización del agua y su comportamiento en la floculación	43
Tabla 3 Rangos de pH para el proceso de coagulación-floculación para sales de aluminio y de hierro.....	45
Tabla 4 Ubicaciones coordenadas UTM - WGS84, de pozos subterráneos para toma de muestras de agua natural en el Distrito de Coata.....	62
Tabla 5 Activación de la zeolita natural (Ze-n)	65
Tabla 6 Concentraciones recomendadas de las soluciones coagulante-floculante para tratamiento por test de jarras	68
Tabla 7 Determinación de la dosis óptima del floculante $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico de soluciones acuosas de volumen de un litro.....	69
Tabla 8 Determinación de la dosis óptima de $Fe(OH)_3$ (0,1M) para la remoción de arsénico de soluciones acuosas de volumen de un litro por floculación con $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	69
Tabla 9 Determinación la dosis óptima de la zeolita natural para remoción de arsénico de soluciones acuosas de volumen de un litro por floculación con $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ e $Fe(OH)_3$ óptimo.....	70
Tabla 10 Determinación de dosis óptima del floculante sulfato de aluminio para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro.....	79
Tabla 11 Dosis óptima del floculante sulfato de aluminio al (1%) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas. análisis de varianza	81



Tabla 12	Determinación de dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0.1M) utilizando volumen óptimo de sulfato de aluminio para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas para volumen de un litro.....	84
Tabla 13	Determinación de dosis óptima de zeolita natural del (1%) utilizando volumen óptimo de sulfato de aluminio e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas para volumen de un litro	87
Tabla 14	Determinación de dosis óptima del floculante policloruro de aluminio para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas para volumen de un litro	90
Tabla 15	Determinación de dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0.1M) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas para volumen de un litro.....	92
Tabla 16	Determinación de dosis óptima de la zeolita natural del (1%) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas para volumen de un litro.....	95
Tabla 17	Análisis de varianza del primer proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico $As(V)$ de solución acuosas.	98
Tabla 18	Análisis de varianza del segundo proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico $As(V)$ de solución acuosas.	101
Tabla 19	Evaluación del proceso de floculación con floculante sulfato de aluminio utilizando volúmenes óptimos de hidróxido férrico (0,1M) y solución de	



zeolita natural del (1%) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro	104
Tabla 20 Evaluación del proceso de floculación con policloruro de aluminio utilizando volúmenes óptimos de hidróxido férrico (0,1M) y de zeolita natural del (1%) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro.....	105
Tabla 21 Aguas naturales de pozos subterráneos con contenido de arsénico sin tratamiento en el Distrito de Coata.	107
Tabla 22 Concentración de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos con tratamiento de dosis óptimas del floculante sulfato de aluminio - hidróxido férrico y zeolita natural.....	109
Tabla 23 Remoción de arsénico (As) de aguas naturales de pozos subterráneos con tratamiento de dosis óptimas de floculante policloruro de aluminio - hidróxido férrico y zeolita natural.....	110
Tabla 24 Proceso de remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio dosis óptimas de $Fe(OH)_3$ y zeolita natural .	115
Tabla 25 Proceso de remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio, dosis óptimas de $Fe(OH)_3$ y zeolita natural para el Isoterma de Freundlich	116
Tabla 26 Valores del modelo del isoterma de Freundlich	117
Tabla 27 Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V)con floculante sulfato de aluminio dosis óptimas de $Fe(OH)_3$ y zeolita natural, para el Isoterma de Langmuir.....	118



Tabla 28 Valores del modelo del isoterma de Langmuir	119
Tabla 29 Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas de Fe(OH) ₃ y zeolita natural	121
Tabla 30 Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas de Fe(OH) ₃ y zeolita natural, para el modelo del Isoterma de Freundlich	123
Tabla 31 Valores del modelo del isoterma de Freundlich	124
Tabla 32 Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas de Fe(OH) ₃ y zeolita natural, para el modelo de Langmuir	125
Tabla 33 Valores del modelo del isoterma de Langmuir	126



ÍNDICE DE FIGURA

	Pág.
Figura 1 Diagrama Eh-pH de especies acuosas del arsénico en el sistema $As-O_2 - H_2O$ a $25^{\circ}C$ y 1 bar de presión total	38
Figura 2 Especies de $As(V)$ en función de pH	38
Figura 3 Especies de $As(III)$ en función de pH	39
Figura 4 Ubicación geográfica del distrito de coata	59
Figura 5 sectores del estudio.....	60
Figura 6 Ubicación hidrográfica.....	61
Figura 7 Dosis óptima del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas	80
Figura 8 Diagrama de Pareto de la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas ..	82
Figura 9 Superficie de mallas de la dosis optima del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas...	82
Figura 10 Dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) con volumen óptimo de sulfato de aluminio del (1%) para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas.....	84
Figura 11 Dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) con volumen óptimo de sulfato de aluminio al (1%) para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas.....	86



Figura 12 Dosis óptima de zeolita natural del (1%) utilizando volumen óptimo de sulfato de aluminio al (1%) e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas	88
Figura 13 Dosis óptima de zeolita natural al (1%), con volumen óptimo de sulfato de aluminio al (1%) e hidróxido férrico Fe (OH) ₃ (0,1M) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas.....	88
Figura 14 Dosis óptima del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V).....	91
Figura 15 Superficie de mallas de la dosis óptima del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas.....	91
Figura 16 Dosis óptima de hidróxido férrico Fe (OH) ₃ (0,1M) utilizando volumen óptimo del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V)	93
Figura 17 Dosis óptima de hidróxido férrico Fe (OH) ₃ (0,1M) utilizando volumen óptimo del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V)	94
Figura 18 Determinación de dosis óptima de zeolita natural de (1%) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio (PAC) e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico As(V).....	96
Figura 19 Determinación de dosis óptima de zeolita natural de (1%) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio (PAC) e hidróxido férrico (0.1M) para remoción de arsénico As(V).	97



Figura 20	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y su aporte significativo en el proceso para la remoción del arsénico As (V).....	100
Figura 21	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y su aporte significativo en el proceso para la remoción del arsénico As (V).....	102
Figura 22	Evaluación comparativa de las concentraciones óptimas para el proceso de floculación con sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, para la remoción de arsénico as (v) en soluciones acuosas.....	106
Figura 23	Remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio y dosis óptimas $Fe(OH)_3$ y zeolita natural.....	115
Figura 24	Modelo de Freundlich para equilibrio de remoción de As (V) con floculante sulfato de aluminio y zeolita natural.....	117
Figura 25	Modelo de Langmuir para equilibrio de remoción de As (V) con floculante sulfato de aluminio y zeolita natural.....	119
Figura 26	Remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas $Fe(OH)_3$ y zeolita natural.....	122
Figura 27	Modelo de Freundlich para equilibrio de remoción de As (V) con floculante policloruro de aluminio y zeolita natural.....	124
Figura 28	Modelo de Langmuir para equilibrio de remoción de As (V) con floculante policloruro de aluminio y zeolita natural.....	125
Figura 29	Primer proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita Natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosas.....	129



Figura 30 Segundo proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante policloruro de aluminio (PAC), hidróxido férrico y zeolita Natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosas. 131



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Certificación de la caracterización de la zeolita-andesita natural	144
ANEXO 2: Informe de ensayos para la determinación de dosis óptimas de los floclantes de sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, zeolita natural, hidróxido férico.....	147
ANEXO 3: Informe para la determinación de contenido de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos en el distrito de coata	158
ANEXO 4: Fotografías de las pruebas realizadas.....	171
ANEXO 5 : Fotografías de la toma de muestra en los pozos en el distrito de coata	171
ANEXO 6 : Ubicación geográfica del distrito de coata.....	173
ANEXO 7: Ubicación punto de muestreo.....	174
ANEXO 8. Declaración jurada de autenticidad de tesis	175
ANEXO 9. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	176



ACRÓNIMOS

LMP:	Límite Máximo Permisible
PH:	Potencial de hidrogeno
MINAM:	Ministerio del Ambiente
CSIC:	Consejo superior de Investigación Científica
Ze-n:	zeolita natural
RPM:	Revoluciones por minuto
AS(V):	Arsénico pentavalente, estado de oxidación +5
AS (III):	Arsénico trivalente, estado de oxidación +3
FeAsS:	Arsenopirita
Ppm:	Partes por millón
<i>Fe (OH)</i> :	hidróxido férrico
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$:	sulfato de aluminio (coagulante inorgánico)
PAC:	Policloruro de aluminio
DOE:	Diseño experimental
% (R):	% de remoción del ion metálico
Co:	inicial del ion metálico
Cf:	Concentración final del ion metálico.
b:	Es la constante de Langmuir



RESUMEN

El agua para consumo humano con contenido de arsénico (As) es de alta toxicidad a la salud humana; la OMS y las normas nacionales establecen el límite máximo permisible (LMP) para el (As) de $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, en aguas para consumo humano. El objetivo del trabajo es determinar la capacidad de remoción de arsénico en aguas naturales para consumo humano, por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio y adsorción con zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico, con control de pH óptimo, en muestras de agua de pozos subterráneos del Distrito de Coata, Provincia y Región Puno. La metodología fue, la caracterización de la zeolita natural por Difracción de Rayos X, se activó con hidróxido férrico 0,1M (de viruta de hierro). Para la floculación, floculantes-zeolita se utilizaron con una concentración del 1%. Los resultados fueron, en la remoción de As(V) en solución acuosa por el floculante sulfato de aluminio de 97,91% y para aguas de pozos subterráneos, de 99,20% para (P1), 99,38% (P2), 96,27% (P3), 97,36% (P4) y 98,04% (P5); para el floculante policloruro de aluminio la remoción de As(V) fue de 98,75% en la solución acuosa y para aguas de pozos subterráneos, de 99,20% para (P1), 96,40% (P2), 92,37% (P3), 96,71% (P4) y 97,85% (P5). En proceso Batch, se evaluaron el modelo isotérmico de Freundlich y Langmuir, para determinar la cinética de equilibrio y el modelo de isoterma de mejor ajuste de la zeolita natural para remoción de arsénico (V). Se concluye que, para ambos floculantes la remoción de As(V) tiene valores mayores al (LMP) de 89,58% o concentraciones menores a $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de As(V), y el modelo de Langmuir fue el de mejor ajuste, por mostrar alta correlación isotérmica R^2 de 99,99%.

Palabras Clave: Aguas naturales, Arsénico, Pozo subterráneo, Remoción, Zeolitas.



BSTRACT

Water for human consumption with arsenic (As) content is highly toxic to human health; The WHO and national standards establish the maximum permissible limit (LMP) for (As) of $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, in waters for human consumption. The research objective was to determine the arsenic removal capacity in natural waters for human consumption, by flocculation with aluminum sulfate and aluminum polychloride and adsorption with natural zeolite conditioned with ferric hydroxide, with optimal pH control, in underground wells water samples of Coata District, Puno Province and Puno Region. The methodology was, the characterization of the natural zeolite by X-ray Diffraction, it was activated with 0,1M ferric hydroxide (from iron shavings). For flocculation, zeolite-flocculants were used with a concentration of 1%. The results were, in the removal of As(V) in aqueous solution by the aluminum sulfate flocculant, 97,91% and for water from underground wells, 99,20% for (P1), 99,38% (P2), 96,27% (P3), 97,36% (P4) and 98,04% (P5); For the polyaluminum chloride flocculant, the removal of As(V) was 98,75% in the aqueous solution and for water from underground wells, 99,20% for (P1), 96,40% (P2), 92,37% (P3), 96,71% (P4) and 97,85% (P5). In the Batch process, the Freundlich and Langmuir isothermal model were evaluated to determine the equilibrium kinetics and the best-fitting isotherm model of the natural zeolite for arsenic (V) removal. It is concluded that, for both flocculants, the removal of As(V) has values greater than (LMP) of 89,58% or concentrations less than $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ of As(V), and the Langmuir model was the best fit, showing high isothermal correlation R^2 of 99,99%.

Keywords: Natural waters, Arsenic, Removal, Underground well, Zeolites.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El arsénico tanto en su forma orgánica como inorgánica es un elemento tóxico a la salud humana, ya que persiste en la naturaleza en estado natural por formaciones geológicas y por actividades antropogénicas. La presencia de arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano es indeseable aun a bajas concentraciones, por ocasionar diversos efectos negativos a la salud (Rivera y Piña, 2005), así tenemos la presencia de lesiones cutáneas como las alteraciones hiperqueratosis palmoplantar y papular, enfermedades neurológicas y cardiovasculares. Diferentes estudios indican que el arsénico inorgánico cuando es ingerido produce alteraciones de la pigmentación que se asocian con el cáncer de piel y de órganos internos (Byrd et al., 1996).

En el agua los estados de oxidación del arsénico (As) más comunes son el As (III) que se encuentra en el anión arsenito, que prevalece en aguas subterráneas anaerobias y el As (V) que se encuentra en el anión arsenato en aguas superficiales cargadas negativamente. La remoción del As (V) es de mayor eficiencia que la remoción del As (III), por lo que es necesario su pre oxidación a As (V), mediante la aplicación de sustancias oxidantes, seguido de procesos de adsorción y de coagulación-filtración, cuya aplicación es una tecnología no convencional que en términos generales tienen bajos costos económicos para el proceso de tratamiento de remoción del As (III).

En zonas rurales de la Región Puno, se ha determinado la necesidad de aforo de agua para consumo humano procede generalmente de fuentes de aguas de pozos subterráneos y



aguas superficiales (Pary y Mamani, 2018), con concentraciones de arsénico, superiores a los límites máximo permisibles (LMP), de los Estándares de Calidad del Agua - Norma nacional del Perú, D.S. 004-2017 MINAM, en la que las aguas destinadas para consumo humano, deben tener una concentración para el (As) de $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, según el límite máximo permisible (LMP). Actualmente en el sector rural de la Región Puno, las aguas destinadas para consumo humano generalmente proceden de fuentes de pozos subterráneos que no cuentan con tratamientos específicos aptas para consumo humano, caso que se ha diagnosticado en el sector rural del Distrito de Coata Provincia de Puno.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. formulación del problema general

- ¿En qué medida la remoción de arsénico (As) por adsorción con Zeolitas naturales activadas con hidróxido férrico y por proceso de floculación es adecuado para obtener aguas de pozo subterráneos aptos para el consumo humano?

1.2.2. formulación de problemas específicos

- ¿En qué medida el arsénico movilizado por procesos naturales en aguas de pozos subterráneos, será remocionado por adsorción utilizando Zeolita natural activada con hidróxido férrico y por procesos de floculación con Sulfato de aluminio y Policloruro de aluminio; para obtener agua apta para consumo humano?
- ¿En qué medida el tiempo de oxidación para la dosis óptima de la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico, la dosis óptima de los floculantes



Sulfato de aluminio y de Policloruro de aluminio y el control óptimo del pH, serán adecuados para remocionar el arsénico As (V) en aguas naturales subterráneas de pozo?

- ¿En qué medida el proceso Batch explicará el mejor rendimiento para la remoción de As(V), utilizando flocladores sulfato de aluminio y policloruro de aluminio?
- ¿En qué medida el isoterma de óptimo ajuste, explicaran la mejor remoción de arsénico As (V) en aguas naturales subterráneas de pozo, en proceso discontinuo Batch, mediante adsorción con zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico, floclación con Sulfato de aluminio y con Policloruro de aluminio?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

- La remoción de arsénico (As), en aguas naturales para consumo humano, se realiza mediante procesos de adsorción con zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y utilizando procesos de floclación con Sulfato de aluminio y con Policloruro de aluminio, con control de pH óptimo.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Es de importancia caracterizar los parámetros físico-químicos de la zeolita natural, para aplicar en procesos de remoción de arsénico en aguas naturales subterráneas de pozo.



- Para el proceso de adsorción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos es necesario determinar las concentraciones óptimas de la zeolita natural activado con hidróxido férrico; el tiempo de oxidación; los floculantes de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio y el pH,
- El proceso discontinuo batch, es adecuado para la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano, utilizando zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio.
- La determinación de la isoterma de mejor ajuste, explicara el nivel de proceso de remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozo subterráneos, por adsorción con zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, en proceso discontinuo batch.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En la salud humana, el consumo de agua de fuentes de abastecimiento con contenido de arsénico es indeseable por sus efectos negativos de toxicidad aun a bajas concentraciones (Rivera y Piña, 2005); el arsénico (As) persiste en la naturaleza en estado natural por formaciones geológicas y por actividad antropogénica. Carbonell y Rodríguez (1999), las fuentes naturales de (As) en aguas de abastecimiento se encuentran en captaciones de pozos subterráneos y las fuentes antropogénicas generalmente se deben por las actividades minero metalúrgicos, cuyas lixiviaciones son incorporadas a fuentes de agua superficiales (Carbonell et al, 1995; García et al., 2011). La reducción de niveles de arsénico en aguas para consumo humano hoy en día es un reto ambiental prioritario para su remoción.



Justificación ambiental

En la Región Puno se han reportado problemas de contaminación de arsénico (As) en aguas para consumo humano en zonas rurales, en fuentes de abastecimiento de aguas de pozos subterráneos y aguas superficiales (Pary y Mamani, 2018), para Tapia (2017) con concentraciones superiores a los límites máximo permisibles (LMP), de los estándares de Calidad del Agua, Perú D.S. 004–2017 MINAM; por los estudios realizados, es ineludible desarrollar estudios para el tratamiento y remoción de arsénico presentes en aguas naturales procedentes de fuentes de captación de pozos subterráneos destinado para el consumo humano.

Justificación tecnológica

La ausencia de tecnologías prácticas y económicas en tratamiento de aguas, crean la necesidad para el desarrollo de nuevos métodos no convencionales basados en adsorbentes modificados o activados con comportamiento de oxidación del arsénico, así tenemos el hierro metálico en forma de hidróxido férrico obtenidos a partir de virutas de fierro metálico desechable y con modificación de componentes de minerales en sustancias arcillosos y zeolíticos naturales, que en disolución forman sales de hidróxidos que floculan y remocionan el arsénico presente en aguas naturales de pozos subterráneos destinado para el consumo humano; procesos propuestos de bajos costos económicos por tener disposición como material natural existente en la Región Puno.

Justificación social

Uno de los problemas sociales para la población urbana y rural, es el abastecimiento de agua para consumo, con ausencia o bajas concentraciones de arsénico, de prioridad en zonas rurales debido a que las fuentes de captación de aguas proceden de pozos subterráneos



y aguas superficiales, sin tratamiento, cuya consecuencia es la toxicidad a la salud humana, consecuentemente es indeseable por sus efectos negativos a la salud aun a bajas concentraciones; por lo tanto la población requiere consumir agua de calidad de fuentes saludables, para lo que se debe realizar el tratamiento del agua con procesos seguros y adecuados.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la capacidad de remoción de arsénico en aguas naturales para consumo humano, por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio y adsorción con zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y con control de pH óptimo; en muestras de agua de pozos subterráneos del Distrito de Coata, Provincia y Región Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros físico-químicos de la zeolita natural, para utilizar en procesos de remoción de arsénico, de soluciones acuosas y de aguas naturales subterráneas de pozo.
- Determinar las concentraciones óptimas de floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, y de la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico de viruta de hierro metálico y el pH óptimo; para el proceso de remoción de arsénico As (V) en soluciones acuosas y en aguas naturales subterráneas de pozo.



- Determinar en proceso discontinuo batch, la remoción de arsénico As (V) por floculación con sulfato de aluminio, con policloruro de aluminio y adsorción por la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico; en aguas naturales subterráneas de pozo para consumo humano, del Distrito de Coata, Provincia y Región Puno.
- Determinar el isoterma de óptimo ajuste para la remoción de arsénico As (V) en soluciones acuosas y aguas naturales subterráneas de pozo, en proceso discontinuo batch, por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio. mediante absorción con zeolita natural acondicionado con solución de hidróxido férrico.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Aguas naturales

Son aquellas aguas continentales que corresponden a aguas de manantiales, ríos, glaciares y aguas subterráneas localizados en los continentes exento de salinidad debido a la evaporación que al pasar al estado gaseoso estas pierden las sustancias sólidas que las acompañan, purificándose de manera natural, que por esta condición son llamadas aguas dulces y potables para el consumo humano (Sabater et al., 2008); También son las aguas consideradas microbiológicamente sanas de origen de estratos o yacimientos subterráneos o aguas que broten de un manantial que puedan ser captadas artificialmente mediante sondeo, pozos, zanjas o galerías, o la combinación de estas captaciones (SACYL, 2008).

2.1.2. Aguas subterráneas

Para, Valdivieso (2020) las agua subterráneas se entienden, como aquellas masas de agua que se encuentran bajo la superficie del suelo. También se conocen como manto acuífero. Forman parte del ciclo hidrológico, que se infiltra a través del agua de lluvia, de la nieve, del agua que se infiltra de las lagunas y los ríos, o en general, cuando la capa superficial del suelo se encuentra saturada de agua.

Las aguas subterráneas son aquellas aguas que se ubican bajo la superficie de la tierra, que se alojan y circulan en el subsuelo conformando los acuíferos; la fuente



principal de las aguas subterráneas se debe al aporte de las aguas de lluvia por infiltración. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y esta satura completamente los poros y fisuras del terreno, para su posterior flujo a la superficie de forma natural a través de manantiales o vertientes o por cauces fluviales (AQUAE, 2022).

2.1.3. Metales pesados

Según la tabla periódica, Los metales pesados son considerados como elementos químicos de alta densidad (mayor a $4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), masa atómico mayores de 20 uma, estos metales en concentraciones bajas son tóxicos; dentro de estos elementos tenemos el aluminio (Al), berilio (Be), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros; los metales pesados generalmente están presentes a elementos no metálicos como es el arsénico (Contreras et al., 2004).

2.1.4. Propiedades químicas del arsénico

El elemento químico arsénico cuyo símbolo químico es As, de número atómico 33, en la tabla periódica se encuentra en el quinto grupo; pertenece al grupo de los metaloides o semimetal, de electrones por nivel de 2, 8, 18, 5 ; de electronegatividad 2 en la escala de Pauling, de radio covalente de 119 pm, de radio de Van der Waals de 185 pm, su estado como óxido es de medio ácido, debido a que muestran propiedades intermedias entre los metales de transición y los no metales; se encuentra en la naturaleza en diversas formas, raramente se encuentra en estado

sólido, principalmente se encuentra en forma de sulfuros de apariencia gris metálico (Contreras et al., 2004).

Tabla 1

Propiedades químicas del arsénico

Nombre	Arsénico
Símbolo	As
Número atómico	33
Valencia	+3, +5
Estado de oxidación	-3, +3, +5
Configuración electrónica	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
Masa atómica (g/mol)	74.9216
Densidad kg/m ³)	5780 (gris), 4700 (amarilla)
Punto de ebullición (°C)	613 (sublima)
Punto de fusión (°C)	817 (a 28 atm)

Fuente: Tomado de Contreras et al. (2004).

2.1.5. Zeolitas naturales

Las zeolitas naturales están constituidas por minerales de aluminio-silicatos hidratados, de sodio, calcio, magnesio, potasio y otros alcalinos y alcalinos térreos; poseen una estructura cristalina eléctricamente cargada que pueden ser utilizadas para retener cationes y aniones. Las zeolitas durante su formación, en su superficie algunos de los compuestos de aluminio son remplazados por silicatos, cada una de estas sustituciones crea una carga negativa en dicha superficie y que requerirá un catión (ion de carga positiva) para balancear las cargas. Existen diferentes tipos de zeolitas naturales de acuerdo a su composición mineralógica, entre las más comúnmente usadas y de mayor abundancia podemos nombrar la clinoptilolita, chabatiza, heulandita, modernita, filipsita, silicalita y heroinita entre otras (Curi et al., 2006).



Las zeolitas naturales están constituidas en una familia de minerales alúmino-silicatos cristalinos. A la actualidad se han descrito alrededor de cincuenta zeolitas naturales y dentro del mercado industrial se han sintetizado más de ciento cincuenta zeolitas, para aplicaciones específicas en el campo de la catálisis industrial. Dentro de las zeolitas naturales tenemos la clinoptilolita, formada por la desvitrificación de ceniza volcánica en lagos o también en aguas marinas, hace millones de años, esta zeolita, es la más estudiada y considerada la de mayor utilidad. La clinoptilolita, tiene una estructura similar a una jaula, que consiste en tetraedros de SiO_4 y AlO_4 unidos por átomos de oxígeno compartidos, las cargas negativas de las unidades de AlO_4 se equilibran con la presencia de cationes intercambiables, de calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro; estos iones pueden ser desplazados por otras sustancias, por ejemplo, por iones metálicos, mediante proceso de intercambio catiónico (ZEOCAT, 2008).

2.1.6. Andesita

La andesita es una roca ígnea extrusiva y también sub volcánica de composición química intermedia, es decir que tiene entre el 52 al 63% de sílice (SiO_2), comúnmente suele tener textura porfídica y a veces afanítica, además, mineralógicamente se compone de anfíbol, plagioclasas y piroxenos principalmente (Álvarez, 2021).



2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Metales pesados en el agua.

En la Actualidad uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las aguas en sus fuentes hídricas por metales pesados, y debido a la toxicidad que presentan los metales pesados en el agua estas son considerados un serio problema para las poblaciones que se abastecen de diferentes fuentes de aguas, el incremento de la concentración de estos metales en las fuentes hídricas procede de las diversas actividades antropogénicas, elevando además los efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos (Londoño- et al., 2016).

Los metales pesados pueden encontrarse en aguas superficiales en forma de fases disueltas particuladas, coloidales; estas se presentan en forma de hidróxidos, óxidos, silicatos o sulfitos en arcillas y en materias orgánicas. La solubilidad de estos metales generalmente está en trazas en las aguas superficiales y de subsuelo, estas están sujetos al control del pH del agua, el control de los ligandos que es responsable para la fijación al material adsorbente, del estado de oxidación de sus componentes minerales y de las condiciones redox del sistema (Anawar et al., 2003).

2.2.2. Iones metálicos y no metálicos en el ciclo del agua.

En el ciclo del agua se tiene componentes iones metálicos y no metálicos, dentro de ellos conformados por los iones: Al, Fe, Mn, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni y Ag, y algunos no metales, como el As, Se y Sb habitualmente ligados al ciclo del agua en la naturaleza. Estos elementos químicos iónicos se encuentran en el agua en pequeñas concentraciones ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), en la que la mayoría de los organismos vivos



presentes en el agua se han adaptado durante su evolución a estas concentraciones, y se tiene que su escasez como su exceso puede perjudicar seriamente la salud humana y del ecosistema. Por principio físico-químico los metales se caracterizan por reaccionar con átomos que poseen electrones libres, estos átomos seden parte de su densidad electrónica a los metales para formar enlaces estables. Los elementos donadores de electrones más relevantes son el oxígeno y el azufre. Por eso los metales se encuentran en la naturaleza sobre todo como óxidos y sulfuros, por lo tanto, la importancia del comportamiento de los metales y no metales en el ciclo del agua es conocer su movilidad en el agua y su fijación en los sólidos. Así, por ejemplo, el Al, As y el Fe son elementos abundantes en la corteza terrestre sin embargo su concentración en la mayoría de las aguas naturales es muy baja (Sabater et al., 2008).

2.2.3. Arsénico

Para, Lillo (2020) el arsénico (As) es un elemento que se encuentra ampliamente en el aire, las rocas y el suelo, la hidrósfera y la biósfera. Afecta al medio ambiente a través de una combinación de procesos naturales (clima, actividad biológica, erupciones volcánicas) y procesos antropogénicos (minería, uso de combustibles fósiles, uso del suelo como leña y aditivos alimentarios).

El arsénico (As) es uno de los metaloides más tóxicos presentes en el medio ambiente y la especiación de éste depende de diversos factores químicos, físicos y biológicos. La distribución y contaminación del arsénico se debe a procesos naturales y antropogénicos, y su problemática se debe a su fácil movilización en el ambiente. Las altas concentraciones de arsénico en agua y suelo se han convertido en un



problema global, El arsénico es uno de los elementos naturales de la corteza terrestre; considerablemente distribuido en el medio ambiente, con presencia en el aire, el agua y suelo. El arsénico como componente inorgánico es altamente tóxico. (Rangel et al., 2015).

Según, Quansah et al. (2015) el arsénico está presente en forma natural a niveles de altas concentraciones en las aguas subterráneas y en su forma inorgánica es altamente tóxico.

2.2.4. Toxicidad del arsénico (As) en el agua

La toxicidad de los compuestos del arsénico presentes en el agua decrece en el orden de: Arsina > compuestos inorgánicos de As (III) > As (V). Cuando las condiciones son aerobias, el As (V) es predominante en el sistema y estables que presentan afinidad por el hierro y/o manganeso que en lo posterior forman sales insolubles con menos movilidad y esta propiedad hacen que el arsénico sea menos tóxica; en condiciones aerobias el arsénico es reducido a Arsina y metilarsina, mediante bacterias como el *Escherichia coli*, *Flaviobacteriom sp*, *Methanobacteriom sp* (Karagas et al., 2000).

2.2.5. Adsorción

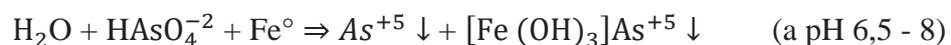
La actividad de la adsorción, es un fenómeno físico, cuyos componentes son el adsorbato (partículas a absorberse) y adsorbente (sustancia que retiene al adsorbato), en donde un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a la superficie del mismo, por medio de una fuerza física: conocidos como la fuerza de dispersión de London, que en este proceso no

implica de un intercambio de electrones, lo que lo hace reversible. La adsorción es ampliamente utilizada para la purificación de gases y líquidos. En la industria es común encontrar columnas empacadas a través de las cuales se hace fluir el líquido o gas a tratar. Algunos ejemplos son: la extracción de humedad de una corriente gaseosa, que se hace pasar por una columna con alúmina activada que adsorbe la molécula del agua; otro es la purificación de agua con carbón activado, el cual tiene la capacidad de absorber moléculas inorgánicas con transferencia de carga iónica como son metales ionizados en el agua y de moléculas orgánicas como pesticidas, hidrocarburos (Carbotecnia, 2023).

2.2.6. Oxidación del arsénico en el agua

En las aguas naturales el arsénico se encuentra como especie disuelta, presente como oxianiones con estados de oxidación As (III) en forma de $\text{H}_2\text{AsO}_3^{-1}$ y As(V) en forma de HAsO_4^{-2} . Son no frecuentes el As (0, As(-I) y el As(-II). (Smedley y Kinniburgh, 2002).

La reacción del As(V) con el hierro Fe° en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es el siguiente:



2.2.7. Estados redox del arsénico

La movilidad del arsénico (As), depende de su estado de oxidación, controlados por las condiciones redox (potencial redox, Eh) y del pH, (ver fig. 1) debido a que el (As), es un elemento formador de oxianiones por su sensibilidad de moverse en el agua subterráneo a pH, típicos (pH 6,5 – 8,5); a valores de pH altos

> a 6,9 predomina el HAsO_4^{2-} y a pH bajos predomina el $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$. En condiciones reductoras a pH inferior a 9,2 predomina la especie neutra del (As); a condiciones extremas ácidas predomina H_3AsO_4 , mientras en condiciones de extrema basicidad, es dominante la especie AsO_4^{-3} (ver figs. 2 -3).

Figura 1

Diagrama Eh-pH de especies acuosas del arsénico en el sistema $\text{As-O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ a 25°C y 1 bar de presión total

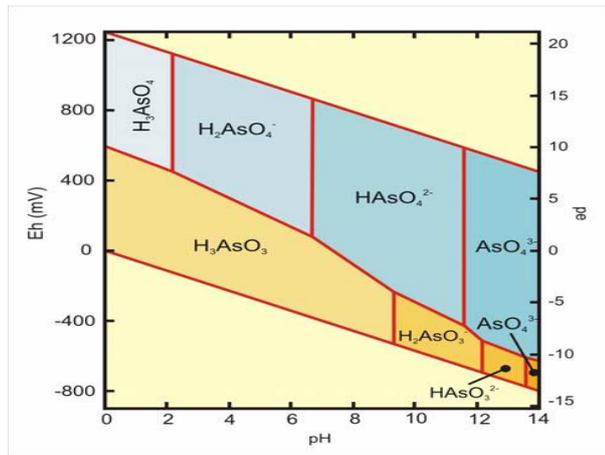


Figura 2

Especies de As(V) en función de pH

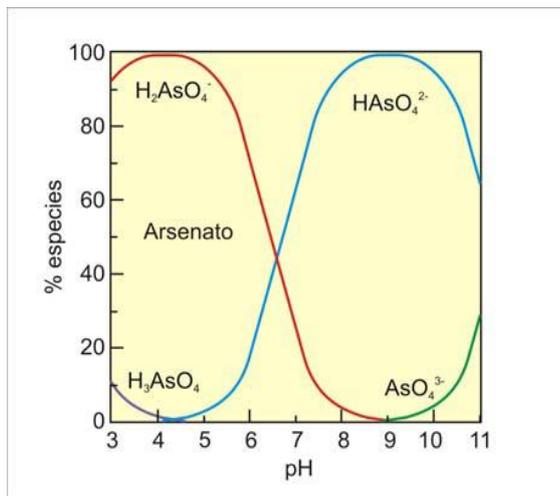
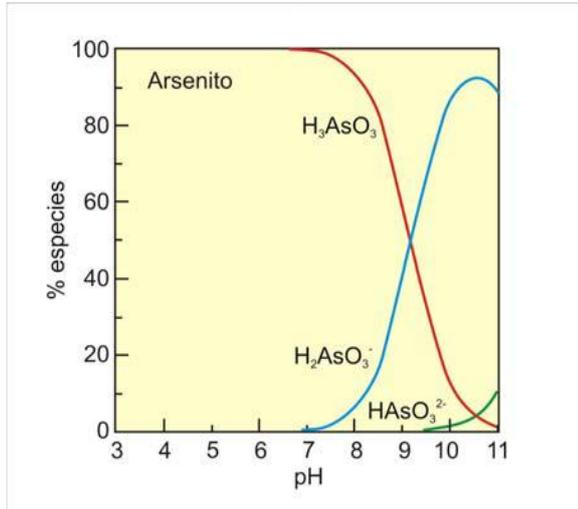


Figura 3

Especies de As (III) en función de pH



2.2.8. Coagulación floculación

Rivas et al. (2017) los coagulantes se utilizan a menudo para recoger sedimentos saturados en el tratamiento de aguas naturales e industriales. La coagulación consiste en la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides que componen una solución, De todos los coagulantes el más utilizado por su bajo costo y gran efectividad es el sulfato de aluminio.

El proceso de coagulación y de floculación son procesos diferentes que se llevan a cabo de forma simultánea para la formación de flóculos que proporcionan el tratamiento del agua para la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica, color aparente y verdadero, de sustancias productoras de sabor y color al agua, de la demanda química de oxígeno, eliminación de bacterias, virus, plancton en general. Los coagulantes, son sustancias químicas de hierro o de aluminio que permiten producir el proceso de coagulación al ser agregado al agua, obteniéndose como



resultado la formación de flocs pesados y con mayor velocidad de sedimentación; también se tienen los coadyuvantes o ayudantes de coagulación, los cuales al actuar solas sobre el agua producen poco o ningún floc, pero mejoran los resultados obtenidos con los coagulantes. Entre los coadyuvantes encontramos el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activada, el almidón y gran número de polielectrolitos de masa molecular elevada (Miranda, 2012).

- **Coagulación**

La coagulación es el proceso físico-químico de desestabilización de partículas coloidales que se encuentran en el agua, proceso que se produce mediante adición de sustancias químicas con el objetivo de romper las fuerzas electrostáticas que las mantiene separadas, para su posterior aglomeración de las partículas para formar flóculos, que fácilmente sedimenten (Rivas et al., 2017).

- **Etapas de la coagulación.**

La fase de la coagulación se produce en un tiempo muy breve (casi instantáneo); proceso que presenta las siguientes etapas: hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión, formación de compuestos químicos poliméricos y su adsorción por los coloides, adsorción mutua de coloides y acción de barrido (Miranda, 2012).

- **Tipos de coagulación.**

Se manifiestan dos tipos esenciales de coagulación, por adsorción y por barrido. La coagulación por adsorción ocurre cuando el agua presenta alta concentración de partículas en estado coloidal; cuando al agua turbia se adiciona el



coagulante, los productos solubles del coagulante son absorbidos por los coloides y en forma casi instantánea se forman los flocúlos. La coagulación por barrido ocurre cuando el agua es de baja turbiedad, con cantidad pequeña de partículas coloidales; en este proceso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado del floculante (Rivas et al., 2017).

- **Mecanismos de la coagulación**

La desestabilización se puede obtener por los siguientes mecanismos físico-químicos: como la compresión de la doble capa, adsorción y neutralización de cargas, agrupamiento en el sistema de coagulación y sedimentación de partículas por floculación y adsorción. (Ortuño et al., 2002). La compresión de la doble capa se produce cuando se aproximan dos partículas semejantes, en la que sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, conocido como potencial de repulsión, que es función de la distancia que los separa y el potencial cae rápidamente con el incremento de iones de cargas opuestas de las partículas, este proceso se consigue solamente cuando se adiciona el coagulante, que inmediatamente forma iones de coagulación.

Según, Cabrera et al. (2009) el proceso de floculación se estudia a nivel de laboratorio y se realizan pruebas instrumentales sobre los residuos antes mencionados. En este estudio, se utilizaron dos coagulantes, sulfato de aluminio y cloruro férrico, por lo que se investigaron los efectos del pH, el tipo de coagulante y la cantidad de coagulante.



El proceso de adsorción y neutralización de cargas, se produce cuando las partículas coloidales poseen cargas negativas en su superficie, llamadas cargas primarias que atraen a los iones positivos que se encuentran en la solución del agua y estas forman la primera capa adherida al coloide (Guillén et al., 2021). En la coagulación y floculación, la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente, por lo que se requiere una energía complementaria necesaria para optimizar la coagulación, motivo por el cual se realiza una agitación mecánica o hidráulica (Ortuño et al., 2002).

Proceso de agrupamiento en el sistema de coagulación y la sedimentación de partículas por floculación y adsorción. Este proceso se debe a las partículas coloidales desestabilizadas, que son atrapados dentro de un floc, debido a la adición de una cantidad suficiente del coagulante; generalmente tienen el comportamiento de un buen floculante las sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, Cloruro Férrico $FeCl_3$; el floc producido está formado por moléculas de hidróxidos, así tenemos el de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia de ciertos aniones y las partículas coloidales aceleran la formación del precipitado (Miranda, 2012).

- **Categorización del agua y su comportamiento en la floculación**

En la tabla 2. se cita la categorización del agua y su comportamiento en el proceso de floculación.

Tabla 2

Categorización del agua y su comportamiento en la floculación

Tipo de agua	Tipo de floculación	Requerimiento
Baja concentración de coloides, baja alcalinidad	Formación de precipitado Floc de barrido	Alta dosis de floculante y adición de alcalinidad.
Baja concentración de coloides, alta alcalinidad	Formación de precipitado Floc de barrido	Alta dosis de floculante.
Alta concentración de coloides, baja alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides. (pH 6 a 7).	Mayor dosis de floculante y adición de alcalinidad
Alta concentración de coloides, alta alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos, y precipitaciones de hidróxido (pH > 7). incremento de floc con concentración de partículas.	Mayor dosis de coagulante- floculante.

- **Floculación.**

En el tratamiento de aguas, la floculación es el proceso que continua a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Guillén et al., 2021).

- **Floculantes.**

Los floculantes son sales de polímeros con elevados pesos moleculares, generalmente son moléculas orgánicas solubles en el agua, denominados monómeros repetidos en cadenas largas. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis (Guillén et al., 2021).



- **Objetivos de la floculación.**

En el proceso de coagulación-floculación, la segunda etapa de la mezcla es el que le corresponde a la etapa de floculación, este proceso debe ser una mezcla lenta, con el objetivo de conseguir mayores contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color; la mezcla del agua con el floculante debe realizarse a una velocidad constante dentro de la unidad operativa de floculación; debido a que los flóculos no deben fraccionarse o romperse; dentro del tiempo óptimo para la floculación. Los flóculos inicialmente son pequeños y al juntarse entre ellos, crean aglomerados de mayor tamaño que son capaces de sedimentar con facilidad (Miranda, 2012).

- **Parámetros que influyen en la coagulación-floculación**

Con el objetivo de lograr una buena coagulación-floculación, es necesario controlar los parámetros que se citan; con la finalidad de optimizar el proceso de sedimentación: pH, turbiedad, sales disueltas, temperatura del agua, tipo de coagulante utilizado, condiciones de la mezcla, sistemas de aplicación del coagulante y el color. Miranda (2012) la inter relación entre cada uno de los parámetros, permiten predecir las cantidades de los floculantes a adicionar al agua dentro de los parámetros a controlar tenemos:

- **Influencia del pH.**

En el proceso de floculación el parámetro pH es la variable más importante a tener en cuenta, para cada calidad de agua existe un rango de pH óptimo para el sistema de coagulación y que así mismo depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado

y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces surge el problema respecto a la cantidad del floculante que se debe adicionar. Para la coagulación con sales de aluminio el rango adecuado de pH es de 6,0 a 8,0 y para las sales de hierro, el rango del pH óptimo es de 5,5 a 8,5 unidades. En la tabla 3, se expone los rangos del pH para sales de aluminio y de hierro.

Tabla 3

Rangos de pH para el proceso de coagulación-floculación para sales de aluminio y de hierro

ión	Grado óptimo de pH para coagulación – Floculación
Al ⁺³	6,0 – 8,0
Fe ⁺³	5,5 – 8,5

Fuente: Miranda (2012).

- **Influencia de la turbiedad**

La turbiedad del agua natural generalmente se debe a la fuente de origen, una gran parte es debido a partículas provenientes de lodos que arrastran sólidos en suspensión y coloides de diámetros que varían entre 0,2 a 5 µm. La coagulación de estas partículas es fácil de realizar cuando el pH del sistema se mantiene dentro del rango óptimo. Para cada turbiedad existe una dosis de coagulante, con el objetivo de obtener la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima del floculante.

- **Influencia de sales disueltas**

Las diferentes sales contenidas en el agua, estas influyen en el proceso de la coagulación y floculación, debido a que existe cambios en el rango del pH óptimo,



modificación del tiempo requerido para la floculación, modificación de la cantidad de coagulantes para la dosis requerida, modificación de la cantidad residual del coagulante en el efluente.

- **Influencia de la temperatura**

La temperatura tiene una influencia directa con la densidad del agua en flujo, llegándose a la observación de que la variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad del agua, de diferentes grados (variación de la densidad del agua), que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión y por lo tanto la floculación se hace más lenta; a temperaturas elevadas del agua, desfavorecen a la floculación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad, con respecto a la sedimentación esta conlleva al aumento de su viscosidad y este cambio explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

- **Influencia de la dosis del coagulante**

Respecto a la cantidad del coagulante a utilizar, esta tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, indicándose que a poca cantidad del coagulante, no se neutraliza totalmente la carga de las partículas, con formación de micro flóculos muy escasos, por lo tanto, se tendrá una turbiedad residual elevada; si se utiliza alta cantidad de coagulante, para este proceso se produce la inversión de la carga de las partículas, que conduce a la formación de gran cantidad de micro flóculos con tamaños muy pequeños, cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, y por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada; la selección de la dosis del coagulante y la cantidad óptima de su concentración debe ser adecuadamente determinada mediante ensayos de pruebas de jarras.

- **Isotermas de adsorción.**

La isoterma de adsorción o de remoción de iones catiónicos especifica la relación entre los iones catiónicos (metálicos) que se encuentra en la fase fluida y la concentración del catión (metal) adsorbido bajo el control de pH, temperatura y de la dosis del adsorbente (Kuppusamy et al., 2014).

La evaluación de adsorción de un ion metálico en soluciones de agua y acuosas son evaluadas mediante la siguiente ecuación explicado en la ecuación 01.

$$\% (R) = \left[\frac{(C_o - C_f)}{C_o} \right] 100 \quad (1)$$

Donde:

% (R) = % de remoción del ion metálico
Co = Concentración inicial del ion metálico
Cf = Concentración final del ion metálico.

El proceso de adsorción para remoción de iones catiónicos de una fase líquida se basa en el desarrollo de realizarse en dos tipos de investigación:

- Primero, en pruebas de equilibrio de adsorción realizado por lotes.
- Segundo en estudios de procesos dinámicos de adsorción en flujo continuo.

Los isotermas de adsorción de equilibrio para procesos de evaluación para un soluto único, son fundamentados por los modelos de Langmuir y Freundlich (Volesky y Holan, 1995).

- **Isoterma de Langmuir.**

Akram et al. (2017) el modelo de adsorción de Langmuir se basa en la condicional de que la adsorción máxima ocurre en una monocapa saturada de

moléculas de soluto en la superficie del adsorbente, el cual tiene un número finito de sitios idénticos de adsorción y homogéneos (Mostaedi et al., 2013); asimismo no ocurre interacción entre las moléculas adsorbidas y la energía de adsorción debido de que es uniforme en su superficie del adsorbente (Saha y Orvigb, 2010). El modelo de Langmuir se puede expresar por las siguientes ecuaciones (Volesky y Holan, 1995):

$$Y_e = \frac{b Y_m C_e}{1 + b C_e} \quad (1)$$

Donde:

Y_e : Cantidad del ion metálico retenido por unidad de masa de sorbente, mg. g⁻¹

C_e : Concentración en equilibrio del ion metálico en la fase líquida, mg. L⁻¹

Y_m : constante de Langmuir que expresa la máxima capacidad de adsorción para una mono capa completa, mg. g⁻¹

b : constante de Langmuir que expresa la afinidad entre el sorbente y el sorbato, mg. L⁻¹

La ecuación (1), puede ser linealizada en la forma siguiente:

$$\frac{C_e}{Y_e} = \frac{1}{Y_m b} + \frac{C_e}{Y_m} \quad (2)$$

Representado C_e/Y_e frente a C_e , se obtiene una ecuación lineal cuya pendiente determina el valor de (Y_m) y la intercepción en la ordenada es el valor (b).

Del modelo de la Isoterma de Langmuir, se evalúa el factor de separación (R_L), que expresa el tipo de la isoterma Langmuir, según los valores de la ecuación y es una constante adimensional (Kahraman y Pehlivan, 2017).



$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_0} \quad (3)$$

Donde:

C_0 : Es la concentración inicial de los iones del metal ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).

b: Es la constante de Langmuir

La evaluación del factor de separación, R_L , describe el tipo de isoterma de Langmuir, teniéndose las interpretaciones de:

Como irreversible ($R_L=0$); favorable ($0 < R_L < 1$); lineal ($R_L=1$) y desfavorable ($R_L > 1$) (Kahraman & Pehlivan, 2017).

- **Isoterma de Freundlich:**

El modelo del Isoterma de Freundlich describe la adsorción del ion metálico, en la superficie heterogénea (Ullah et al., 2013), debido a la diversidad de los sitios de adsorción, excluyéndose a la formación de mono capas acompañada de interacciones entre moléculas adsorbidas (Ullah et al., 2013).

El modelo del isoterma de Freundlich es expresada por la siguiente ecuación (Volesky y Holan, 1995):

$$Y_e = K_f C_e^{1/n} \quad (4)$$

Donde:

Y_e : Cantidad del ion metálico retenido por unidad de masa del sorbente, $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

C_e : Concentración de equilibrio del ion metálico en fase del biosorbente sólido, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

K_f : Constante de equilibrio, $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) (\text{L} \cdot \text{mg})^{1/n}$



n: Constante relacionada con la afinidad entre el sorbente y el sorbato.

De la ecuación (4), se linealiza tomando logaritmos:

$$\text{Log } Y_e = \text{Log } K_f + (1/n) \text{Log } C_e \quad (5)$$

Representando Log Y_e frente a Log C_e , se obtiene una nueva ecuación en la que la pendiente representa (n) y la ordenada en el origen representa K_f .

2.3. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Mejía et al. (2009) en el tratamiento de aguas para eliminación del arsénico, desarrollan la metodología de tratamiento con zeolita natural (chabazita) y óxido de magnesio, para remover arsénico (As^{+5}) en aguas para consumo humano, considerando que la zeolita oxidada es un adsorbente eficiente para remover metales ionizados en el agua. El análisis por difracción de rayos X de la zeolita natural chabazita muestra cambios la presencia de óxidos e hidróxidos amorfos incorporados durante el pre tratamiento, responsables para la adsorción de metales presentes en el agua. Los resultados del diseño experimental muestran una eficiencia superior a 90 % de As^{+5} adsorbido en un tiempo de cinco minutos. Los resultados indican que las variables más significativas que afectan la adsorción de As^{+5} son la concentración inicial de As y la relación sólido/líquido (S/L) para el proceso de adsorción.

Gelves (2017) la zeolita natural se encuentra en las rocas ígneas de la formación Combia recolectadas en la región de La Pintada en el estado de Antioquia. Se tomaron muestras por diferentes métodos de propiedades mineralógicas con el fin de determinar los tipos de partículas presentes y analizar la composición de la zeolita; Se encontró que las condiciones minerales mixtas, están presentes una variedad de metales ácidos/reactivos y oxidantes; este material está sujeto a procesos superiores de oxidación (tipo Fenton),



reducción de nitrógeno, etc. en fases orgánicas; los óxidos gaseosos (NO_x) sufren cambios en la industria petroquímica. Durante la reducción selectiva de NO con amoníaco o metano (hasta un 98% de conversión a 500°C), los concentrados de zeolita se utilizan en forma nativa, modificada (H-Zeo y Co-Zeo) o después de cualquier tratamiento. Mediante un inusual proceso de activación, la liberación de compuestos oxigenados a partir de metano y dióxido de carbono, se adapta para ello la barrera dieléctrica del plasma, la eficiencia de la transferencia de carbono de la fase gaseosa a la líquida es de aprox 50% (h/p). Narváez (2009) evaluó tres materiales para la remoción de arsénico: alúmina, alúmina modificada o activada con silicio y zeolita obtenida a partir de cenizas de carbón. Se evaluó muestras de aguas de pozos en Zimapán, que presentan arsénico de 476 ppb, 19 veces mayor a la normatividad mexicana, y el arsénico fue remocionado en el siguiente orden de actividad: alúmina>alúmina modificada con silicio (activada)>zeolita ceniza. Los tres materiales fueron capaces de remover arsénico hasta una concentración por debajo de 25 ppb.

Catacora y Marín (2015) modelaron y evaluaron el proceso para remover arsénico (As) contenido en aguas superficiales de la zona de Leticia del distrito de Uchumayo Arequipa, utilizando el método de adsorción por zeolitas, comparando la eficiencia de la zeolita natural en medio de pH ácido y básico, frente a la zeolita activada con óxido de magnesio (MgO) saturada en solución de ácido clorhídrico (HCl) 2M, que se dispersa en las cavidades de la zeolita y luego sometido a sequedad; esta zeolita activada se utilizó para adsorber y remover arsénico (As); concluyéndose que la zeolita activada posee una adsorción superior a las demás, por lo tanto es un material óptimo para la remoción del arsénico.

Tapia (2017) en la caracterización físico-química de la arcilla chacko (Hidralgiritita), en su determinación se demostró que este material contiene elementos y sustancias químicas



de óxidos, con un alto contenido de silicio, aluminio y hierro e indica que la pared celular del material tiene mayor cantidad de grupos funcionales para formar ligandos con los iones de arsénico (As). Así mismo indica que los métodos no convencionales para la remoción de arsénico de aguas contaminadas, muestran que se tiene mayor capacidad de absorción de arsénico por los materiales con alto contenido de óxido de hierro y óxido de manganeso. En la adsorción de arsénico As, por la arcilla chacko (Hidralgiritita), se determinaron las variables que influyen en condiciones favorables, siendo estas: el tiempo de contacto por 70 minutos, cantidad de adsorbente de $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; pH 7,5 y temperatura a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pary y Mamani (2018) indican que el rendimiento de la remoción de As, por adsorción de soluciones acuosas y en muestras de agua superficial del río Ayaviri, fue del 93,75%, para ambas muestras; se utilizaron $14,64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de FeCl_3 para el proceso de oxidación y $0,022 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de óxido de calcio CaO, seguido del proceso de floculación por un tiempo de 25 minutos y de igual cantidad de tiempo para su sedimentación y su posterior filtración en columna de grava-arena IF, tratado a un caudal de $10,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.

Coaquira (2019) en su estudio, se recolectaron pozos de agua subterránea en dos puntos de muestreo de arsénico (As), de la ciudad de Caracoto, provincia de San Román-Puno; El valor de configuración de la muestra M-I del área urbana es $0,1803 \text{ mg/l}$ y la muestra M-II del área rural es $0,1524 \text{ mg/l}$; Este es D.S. Supera el límite legal de $0,010 \text{ mg/l}$. 004-2017 MINAM. La investigación de minerales se realizó en el laboratorio de tecnología del agua de la facultad de química de la UNA-Puno. El arsénico se eliminó del agua mediante la luz solar en equipos de Oxidación Avanzada; Muestras de aguas residuales con una concentración óptima de $1,7 \text{ g/L}$ de sulfato ferroso fueron tratadas con $6,6 \text{ mL/L}$ de hipoclorito de sodio al 7% durante un período adecuado de exposición solar de 180 min en



un flujo constante de 75 L de agua; Muestras obtenidas: M-I con 94,95% de remoción de arsénico a pH 7,67 absoluto y M-II con 90,85% de remoción de arsénico a pH 7,70. cambió. 8 a 12,5; del informe diario SENAMHI-PUNO.

Vaca et al. (2001) indica que la capacidad de separación de metales pesados utilizando zeolita tezontle, se determinó mediante pruebas en reactores intermitentes, empleando 1 g de tezontle y soluciones de Cu, Cd, Pb y Zn en concentraciones de 1, 3 y 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, neutralizadas con NH_4OH y CH_3COOH , 0.1N. Se sometieron a agitación rotatoria a 30 rpm por 18 horas. Los metales fueron analizados por espectrometría de absorción atómica. Asimismo, se estudió la desorción de estos metales para 1 g de tezontle natural en agua desionizada, demostrándose que la zeolita tezontle, adsorbe metales pesados presentes en aguas.

Nahuatlato et al. (2016) caracterizaron un adsorbente natural tipo hidrotalcita, para remoción de arsénico de aguas, realizada por recomendaciones de la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), que indica que el arsénico está incluido en el Grupo I de las sustancias carcinógenas, la ingesta periódica de agua con alta concentración produce Arsenicosis, por lo que la organización mundial de la salud recomienda una concentración máxima de $10 \text{ ug} \cdot \text{L}^{-1}$. Entre los adsorbentes más comunes se encuentran: la alúmina activada, zeolitas y arcillas aniónicas. En el grupo de las arcillas aniónicas se pueden encontrar a los LDH (hidróxidos dobles laminares) conocidas como hidrotalcitas (HT). Se sintetizó hidrotalcita por coprecipitación, los productos obtenidos se sometieron a tratamiento térmico de 450 a 650°C. Las HT se han posicionado como una buena alternativa para su aplicación como adsorbente de arsénico, ya que en la región interlaminar pueden incorporarse diversos aniones; con la ventaja adicional de que pueden ser reutilizadas; para



la síntesis de los compuestos tipo hidrotalcita, se utilizó una relación molar $Mg/Al=2$, el desarrollo es un método sostenible utilizando hidrotalcita y viable para producir grandes cantidades del absorbente para remoción de (As) del agua. Las ventajas de este material frente a otros, es el bajo costo de las materias primas y de fácil disposición.

Loya (2022) en este proyecto se determinaron y analizaron las propiedades de adsorción de un cristal de aluminosilicato llamado zeolita proveniente de Chihuahua. Las propiedades de dispersión de rayos X confirmaron que se trataba de una zeolita de tipo clinoptilolita con estructura de heulandita, a pesar de las características del método Brunauer-Emmett-Teller (BET), las propiedades de dispersión y el patrón de microscopía electrónica de barrido (SEM) reflejan la naturaleza porosa del material. Se intentó determinar las isothermas de adsorción, así como las capacidades de los elementos arsénico y cadmio en soluciones acuosas cercanas a pH 7. Se determinó que se eliminaron 1015 mg g⁻¹ y 1345 mg g⁻¹ de arsénico y cadmio. Según el modelo de Freundlich, que muestra una adsorción heterogénea, todos los metales tienen una cobertura perfecta.

Ceseña et al. (2019) la contaminación del agua por arsénico es un importante problema de salud pública en todo el mundo. El uso de materiales porosos como la hidrotalcita (HT) es un método eficaz y eficiente para la adsorción de arsénico debido a su alta tasa de eliminación y bajo costo. Se preparó un hidróxido doble de Mg/Fe utilizando el método combinado para eliminar el arsénico de las aguas residuales. Se secó a 100°C y 350°C. Los defectos se caracterizaron por XRD y DSC-TGA. Se realizaron pruebas de equilibrio de eliminación de arsénico en un sistema por lotes que contenía soluciones de arsénico sintético y muestras de gotas. El tratamiento térmico más alto a 350 °C mostró la mejor capacidad para eliminar el arsénico; se absorbió 447,7 mg de arsénico por gramo de



adsorbente en 180 min. Esta capacidad depende de cambiar el proceso mediante tratamiento térmico.

Gao (2006) indica que la arcilla chacko, poseen alto contenido de minerales, óxido de hierro y alúmina y estas tienen la propiedad de adsorber iones de arsénico, de aguas superficiales y subterráneas. Se evaluó la adsorción de arsénico (V), bajo diferentes condiciones fisicoquímicas sobre cuatro adsorbentes comerciales: hematita, goethita, magnetita y hierro valencia cero, los resultados muestran que la adsorción del arseniato está relacionada con el contenido de hierro en el adsorbente y la tasa de adsorción aumenta en el siguiente orden: geotita, hematita, magnetita y hierro y debido a que la arcilla chacko que contiene óxido de hierro y alúmina actúa como adsorbente de arsénico contenido en aguas .

Rivera y Piña (2005) evaluaron el tratamiento de aguas para remoción de arsénico mediante adsorción con zeolita natural acondicionada. La presencia de arsénico en fuentes de abastecimiento de agua es indeseable por efectos negativos a la salud. El trabajo presenta el empleo de un medio adsorbente de zeolita natural (clinoptilolita) recubierta con óxidos de hierro a partir de cloruro férrico, para remover arsénico de aguas naturales. El óxido de hierro fijado en la superficie del material filtrante se comporta como un medio de contacto efectivo para remover arsénico, que combina las ventajas de un filtro convencional con las de un medio adsorbente, en un tratamiento en flujo continuo, de bajo costo y fácil de operar. Además, la zeolita natural con propiedades de intercambio de cationes es un excelente soporte de estos óxidos. En laboratorio se utilizó agua con contenido de arsénico de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, tratándose hasta $212 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de lecho, obteniendo una concentración final inferior al límite máximo permisible ($0,045 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) establecido en la norma NOM127-SSA1-1994, México. Los mejores resultados de remoción de arsénico fueron obtenidos con zeolitas



acondicionadas mediante evaporación con soluciones de hierro en presencia del medio granular, en especial cuando se usan sales de hierro III. El proceso de remoción de arsénico, no requiere más de 4 minutos de tiempo de contacto del agua con el lecho para llevar a cabo la transferencia del arsénico de la fase acuosa a la fase sólida (sorbente).

Vidal (2007) el estudio se realizó con la zeolita mordenita, abundante en yacimientos de Chile, que, al ser activado con un detergente catiónico, aplicado a la superficie de la zeolita, este proceso revierte su polaridad y permite la asociación de aniones, en la que las zeolitas modificadas han mostrado capacidad de absorber aniones de arsénico, molibdeno, selenio y azufre; y cationes de cobre, níquel y plomo, entre otros. Para el acondicionamiento de la zeolita se pulverizó en un mortero, se tamizó a malla 12, se lavó para eliminar los polvos, se secó a temperatura ambiente y se acondicionó con NaCl 2M, durante tres días, cambiando la solución de la sal cada 24 horas, una vez acondicionado con NaCl, se obtuvo un incremento de 5,8 veces la cantidad de sodio con respecto al material sin acondicionar.

Zeomex (2002) indica que las zeolitas remueven y retiene metales pesados por proceso de intercambio de cationes; en el que se logra una efectiva remoción de metales pesados en un rango de pH de 3,5-8,0. La zeolita clinoptilolita es excelente en su intercambio de iones proceso por el cual se disminuye el contenido de metales pesados de aguas residuales alcalinas con un contenido de varios miles de ppm hasta 100 ppm e incluso hasta 10ppm.

Zamzów et al. (1990) En Reno Research Center, la U.S. Bureau of Mines, probaron 22 zeolitas, entre las cuales se incluían la clinoptilolita, para la retención de una serie de metales; se demostró que la selectividad de retención de metales en solución de agua, por la zeolita clinoptilolita tiene el siguiente rango de inmovilización de iones catiónicos de: Pb >



$Cd > Cs > As > Cu(II) > Cr(III) > Ni(II) > Hg(II)$. Así mismo indican que para la retención de metales en agua, la eficiencia de las diferentes zeolitas se basa en la relación Si/Al en iguales condiciones de operación, a menor razón Si/Al, mayor capacidad de la zeolita para el intercambio catiónico. La elución o desorción de las zeolitas utilizadas en el intercambio, se regenera con solución de NaCl, excepto para el ión Cr^{+3} , el cual no puede ser eluido. Se tiene la influencia de algunos parámetros que influyen en el intercambio: temperatura ($T = 30 - 50^{\circ}C$), concentración ($C: 200 - 400$ ppm), tamaño de partícula ($t_p = 0,5 - 1,5$ mm) y pH medio ($pH = 3,5 - 4,8$).

Glocheux et al. (2015) estudiaron la optimización de materiales tomando como base el axihidróxido de Fe y Al, los que fueron obtenidos con coagulantes de grado industrial, en el cual el pH es determinante en la capacidad para la adsorción del arsénico. A pH altos se obtuvieron alta eficiencia en la adsorción de As (V), mientras que, a pH bajos es favorable para la adsorción de As (III). También se demostró que la presencia de grupos de fosfatos en los materiales mejoró altamente la adsorción de As (III).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación desarrollada es explicativo y experimental; Murillo (2012) desarrollado a nivel de laboratorio, en este estudio las muestras de agua natural procedentes de pozos subterráneos para la remoción de arsénico (As) por adsorción con zeolita natural, activada con hidróxido férrico de virutas de hierro metálico y floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio; proceso que permitirá obtener información del tratamiento del agua para consumo humano.

3.1.1. Ubicación geográfica

El área de estudio tiene la ubicación geográfica en el Distrito de Coata, Provincia de Puno, Región Puno, la ubicación se expone en la figura 4. Los pozos subterráneos para la toma de muestras de agua natural para consumo humano, son situados en sectores urbano y rural; en la figura 5 se muestra los sectores de estudio para el muestreo de aguas naturales provenientes de pozos subterráneos.

3.1.2. Coordenadas geográficas

La ubicación del área de estudio de la remoción de Arsénico en aguas naturales de pozos subterráneas para consumo humano, del Distrito Coata, esta comprendido en las coordenadas geográficas que se exponen en la tabla 4.

3.1.3. Ubicación política

Región: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Coata

Figura 4

Ubicación geográfica del distrito de coata

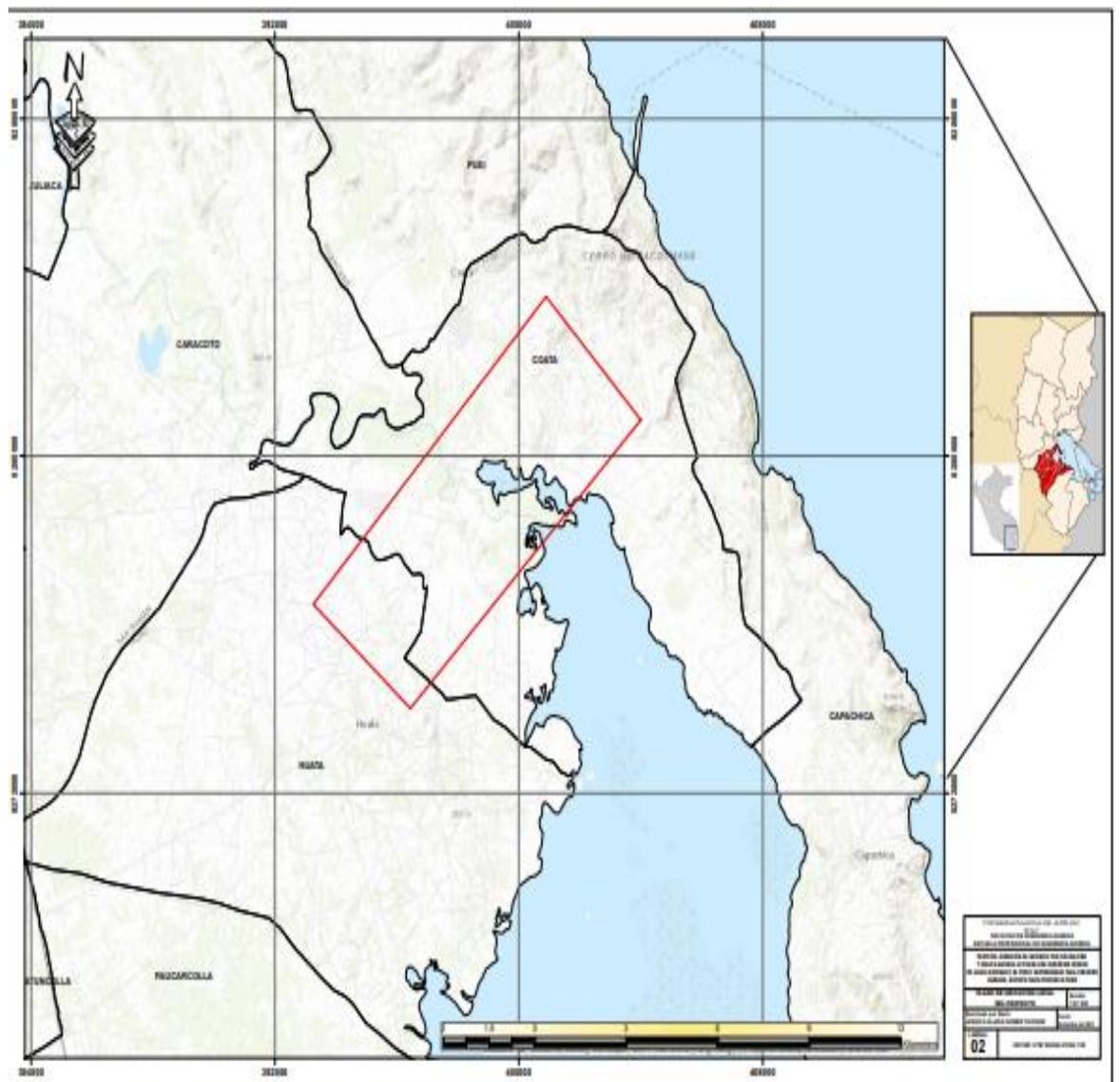
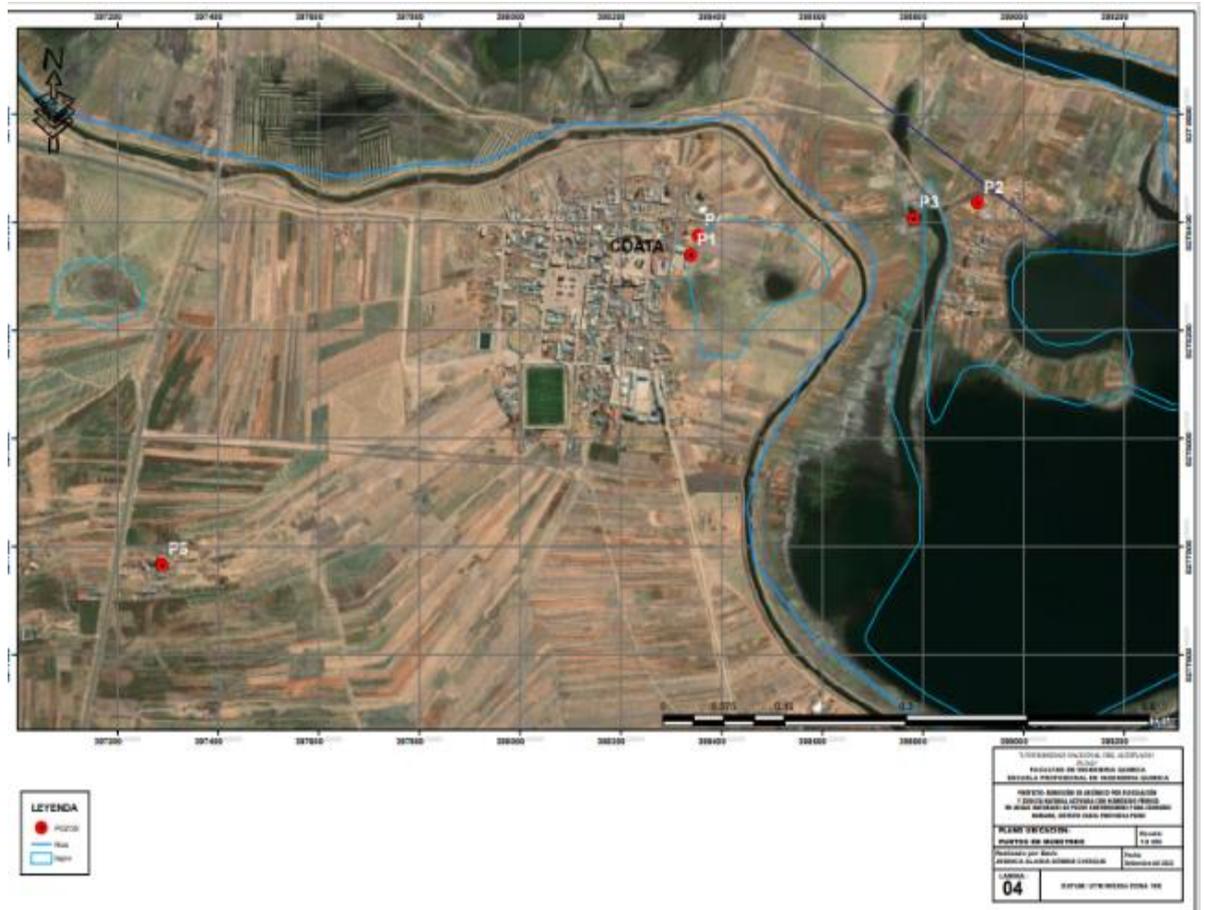


Figura 5

Sectores del estudio



3.1.4. Ubicación hidrográfica

Sistema Endorreico: Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa.

Vertiente: Lago Titicaca.

Cuenca: Río Coata. (ver figura 6)

Figura 6

Ubicación hidrográfica



3.1.5. Población y muestras

Para el estudio, la población es establecido por la ubicación de pozos subterráneos para captación de agua natural para consumo humano, en el área urbana y rural del distrito de Coata, Provincia Puno, Región Puno.

Se establecieron 05 pozos subterráneos para captación de agua natural destinados para consumo humano, cuyo objetivo principal fue evaluar la concentración de arsénico (As), en muestras de agua de los pozos subterráneos ubicados en los sectores del distrito de Coata:

- Sector Urbano ciudad Coata: 02 pozo subterráneos para captación de agua natural de subsuelo.



- Sector Rural Distrito de Coata: 03 pozos subterráneos para captación de agua natural de subsuelo.

En la tabla 4, se muestran la ubicación y coordenadas UTM de los pozos subterráneos, determinados para la toma de muestras de agua para consumo humano y el estudio del contenido de concentración de arsénico.

Tabla 4

Ubicaciones coordenadas UTM - WGS84, de pozos subterráneos para toma de muestras de agua natural en el Distrito de Coata.

Pozos	Lugar	Altura (m.s.n.m)	Coordenadas UTM
Pozo1. Urb.	Centro Educativo 700308 Coata.	3 815	E. 398339 N. 8278340
Pozo2. Rural	Sector Coataza. Coata	3 813	E. 398909 N. 8278435
Pozo3. Rural	Sector Coataza Bajo. Coata	3 810	E. 398781 N. 8278406
Pozo4. Urb.	Sector Periferia. Coata	3 814	E. 398354 N. 8278374
Pozo5. Rural	Sector Chinchas. Coata	3 816	E. 397288 N. 8277766

Fuente: elaboración propia

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales, equipos y reactivos.

- **Materiales**

Vasos de precipitación de (500ml, 1000ml); matraces Erlenmeyer; matraces volumétricos (250ml, 500ml, 1000ml); buretas graduadas, pipetas de (1ml, 5ml, 10ml, 25ml), pisetas embaces de vidrio de (500ml). Otros materiales: Cronómetro.

- **Equipos.**



De los Laboratorios: Tecnología de Aguas y de Química Analítica, de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno: tamices por número de Mallas, W.S. Tyler – USA; balanza electrónica, Metler. AJ800; agitador magnético, IKAR C-MAG. MS-7; equipo para floculación Test Jarras, VELP Scientifica Modelo FP4; multiparámetro para determinaciones in situ, HACH Modelo Sension5; pH metro, RoHS Modelo PH-911-2021; conductímetro, HACH Modelo Sension5; GPS, Venture HC- etrex - Garmin.

- **Reactivos.**

óxido férrico Fe_2O_3 ; Sulfato de aluminio $[Al(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O]$ al (5%); Policloruro de aluminio $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p(Cl_{3n-m-2p})]$ al (5%); Agua destilada desionizada; Arseniato de sodio $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$; zeolita natural.

3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

El método experimental desde la mirada de Hernandez-Sampiere et al. (2014) son el uso de elementos de laboratorio, donde son manipulados las variables de estudio; para el estudio se realizó la remoción de arsénico de aguas naturales para consumo humano, provenientes de pozos subterráneos, tal como se expone en la tabla 4; que comprenden tres pozos ubicados en el sector rural y dos pozos en el sector urbano, comprendidos en el área de estudio, ubicados en el Distrito de Coata, Provincia Puno. El estudio se realizó a nivel de laboratorio, con el objetivo de valorar la remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas preparadas en laboratorio y en muestras de agua natural de los pozos subterráneos citados; para el trabajo de investigación se desarrollaron las siguientes evaluaciones:



3.3.1. la metodología para caracterizar los parámetros físico-químicos de la zeolita natural, para utilizar en procesos de remoción de arsénico, de soluciones acuosas y de aguas naturales subterráneas de pozo.

La zeolita natural procede de los yacimientos ubicados en las coordenadas UTM, Este 0372003, Norte 8264911 a 3842 msnm, del área rural de la comunidad Llungo del Distrito de Atuncolla, Provincia y Región Puno. Para su caracterización, la muestra de zeolita, se sometió a reducción de tamaño de las partículas a malla M-20, sometiéndose a sequedad natural hasta peso constante, seguidamente se pulverizo a tamaños de partículas de número de malla M-100. Para la caracterización físico-química, se evaluó por el “*método de Difracción de Rayos X*”, realizados en los “*Laboratorios de Investigación y Servicios para Determinación de Estructuras Químicas*”; de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa-Perú. teniéndose el nombre y formula química zeolita natural: zeolita-Andesita de estructura química de componente: $0,735\text{Al} - 0,24\text{Ca} - 0,26\text{Na} - 1,265\text{SiO}_2$; del 97,93%; obtenido por lectura de DB card number 9001030 (2022).

- **Activación de la zeolita natural (Ze-n)**

La activación de la zeolita natural se realizó con hidróxido férrico 0,1M. con el desarrollo del siguiente proceso:

Se seleccionó la zeolita natural a granulometría de malla M-100 (0,147 mm) retenido, y con el cual se prepara una solución de concentración del 1%.

El proceso de activación de la zeolita es directo con la adición de hidróxido férrico 0,1M; antes del proceso de floculación.



Tomar 08 vasos con volumen de 1 litro de la solución acuosa de arsénico y a cada vaso codificado de 01 a 08 con contenido de solución acuosa, a cada vaso adicionar la cantidad óptima seleccionada del floculante (sulfato de aluminio al (1%) o policloruro de aluminio (1%)), adicionar el volumen óptimo de hidróxido férrico 0,1M; y finalmente adicionar a cada vaso en orden, las cantidades de zeolita natural (Ze-n) de concentración del 1% , tal como se muestra en la tabla 5, a la solución acondicionados en los 8 vasos, someter a agitación por 5 minutos a 200 rpm y dejar en reposo por 5 minutos y continuar con el proceso de floculación con una agitación a 20 rpm por 20 minutos, dejar en reposo por 20 minutos y elegir el volumen de la dosis óptima de la zeolita natural para la mayor remoción del arsénico (V) de la solución acuosa activada con hidróxido férrico.

Tabla 5

Activación de la zeolita natural (Ze-n)

Vaso	1	2	3	4	5	6	7	8
Vol. Sol. Acuosa (L)	1	1	1	1	1	1	1	1
Floculante (mL)	Opt.							
Fe(OH) ₃ (0,1M) (mL)	Opt.							
Ze-n (1%) (mL)	1	1.5	2.5	3	4	5	6	8

Fuente: elaboración propia

En la tabla 5. se muestran la propuesta en mL de las concentraciones que se van a utilizar para las pruebas respectivas para la activación de la zeolita natural, primero se obtendrá los datos óptimos de los floculantes policloruro de aluminio al (1%), sulfato de aluminio al (1%) y el hidróxido férrico Fe(OH)₃ (0,1M)



Donde:

Opt = Dosis óptimo.

Los hidróxidos de hierro se comportan como coloides de cargas positivas, y debido a esta propiedad tienen la capacidad de adsorber aniones complejos y dentro de estos tenemos al arsénico en sus formas de $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$ y AsO_4^{-3} para el As (V). (Glocheux et al., 2015).

3.3.2. La metodología para Determinar las concentraciones óptimas de floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, y de la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico de viruta de hierro metálico y el pH óptimo; aguas naturales subterráneas de pozo.

Para la determinación de los valores óptimos para la remoción de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos, se realizaron las pruebas en 8 repeticiones (8 vasos experimentales), el número de repeticiones se tomó en función a 3 variables de estudio: coagulación-floculación, activación de la zeolita natural con hidróxido férrico y control de pH; cuyo tratamiento corresponde a (2^3), que corresponde a 8 muestras para cada variable de estudio.



3.3.3. La metodología para Determinar en proceso discontinuo batch, la remoción de arsénico As (V) por floculación con sulfato de aluminio, con policloruro de aluminio y adsorción por la zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico; en aguas de pozo para consumo humano.

- **Preparación de solución estándar de arsénico y soluciones acuosas para proceso de remoción de arsénico.**

Preparar, solución estándar de Arsénico (V), de concentración $[12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}]$, a partir del reactivo Q.P. de arseniato de sodio $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

A cada litro de la solución acuosa adicionar 75 mL de solución estándar de arsénico, con el objetivo de obtener la solución acuosa de concentración de $[0,090 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}]$ de arsénico.

- **Evaluación por proceso de coagulación-floculación**

La evaluación de la remoción de arsénico en el tratamiento de aguas naturales por proceso de coagulación-floculación fue evaluado utilizando el equipo de Test de Jarras del Laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno.

La evaluación del proceso de floculación por Test de Jarras, se fundamentó en la directiva de la norma ASTM D2035-80 (2003) “Standard Practice for Coagulation - Flocculation Jar Test of Water”. Para el proceso de evaluación la calidad del agua por coagulación-floculación mediante Test de Jarras, se siguió la siguiente secuencia:



preparar soluciones stock de los coagulantes sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ y Policloruro de aluminio $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p(Cl_{3n-m-2p})]$, de concentración de 5% y por dilución preparar soluciones de concentración del 1%, para desarrollar las respectivas pruebas de coagulación-floculación, con el objetivo de obtener la dosis óptima para cada floculante; la dosis óptima viene a ser el valor mayor de remoción de arsénico en el tratamiento de la solución acuosa. La tabla 6, muestra las referencias de la concentración ideal de floculantes, tiempo de duración de las soluciones de coagulantes utilizadas y el equivalente de concentración por volumen de la solución del floculante para la evaluación de la dosis óptima para procesos de Test de Jarras. La determinación de las dosis óptimas para los diferentes reactivos se expone en las tablas 7, 8 y 9 respectivamente; el procedimiento es similar para el floculante de policloruro de aluminio.

Tabla 6

Concentraciones recomendadas de las soluciones coagulante-floculante para tratamiento por test de jarras

Reactivo Químico	Concentración de la solución	Duración de la solución	1 mL de floculante, por litro de solución equivale a:
Sulfato de aluminio	1%	1 mes	10 mg $Al^{+3} \cdot L^{-1}$
Policloruro de Aluminio	1%	2 meses	10 mg $Al^{+3} \cdot L^{-1}$

Fuente: Miranda (2012)

Tabla 7

Determinación de la dosis óptima del floculante $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico de soluciones acuosas de volumen de un litro

N° Vaso	Agua con (As) Inicial [mg · L ⁻¹]	$Al_2(SO_4)_3$ del 1% (mL)	pH	NTU _F	Agua con (As) Final [mg · L ⁻¹]	R(As) (%)
V01	0,090	1				
V02	0,090	2				
V03	0,090	5				
V04	0,090	10				
V05	0,090	15				
V06	0,090	20				
V07	0,090	25				
V08	0,090	30				
LMP	0,010					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Determinación de la dosis óptima de $Fe(OH)_3$ (0,1M) para la remoción de arsénico de soluciones acuosas de volumen de un litro por floculación con $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$.

N° Vasos	Agua con (As) Inicial [mg · L ⁻¹]	pH	NTU _F	$Al_2(SO_4)_3$ del 1% Optima (mL)	$Fe(OH)_3$ (0,1M) (mL)	Agua con (As) Final [mg · L ⁻¹]	R(As) (%)
V01	0,090				0,05		
V02	0,090				0,10		
V03	0,090				0,15		
V04	0,090				0,30		
V05	0,090				0,40		
V06	0,090				0,50		
V07	0,090				0,80		
V08	0,090				1,00		
LMP	0,010						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Determinación la dosis óptima de la zeolita natural para remoción de arsénico de soluciones acuosas de volumen de un litro por floculación con $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ e $Fe(OH)_3$ óptimo.

N° Vasos	Agua con (As) Inicial [$mg \cdot L^{-1}$]	$Al_2(SO_4)_3$ del 1% Optima (mL)	$Fe(OH)_3$ (0.1M) Optima (mL)	Zeolita(N) del 1% (mL)	Agua con (As) Final [$mg \cdot L^{-1}$]	p H	NTU _F	R(As) (%)
V01	0,090			1				
V02	0,090			2				
V03	0,090			5				
V04	0,090			10				
V05	0,090			15				
V06	0,090			20				
V07	0,090			25				
V08	0,090			30				
LMP	0,010							

Fuente: elaboración propia

- **Evaluación del proceso de remoción de arsénico en soluciones acuosas y en aguas naturales de pozos subterráneos.**

En la solución acuosa con contenido de arsénico As(V) se evalúan las dosis óptimas del floculante sulfato de aluminio [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$] y del policloruro de aluminio (PAC), [$Al_n(OH)_m(SO_4)_p (Cl_{3n-m-2p})$], cuya dosis óptima corresponde para la mayor cantidad de remoción de arsénico de la solución acuosa; seguidamente continuar con la determinación de la dosis óptima de la solución de hidróxido férrico y finalmente determinar la dosis óptima de la solución de la zeolita natural; la dosis óptima corresponde para la mayor cantidad de remoción del arsénico contenido en la solución acuosa.



Determinado las dosis óptimas del floculante, hidróxido férrico y zeolita natural; con estas cantidades de dosis óptimas, evaluar la remoción de arsénico de las aguas naturales provenientes de los pozos subterráneos.

3.3.4. La metodología para Determinar el isoterma de mejor ajuste para la remoción de arsénico As (V) en soluciones acuosas y aguas naturales subterráneas de pozo, en proceso discontinuo batch, por floculación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio. Mediante adsorción con zeolita natural acondicionado con solución de hidróxido férrico

Para determinar el isoterma de mejor ajuste de la remoción de arsénico (V), por proceso de floculación con sulfato de aluminio o con policloruro de aluminio y zeolita natural activada con hidróxido férrico, en soluciones acuosas con contenido de arsénico (V) y en aguas naturales de pozos subterráneos, se realizaron en proceso discontinuo batch, y con los valores de la evaluación se determinó el modelo de isoterma de mejor ajuste, de la cinética de equilibrio de adsorción de arsénico (V).

3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO.

En la presente investigación, para determinar la capacidad de remoción de arsénico en aguas naturales para consumo humano, por floculación con Sulfato de aluminio y policloruro de aluminio y adsorción con zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y con control de pH óptimo; en muestras de agua de pozos subterráneos del Distrito de Coata, Provincia y Región Puno. se utilizó el "Diseño de Experimental" DOE (Design of Experiments), para determinar la relación entre las variables de entrada, factores y la variable



de respuesta o resultados en el proceso de optimización. En esta investigación en particular, la probabilidad estadística determina qué factores afectan significativamente los resultados:

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : variable respuesta, o porcentaje de remoción Arsénico, en la unidad j del tratamiento i.

μ : media general

T_i : Efecto en la unidad j del i – esimo tratamiento (sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, zeolita, pH, hidróxido férrico)

E_{ij} : Error experimental en la unidad j del tratamiento i.

Para determinar si los tratamientos son significativamente diferentes se utilizó la diferencia de medias en los resultados finales de los 02 tratamientos:

Ho: no existe diferencia de medias en las muestras: $\mu = \mu$

Ha: existe diferencia de medias en las muestras: $\mu \neq \mu$

3.5. VARIABLES

En desarrollo del proceso de remoción de arsénico As (V) por floculación y zeolita natural activada con hidróxido férrico de aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano, han sido descritos las siguientes variables:

- Variable Independiente (V_i): Causa

Arsénico As (V) en aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano.



- Variable dependiente (Vd): Efecto

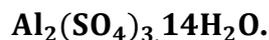
Floculación con sulfato de aluminio o con policloruro de aluminio y zeolita natural activada con hidróxido férrico.

- Variable interviniente (Vint): pH

3.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de las pruebas experimentales realizados en laboratorio, para el proceso de remoción de arsénico por floculación y zeolita natural activada con hidróxido férrico en aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano, fueron evaluados en el siguiente orden:

3.6.1. Primer proceso de análisis con floculante sulfato de aluminio



- Análisis de la determinación de la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para la remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas. Para el proceso del análisis se preparó solución acuosa de concentración de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V), cuya evaluación de floculación se realizó por tes de jarras, en 8 vasos para un volumen de un litro de solución acuosa y en este proceso se determinó la dosis óptima del floculante de sulfato de aluminio, que le corresponde al vaso de mayor remoción de arsénico As (V).

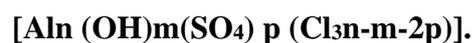
- Análisis para la determinación de la dosis óptima del hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ para activación de la zeolita natural y remoción de arsénico de soluciones acuosas con contenido de As (V), utilizando la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Para la determinación de la dosis óptima del hidróxido



férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, se realizó mediante floculación, para un volumen de un litro de la solución acuosa con contenido de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V), al cual se le agregó la dosis óptima del previamente determinado del floculante sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. La dosis óptima del hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, corresponde al mayor porcentaje de remoción de arsénico As (V).

- El análisis para determinar la dosis óptima de la zeolita natural. Se realizó tomando un volumen de un litro de la solución acuosa con contenido de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V), distribuidos para los ocho vasos de floculación, a los cuales se les adiciono las dosis óptimas del floculante sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ y de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$; tomando diferentes cantidades de zeolita natural para cada uno de los vasos para la remoción de arsénico As (V), de la solución acuosa. La dosis óptima de la zeolita natural le corresponde al vaso de mayor porcentaje de remoción de arsénico As (V).

3.6.2. Segundo proceso de análisis con floculante policloruro de aluminio (PCA)



- Análisis de la determinación de la dosis óptima del floculante policloruro de aluminio $[\text{Al}_n (\text{OH})_m (\text{SO}_4)_p (\text{Cl}_{3n-m-2p})]$ para la remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas. Para el proceso del análisis se preparó solución acuosa de concentración de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V), cuya evaluación de floculación se realizó por tes de jarras, en 8 vasos para un volumen de un litro de solución acuosa, en el cual se determinó la dosis óptima del floculante de



policloruro de aluminio, que le corresponde al vaso de mayor remoción de arsénico As (V).

- Análisis para la determinación de la dosis óptima del hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ para activación de la zeolita natural y remoción de arsénico de soluciones acuosas utilizando la dosis óptima del floculante de policloruro de aluminio. Para la determinación de la dosis óptima del hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, se realizó mediante floculación, para un volumen de un litro de la solución acuosa con contenido de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V), al cual se le agregó la dosis óptima del previamente determinado del floculante de policloruro de aluminio. La dosis óptima del hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, corresponde al mayor porcentaje de remoción de arsénico As (V).

- El análisis para determinar de la dosis óptima de la zeolita natural. Se realizó tomando un volumen de un litro de la solución acuosa con contenido de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V), distribuidos para los ocho vasos de floculación, a los cuales se les adiciono las dosis óptimas del floculante de policloruro de aluminio y de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$; tomando diferentes cantidades de zeolita natural para cada uno de los vasos para la remoción de arsénico As (V) de la solución acuosa. La dosis óptima de la zeolita natural le corresponde al vaso de mayor porcentaje de remoción de arsénico As (V).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo, reporta los resultados del trabajo de investigación según los objetivos de estudio, para el cual se fundamenta su discusión en base al marco teórico, conceptual y a los antecedentes de estudio.

4.1. LOS RESULTADOS DE CARACTERIZAR LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA ZEOLITA NATURAL, PARA UTILIZAR EN PROCESOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO, DE SOLUCIONES ACUOSAS Y DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE POZO

Se caracterizaron los parámetros físico-químicos de la zeolita natural (Ze-n), para utilizar en procesos de remoción de arsénico, de soluciones acuosas y de aguas naturales subterráneas de pozo.

La zeolita natural procede de los yacimientos ubicados en las coordenadas UTM, Este 0372003, Norte 8264911 a 3842 msnm, del área rural de la comunidad Llunco del Distrito de Atuncolla, Provincia y Región Puno. Para su caracterización, la muestra de zeolita, se sometió a reducción de tamaño a partículas de malla M-20, y llevándose a sequedad natural hasta peso constante; seguidamente se pulverizó a tamaños de partículas de malla M-100. Para determinar sus componentes físico-químicos de la muestra de zeolita natural, esta fue evaluado por el “*Método de Difracción de Rayos X*”, realizados en los “*Laboratorios de Investigación y Servicios para Determinación de Estructuras Químicas*”; de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa-Perú. teniéndose el nombre y la formula química de



de la zeolita natural: zeolita-andesita, con integración del 97,93% de este tipo de zeolita en la muestra; con componentes en su estructura química molecular de: $0,735\text{Al} - 0,24\text{Ca} - 0,26\text{Na} - 1,265\text{SiO}_2$; valores obtenidos por lectura de biblioteca comparativa por DB. card number 9001030. Ver anexo 1. Certificación de la caracterización de la zeolita-andesita natural.

De la caracterización de la zeolita natural se interpreta que su estructura molecular está integrado con un alto valor molecular de aluminio Al(III) , componente fundamental para el proceso de floculación y formación de hidróxidos de aluminio $\text{Al(OH)}_3 \downarrow$, que por diferencia de cargas iónicas, forman flóculos que arrastran a iones catiónicos caso del arsénico As(V) sedimentando como lodos, proceso expresado como remoción de arsénico de aguas naturales (Miranda, 2012).

4.2. LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES ÓPTIMAS DE FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO Y POLICLORURO DE ALUMINIO, Y DE LA ZEOLITA NATURAL ACONDICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO Y EL PH ÓPTIMO; PARA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO AS (V)

Para la remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas, esta se preparó con concentración de $0,096 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de arsénico As (V) ; solución acuosa que se sometió al proceso de floculación, para el cual se toman ocho vasos, con volumen de un litro de solución acuosa para cada vaso y para el proceso de remoción As (V) se desarrollaron en forma separada dos procesos de floculación: El primer proceso de tratamiento fue por floculación con sulfato de aluminio, hidróxido férrico y solución de zeolita natural; el segundo proceso



de tratamiento fue mediante floculación con policloruro de aluminio, hidróxido férrico y solución de zeolita natural.

4.3. LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN EN PROCESO DISCONTINUO BATCH, DE LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO AS (V) POR FLOCULACIÓN CON SULFATO DE ALUMINIO, POLICLORURO DE ALUMINIO Y ADSORCIÓN CON ZEOLITA NATURAL ACONDICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO; EN AGUAS NATURALES SUBTERRÁNEAS DE POZO PARA CONSUMO HUMANO

4.3.1. Primer proceso de tratamiento, para determinar las dosis óptimas de floculación con sulfato de aluminio, hidróxido férrico y solución de zeolita natural.

En el primer proceso se determinaron las dosis óptimas del coagulante floculante sulfato de aluminio, del hidróxido férrico y de la solución de zeolita natural, para remoción de arsénico As (V) de la solución acuosa siguiendo, las tres etapas.

4.3.1.1 Determinación de la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio.

Para esta primera etapa de proceso de floculación, se utilizó el floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, del (1%) de concentración; a cada uno de los ocho vasos de floculación, con contenido de un litro de solución acuosa se distribuye diferentes volúmenes (en mL) del floculante sulfato de aluminio, los que se someten a floculación y de este proceso se determinó la dosis óptima del floculante, que

corresponde al mayor valor (72,71%) de remoción del arsénico As (V) de la solución acuosa, para un volumen de 20 mL; así mismo se obtuvo la remoción de turbiedad hasta 2 NTU a pH 5, en la solución acuosa; cuyos resultados se muestran en la tabla 10 y figura 7.

Tabla 10

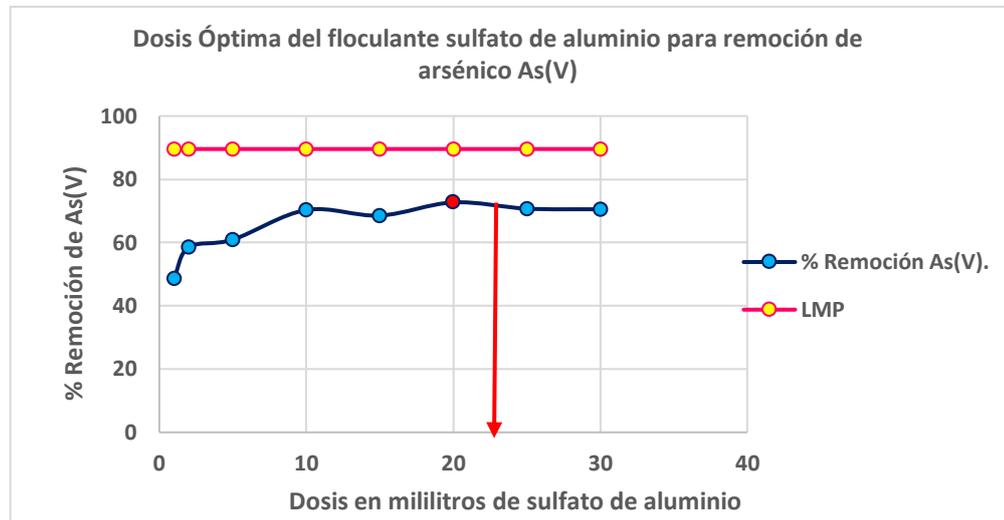
Determinación de dosis óptima del floculante sulfato de aluminio para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	Agua (As) Inicial [mg · L ⁻¹]	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 14H ₂ O del 1% (mL)	pH	NTU _F	Agua (As) Final [mg · L ⁻¹]	R(As) (%) Remoción
V01	0,096	1	6.0	2	0,049	48,65
V02	0,096	2	5.9	1	0,039	58,54
V03	0,096	5	5.7	2	0,037	60,93
V04	0,096	10	5.4	2	0,028	70,31
V05	0,096	15	5.2	1	0,030	68,54
V06	0,096	20	5.0	2	0,026	72,71
V07	0,096	25	4.9	1	0,028	70,73
V08	0,096	30	4.8	2	0,028	70,52
LMP	0,010			5	0,010	89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 7

Dosis óptima del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas



Llano et al, (2014), Encuentran resultados similares en el tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcilla en el que los sólidos totales suspendidos (STS) y turbiedad son removidos con alto rendimiento, utilizando floculante sulfato de aluminio con floculante ayuda de un polímero aniónico de concentración de $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, a pH 6. Se tiene procesos similares de tratamiento con la zeolita clinoptilolita natural en solución, que remueve metales pesados por proceso de intercambio de cationes en un rango de pH de 3.5-8.0. Zeomex (2002).

- **Análisis del diseño experimental para el primer proceso de remoción de As(v) utilizando el floculante sulfato de aluminio**

Mediante el análisis de diseño de experimentos (DOE), se determinó la significancia estadística de cada uno de los factores que intervienen en el proceso, para determinar el volumen óptimo del floculante de sulfato de aluminio, teniéndose los siguientes resultados estadísticos:

Tabla 11

Dosis óptima del floculante sulfato de aluminio al (1%) para remoción de arsénico

As(V) de soluciones acuosas. análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	478,82	159,607	62,81	0,001
Lineal	2	286,19	143,094	56,31	0,001
Sulfato Aluminio	1	37,87	37,869	14,90	0,018
pH	1	45,13	45,130	17,76	0,014
Cuadrado Sulfato Aluminio	1	23,38	23,381	9,20	0,039
Error	4	10,16	2,541		
Total	7	488,99			

En la tabla 11, se observa que los resultados del valor (p), son significativos al 5% de significancia, con un 95% de confianza, para los factores sulfato de aluminio y el pH. Por tanto, ambos aportan significativamente a la remoción del arsénico As(V).

Así mismo, en la figura 8, el diagrama de pareto, muestra que los factores (a) sulfato de aluminio, (b) pH, aportan significativamente al 5%, para el proceso de remoción del arsénico As(V), proceso en el cual, el pH, tiene aporte significativo para

la determinación de la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio, corroborado por el trabajo de (Llano et al., 2014).

Figura 8

Diagrama de Pareto de la dosis óptima del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas

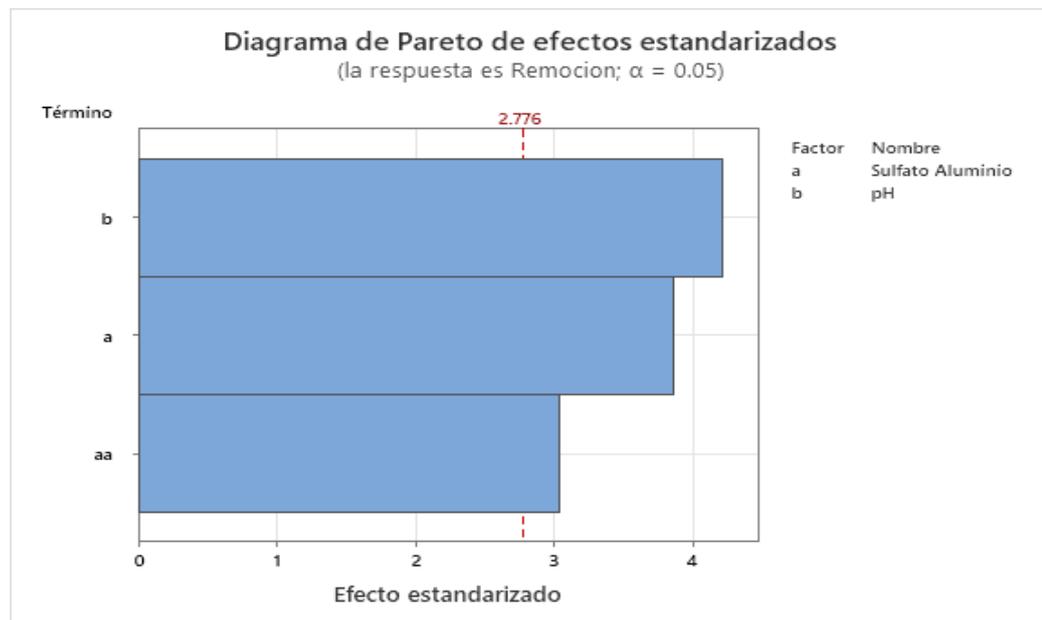
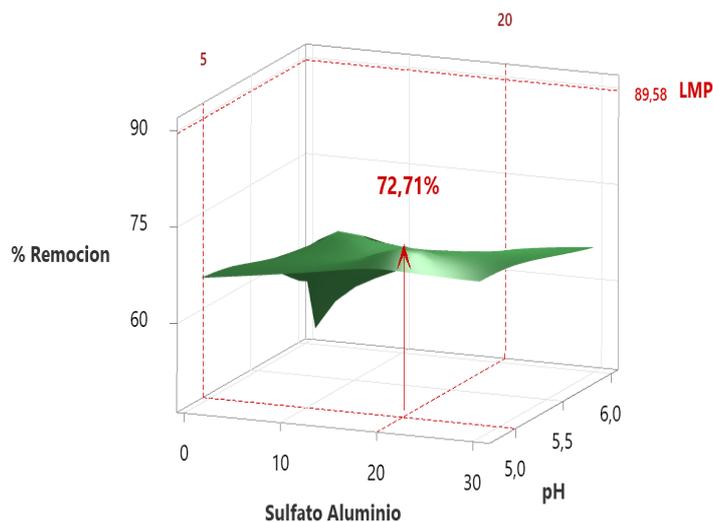


Figura 9

Superficie de mallas de la dosis optima del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas





En la figura 9, de superficie de mallas, se observa la determinación del porcentaje óptimo de la remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, utilizando la dosis óptima de 20 mL del floculante Sulfato de Aluminio del (1%), para el cual se obtuvo un 72,71% de remoción de As(V) a pH 5

4.3.1.2 Determinación de la dosis óptima de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M).

En esta segunda etapa para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, se utilizó el volumen de la dosis óptima 20 mL de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, del (1%), floculante que es distribuido en cada uno de los vasos de floculación, a las cuales se les adiciono diferentes volúmenes de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M); de este proceso de floculación se determinó el volumen de la dosis óptima del $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M), cantidad que recae al mayor valor de remoción de arsénico As (V) que corresponde al 91,67 % de remoción, para un volumen de 0,80 mL de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M); así mismo en el proceso se logró la remoción de turbiedad hasta el valor de 2 NTU a pH 4,4 en la solución acuosa; los resultados se muestran en la tabla 12 y figura 10.

Tabla 12

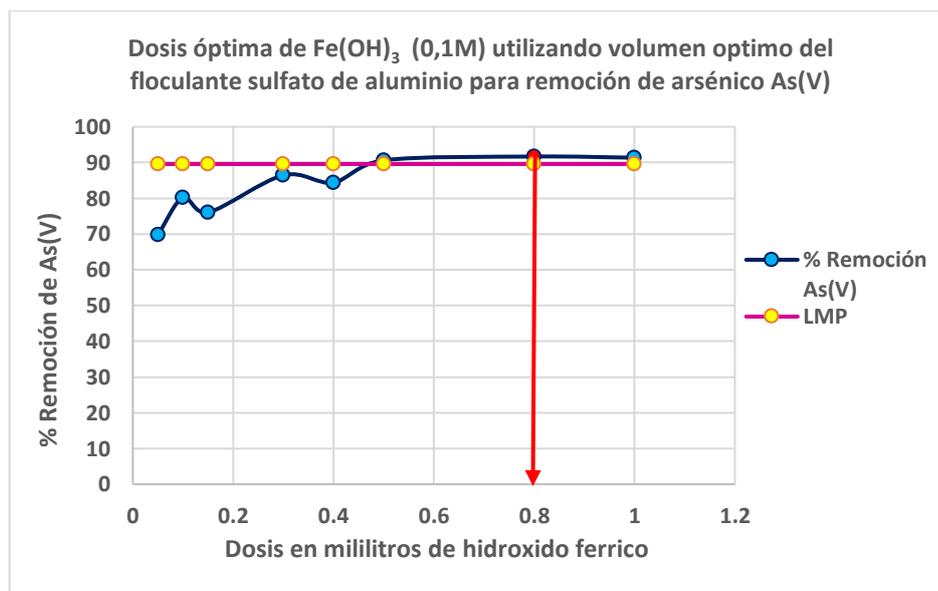
Determinación de dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0.1M) utilizando volumen óptimo de sulfato de aluminio para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ del (1%) (mL)	$Fe(OH)_3$ (0.1M) (mL)	pH	NTU _F	Agua As (inicial) [mg. L ⁻¹]	Agua (As) (final) [mg. L ⁻¹]	R(As) % Remoción
V01	20	0,05	5,1	3	0,096	0,029	69,79
V02	20	0,10	4,9	1	0,096	0,019	80,20
V03	20	0,15	4,9	2	0,096	0,023	76,04
V04	20	0,30	4,7	2	0,096	0,013	86,45
V05	20	0,40	4,6	1	0,096	0,015	84,37
V06	20	0,50	4,5	1	0,096	0,009	90,62
V07	20	0,80	4,4	2	0,096	0,008	91,67
V08	20	1,00	4,4	2	0,096	0,009	90,62
LMP				5	0,010		89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 10

Dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) con volumen óptimo de sulfato de aluminio del (1%) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas





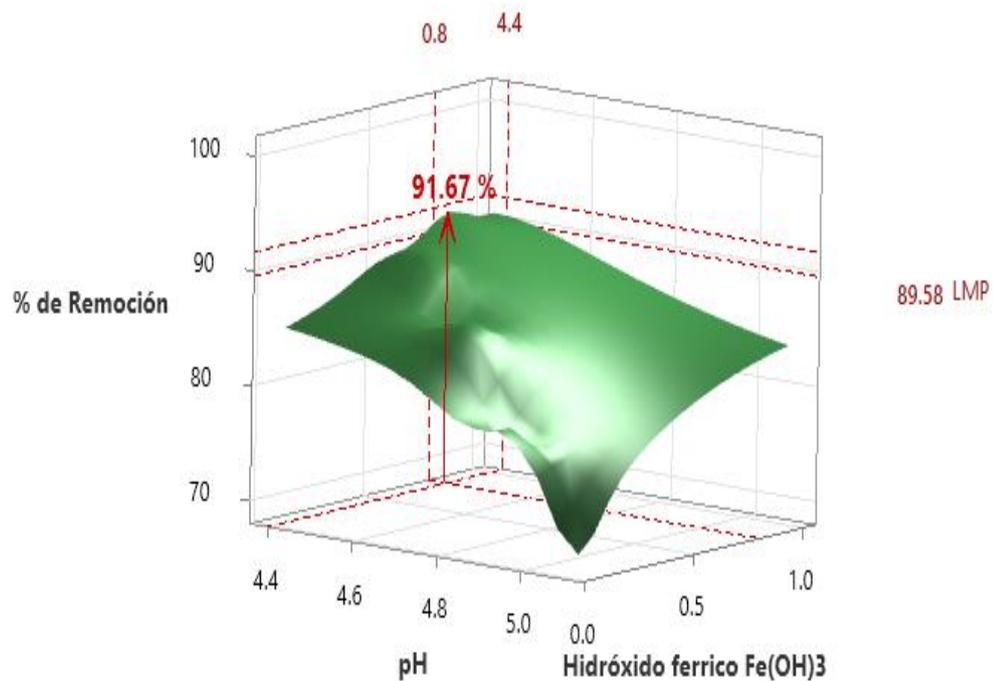
Martínez et al, (2018) en la remoción de arsénico de soluciones acuosas y de aguas naturales para consumo humano, determinan que, por procesos de adsorción y floculación, con uso de floculante y con asistencia de óxidos de hierro natural y sintéticos, son eficientes en la eliminación de arsénico de soluciones acuosas y en aguas naturales.

- **Análisis del diseño experimental para el segundo proceso de remoción de As(v) utilizando el floculante sulfato de aluminio, hidróxido férrico.**

Del análisis de diseño de experimentos (DOE), de la superficie de respuesta para determinar el mayor porcentaje de remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, utilizando el volumen óptimo de 20 mL de sulfato de aluminio del (1%) y diferentes volúmenes de dosis de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0.1M), se obtiene el mayor valor de 91,67% de remoción del Arsénico As(V), utilizando un volumen de 0,8 mL de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M), a pH 4,4; tal como se muestra en la figura 11 de superficie de respuestas. Pary y Mamani, (2017), reportan resultados similares para la remoción de As, por adsorción de soluciones acuosas y en muestras de agua superficial del río Ayaviri, que fue del 93,75%, para ambas muestras, para dicho proceso de oxidación se utilizaron $14,64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de FeCl_3 y $0,022 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de óxido de calcio CaO, seguido del proceso de floculación por un tiempo de 25 minutos e igual tiempo para su sedimentación.

Figura 11

Dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) con volumen óptimo de sulfato de aluminio al (1%) para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas



4.3.1.3 Determinación de la dosis óptima de zeolita natural del (1%)

Para la tercera etapa de remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas, se utilizaron los volúmenes de dosis óptimos de 20 mL del floculante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, del (1%) y 0,8 mL de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M), volúmenes que fueron distribuidos a cada uno de los vasos de floculación, y a los cuales se les adicionaron diferentes volúmenes de la solución de zeolita natural del (1%); en este proceso de floculación, se obtuvo el mayor valor de 97,91 % de remoción de arsénico $As(V)$, con el volumen de 3 mL de solución de zeolita natural

del (1%), valor que corresponde al volumen de dosis óptima; así mismo en la solución acuosa se obtuvo la remoción de turbiedad hasta 2 NTU a pH 4,5; los resultados de esta evaluación se muestran en la tabla 13 y figura 12. Los resultados de mayor remoción de As (V), se debe a la adición de la solución de zeolita natural modificado por el hidróxido férrico; se tiene resultados similares para el tratamiento con el adsorbente de zeolita natural (*clinoptilolita*) recubierta con óxidos de hierro a partir de cloruro férrico, para remover arsénico de aguas naturales. El óxido de hierro fue fijado en la superficie del material filtrante el que se comporta como medio de contacto efectivo para remover arsénico en flujo continuo de agua con contenido de arsénico de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, obteniendo una concentración final inferior al límite máximo permisible ($0,045 \text{ ug} \cdot \text{L}^{-1}$) Rivera (2005).

Tabla 13

Determinación de dosis óptima de zeolita natural del (1%) utilizando volumen óptimo de sulfato de aluminio e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ del (1%) (mL)	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M) (mL)	Zeolita (1%) (mL)	pH	NTU _F	Agua (As) (inicial) [mg. L ⁻¹]	Agua (As) (final) [mg. L ⁻¹]	R(As) % Remoción
V01	20	0,8	1,0	4,6	1	0,096	0,003	96,87
V02	20	0,8	1,5	4,6	3	0,096	0,004	95,83
V03	20	0,8	2,5	4,5	2	0,096	0,004	95,83
V04	20	0,8	3,0	4,5	2	0,096	0,002	97,91
V05	20	0,8	4,0	4,4	1	0,096	0,003	96,87
V06	20	0,8	5,0	4,4	1	0,096	0,006	93,75
V07	20	0,8	6,0	4,4	2	0,096	0,004	95,83
V08	20	0,8	8,0	4,3	2	0,096	0,004	95,83
LMP.					5	0,010		89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 12

Dosis óptima de zeolita natural del (1%) utilizando volumen óptimo de sulfato de aluminio al (1%) e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas

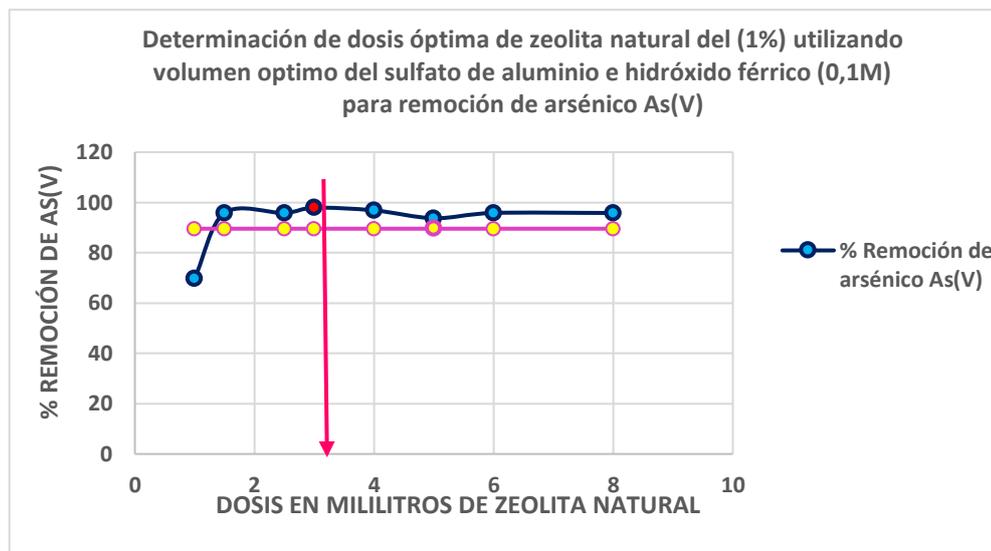
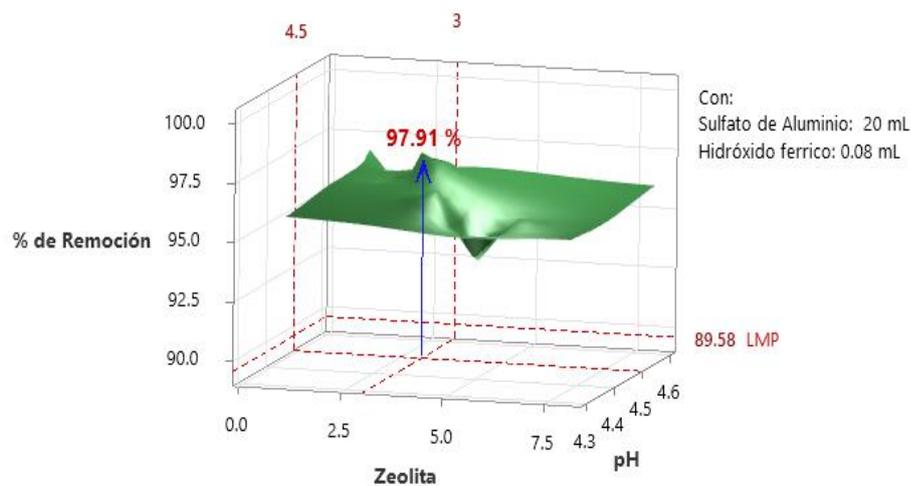


Figura 13

Dosis óptima de zeolita natural al (1%), con volumen óptimo de sulfato de aluminio al (1%) e hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas.





En la figura 13, de la superficie de mallas, se aprecia la determinación del mayor valor de 97,91% de remoción de arsénico As(V), para un litro de solución acuosa, utilizando las dosis óptimas de 3 mL de zeolita natural del (1%), 20 mL de sulfato de aluminio del (1%) y 0,8 mL de hidróxido férrico (0,1M) a pH 4,5.

Zamzów et al. (1990) indican que la mayor eficiencia de retención de iones metálicos en el agua, por diferentes zeolitas, se debe al menor valor de relación Si/Al, para el intercambio catiónico (en este caso del arsénico). Mejia et al. (2009) en el tratamiento de aguas para consumo humano, utilizando zeolita natural (chabazita) y óxido de magnesio para eliminación del arsénico (As^{+5}), consideran que la zeolita oxidada es un adsorbente eficiente para remover metales ionizados en el agua, y en esta muestran una eficiencia superior a 90 % de eliminación de As^{+5} adsorbido en un tiempo de cinco minutos.

4.3.2. Segundo proceso de tratamiento, para determinar las dosis óptimas de floculación con policloruro de aluminio (PAC), hidróxido férrico y solución de zeolita natural.

En el segundo proceso se determinaron las dosis óptimas del coagulante floculante policloruro de aluminio (PAC), del hidróxido férrico y de la solución de zeolita natural, para remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas siguiendo, el siguiente orden de proceso:

4.3.2.1 Determinación de la dosis óptima del coagulante floculante policloruro de aluminio (PAC).

Para las pruebas del segundo proceso de floculación se utilizó, el floculante Policloruro de aluminio (PAC), $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p(Cl_{3n-m-2p})]$ del (1%) de concentración; esta solución del floculante se distribuye en diferentes volúmenes (mL), a cada uno de los ocho vasos de floculación; y de la evaluación de este proceso se desarrolló para determinar la dosis óptima del floculante, que recae al mayor valor de remoción del arsénico As (V) que corresponde al 65,63% en la solución acuosa, utilizando un volumen de 25 mL, del floculante de Policloruro de aluminio (PAC) del 1% de concentración; así mismo en el proceso se obtiene la remoción de turbiedad a 4 NTU a pH 4,8 en la solución acuosa; los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 14 y figura 14.

Tabla 14

Determinación de dosis óptima del floculante policloruro de aluminio para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	Agua (As) Inicial [mg · L ⁻¹]	PAC del 1% (mL)	Ph	NTU _F	Agua (As) Final [mg · L ⁻¹]	R(As) (%) Remoción
V01	0,096	1	6,0	3	0,047	51,04
V02	0,096	2	5,6	3	0,037	61,46
V03	0,096	5	5,3	4	0,041	57,29
V04	0,096	10	4,8	4	0,043	55,20
V05	0,096	15	4,7	4	0,038	60,42
V06	0,096	20	4,8	4	0,045	53,13
V07	0,096	25	4,8	4	0,033	65,63
V08	0,096	30	4,7	3	0,035	63,54
LMP	0,010			5	0,010	89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 14

Dosis óptima del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V)

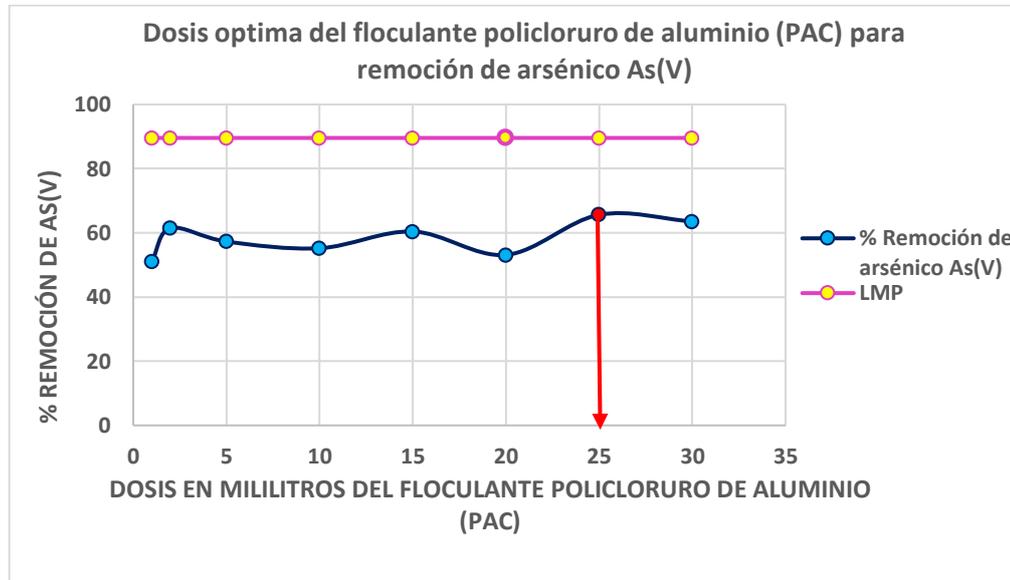
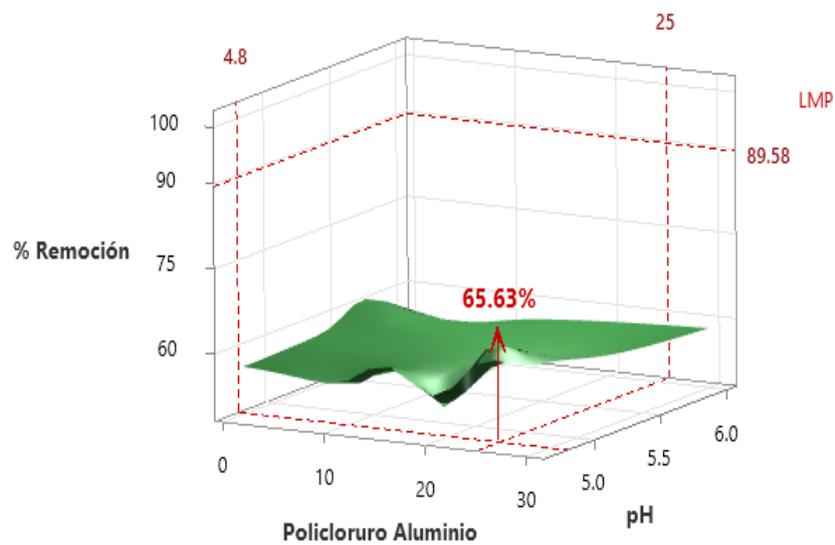


Figura 15

Superficie de mallas de la dosis óptima del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas





En la figura 15, de superficie de mallas, se observa la determinación del porcentaje óptimo de remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, utilizando 25 mL del floculante policloruro de Aluminio del (1%), para el cual se obtuvo un 65,63% de remoción de As(V) a pH 4,8 y una turbiedad de 4 NTU.

4.3.2.2 Evaluación de la dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M).

Para el proceso de remoción de arsénico As(V) de la solución acuosa, se utilizó el volumen de la dosis óptima del floculante de Policloruro de aluminio (PAC) $[Al_n(OH)_m(SO_4)_p(Cl_{3n-m-2p})]$ del 1%, que corresponde a 25 mL, volumen que es distribuidos para cada vaso de floculación, con adición de diferentes volúmenes de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0.1M); de este proceso de floculación se determinó el la dosis óptima del hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M), de 1,00 mL de que corresponde al mayor valor de 86,45 % de remoción de arsénico As (V); así mismo en este proceso se obtuvo una remoción de turbiedad hasta 3 NTU a pH 4,7 de la solución acuosa; los resultados se muestran en la tabla 15 y figura 16.

N° Vaso	PAC del (1%) (mL)	$Fe(OH)_3$ (0,1M) (mL)	pH	NTU _F	Agua (As) (inicial) [mg. L ⁻¹]	Agua (As) (final) [mg. L ⁻¹]	R(As) % Remoción
V01	25	0,05	6,1	3	0,096	0,025	73,96
V02	25	0,10	5,6	3	0,096	0,017	82,29
V03	25	0,15	5,1	4	0,096	0,020	79,17

V04	25	0,30	4,8	4	0,096	0,021	78,13
V05	25	0,40	4,8	4	0,096	0,018	81,25
V06	25	0,50	4,9	4	0,096	0,021	78,13
V07	25	0,80	4,9	4	0,096	0,020	79,17
V08	25	1,00	4,7	3	0,096	0,013	86,45
LMP				5	0,010		89,58

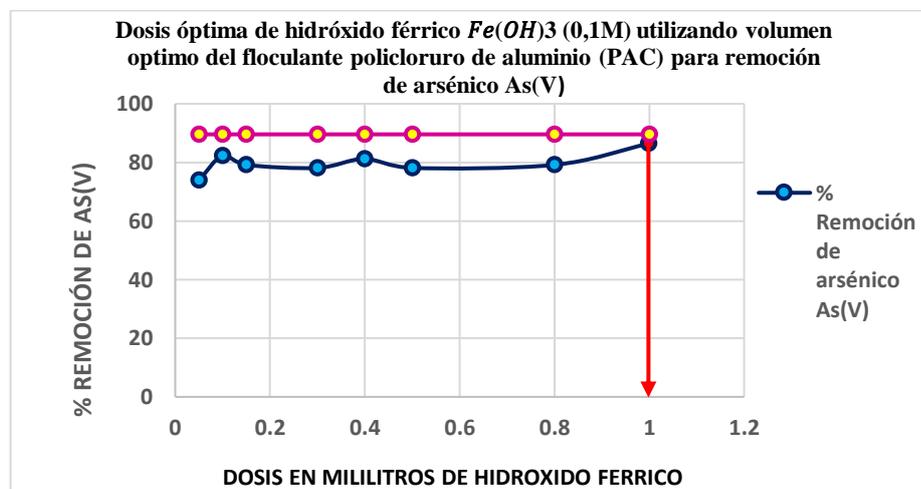
Tabla 15

Determinación de dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio para remoción de arsénico $As(V)$ de soluciones acuosas para volumen de un litro

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 16

Dosis óptima de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (0,1M) utilizando volumen óptimo del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico $As(V)$



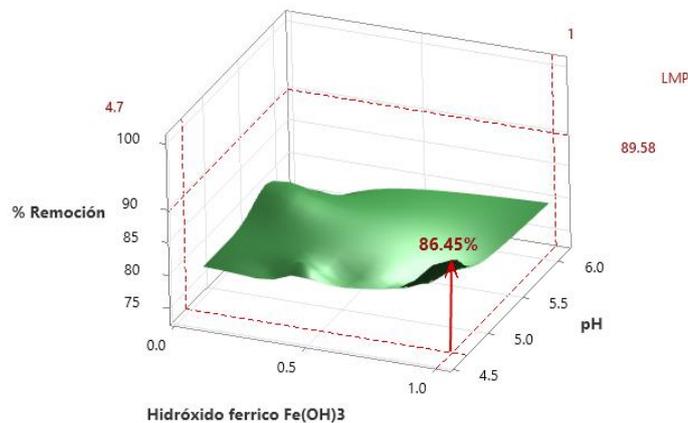
Resultados similares fueron obtenidos para el proceso de remoción de arsénico $As(V)$ mediante filtración convencionales con zeolitas acondicionadas mediante evaporación con soluciones de hierro en presencia granular, en especial cuando se usan sales de hierro III, el proceso de remoción de arsénico, no requiere más de 4 minutos de tiempo de contacto del agua con el lecho de filtración para llevar

a cabo la transferencia del arsénico de la fase acuosa a la fase sólida o sorbente (Rivera y Piña, 2005).

En la figura 17, de gráfico de mallas se observa la determinación del porcentaje óptimo de remoción de arsénico As(V) para volúmenes de un litro de solución acuosa, utilizando el volumen óptimo de 25 mL de policloruro de aluminio obteniéndose la mayor remoción de 86,45% de arsénico As(V), con la adición 1 mL de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M), volumen que es considerado como la dosis óptima de hidróxido férrico.

Figura 17

Dosis óptima de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M) utilizando volumen óptimo del floculante policloruro de aluminio (PAC) para remoción de arsénico As(V)



En la figura 17, de gráfico de mallas se observa la determinación del porcentaje óptimo de remoción de arsénico As(V) para volúmenes de un litro de solución acuosa, utilizando el volumen óptimo de 25 mL de policloruro de aluminio obteniéndose la mayor remoción de 86,45% de arsénico As(V), con la adición 1 mL



de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M), volumen que es considerado como la dosis óptima de hidróxido férrico.

4.3.2.3 Evaluación de dosis óptima de zeolita natural del (1%)

Para esta tercera etapa del proceso de remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, se utilizó volúmenes de la dosis óptima del floculante de policloruro de aluminio del 1% de concentración que corresponde a 25 mL, y la adición del volumen óptimo de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (0,1M), que corresponde a 1,0 mL, distribuidos a cada vaso de floculación, a los cuales se les adicionó diferentes volúmenes de la solución de zeolita natural del (1%); de este proceso de floculación se determinó al mayor valor de la remoción de arsénico As (V) que concierne al 98,75 % de remoción, para un volumen de 5 mL, de la zeolita natural del (1%), siendo este volumen considerado como volumen óptimo de la zeolita; así mismo en el proceso se obtiene la remoción de turbiedad hasta 4 NTU a pH 4,9 de la solución acuosa; los resultados se muestran en la tabla 16 y figura 18. El mayor rendimiento de la remoción de As (V), se debe a la formación de flóculos por el policloruro de aluminio que es característico para este floculante de que los flóculos inicialmente son pequeños y al juntarse entre ellos en medio de pH de 4 a 6,5; crean aglomerados de mayor tamaño que son capaces de sedimentar y arrastrar con facilidad en su entorno al As (V), en forma de hidróxido de aluminio. (Miranda, 2012).

Tabla 16

Determinación de dosis óptima de la zeolita natural del (1%) utilizando volumen

óptimo de policloruro de aluminio e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	PAC (1%) (mL)	Fe(OH) ₃ (0,1M) (mL)	Zeolita (1%) (mL)	pH	NTU _F	Agua (As) (inicial) [mg. L ⁻¹]	Agua (As) (final) [mg. L ⁻¹]	R(As) % Remoción
V01	25	1,00	1,0	5,4	4	0,096	0,013	86,45
V02	25	1,00	1,5	5,0	5	0,096	0,014	85,41
V03	25	1,00	2,5	4,9	4	0,096	0,012	87,50
V04	25	1,00	3,0	4,8	5	0,096	0,017	82,29
V05	25	1,00	4,0	4,9	5	0,096	0,009	90,63
V06	25	1,00	5,0	4,9	4	0,096	b<0,0012	98,75
V07	25	1,00	6,0	4,8	5	0,096	b<0,0012	98,75
V08	25	1,00	8,0	4,8	4	0,096	b<0,0012	98,75
LMP					5	0,010		89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 18

Determinación de dosis óptima de zeolita natural de (1%) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio (PAC) e hidróxido férrico (0,1M) para remoción de arsénico As(V)

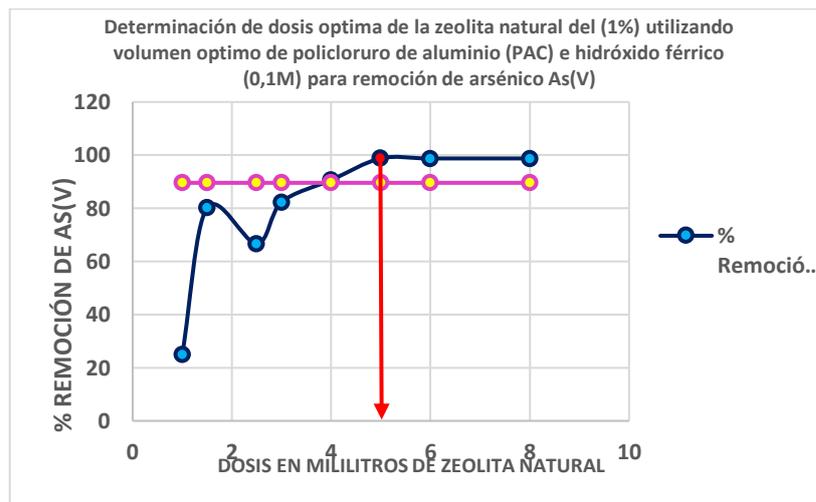
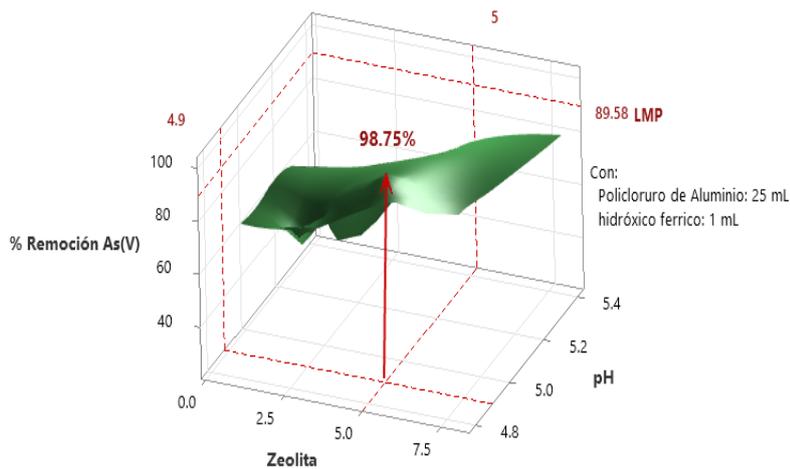


Figura 19

Determinación de dosis óptima de zeolita natural de (1%) utilizando volumen óptimo de policloruro de aluminio (PAC) e hidróxido férrico (0.1M) para remoción de arsénico As(V).



En la figura 19, de la superficie de mallas, se aprecia la determinación del mayor valor de 98,75% de remoción de arsénico As(V), para un litro de solución acuosa, utilizando las dosis óptimas de 4 mL de zeolita natural del (1%), 25 mL de policloruro de aluminio del (1%) y 1 mL de hidróxido férrico (0,1M) a pH 4,9.

4.3.3. Análisis estadístico

Se realizará el análisis estadístico para determinar las concentraciones óptimas. De los floculantes, sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico as (v)

4.3.3.1 Análisis estadístico del primer proceso con floculante, sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural.

I) Planteamiento de la hipótesis estadística

H_0 : No existe significancia estadística de floculantes, floculante sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural para la remoción del arsénico As (V) de soluciones acuosas.

H_1 : Existe significancia estadística de floculantes, floculante Sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural para la remoción del arsénico As (V) de soluciones acuosas.

II) Nivel de significancia

Para este estudio se utilizó el nivel de significancia del $\alpha = 0,05$, con un nivel confianza de $(1 - \alpha) = 0,95$

III) Pruebas estadísticas

Tabla 17

Análisis de varianza del primer proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosas.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	10,2747	1,71244	3159,64	0,014
Lineal	5	10,0691	2,01382	3715,71	0,012
pH	1	5,3780	5,37804	9923,07	0,006
NTUf	1	0,4360	0,43602	804,50	0,022
Sulfato aluminio	1	4,1202	4,12017	7602,16	0,007



Hidróxido férrico Fe (OH) ₃	1	6,4512	6,45118	11903,13	0,006
Zeolita	1	1,5912	1,59119	2935,92	0,012
Cuadrado	1	1,2172	1,21715	2245,78	0,013
Zeolita*zeolita	1	1,2172	1,21715	2245,78	0,013
Error	1	0,0005	0,00054		
Total	7	10,2752			

En la tabla 17 se observa los resultados del análisis de varianza, en la cual se puede observar que los floculantes como sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural, muestran valores inferiores a $\alpha < 0,05$, al igual el parámetro pH.

IV) Regla de decisión

Se acepta

H_0 (hipótesis nula): Si p-valor $> 0,05$

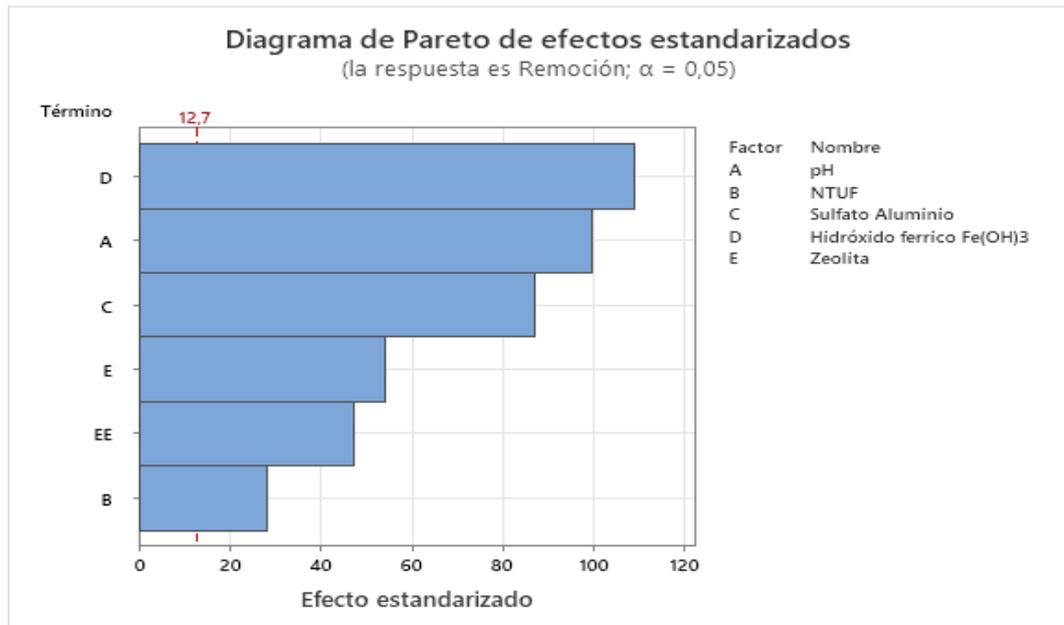
H_1 (hipótesis alterna): Si p-valor $< 0,05$

V) Decisión

Como se observa en el análisis de varianza los p-valor, para los floculantes como sulfato de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural tienen valores inferiores a $\alpha < 0,05$, entonces se acepta H_1 lo que significa que existe significancia estadística de los floculantes sulfato de aluminio, hidróxido férrico, y zeolita natural para la remoción del arsénico, en el que tiene influencia del pH.

Figura 20

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y su aporte significativo en el proceso para la remoción del arsénico As (V).



En la figura 20, el diagrama de Pareto, muestra que los factores sulfato de aluminio, pH, hidróxido férrico y la zeolita natural, aportan significativamente en el proceso para la remoción del arsénico As (V).

4.3.3.2 Análisis estadístico del segundo proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosa.

I). Planteamiento de hipótesis estadística

H_0 : No existe significancia estadística de floculantes policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural para la remoción del arsénico As (V) de soluciones acuosas.

H_1 : Existe significancia estadística de floculantes policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural para la remoción del arsénico As (V) de soluciones acuosas.

II). Nivel de significancia

Para este estudio se utilizó el nivel de significancia del $\alpha = 0,05$, con un nivel confianza de $(1 - \alpha) = 0,95$

III). Pruebas estadísticas

Tabla 18

Análisis de varianza del segundo proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante policloruro de aluminio, hidróxido férrico y zeolita natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosas.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	4367,92	873,58	860,30	0,001
Lineal	5	4367,92	873,58	860,30	0,001
pH	1	1235,97	1235,97	1217,18	0,001
NTUF	1	205,23	205,23	202,11	0,005
Policloruro de aluminio	1	18,29	18,29	18,01	0,051
Hidróxido férrico Fe (OH) ₃	1	1,74	1,74	1,71	0,321
Zeolita	1	98,34	98,34	96,84	0,010
Error	2	2,03	1,02		
Total	7	4369,95			

En la tabla 18, se observa los resultados del análisis de varianza, lo cual se puede observar que el floculante Zeolita Natural, muestra un valor inferior a $\alpha < 0,05$.

IV). Regla de decisión

Se acepta

H_0 (hipótesis nula): Si p-valor $> 0,05$

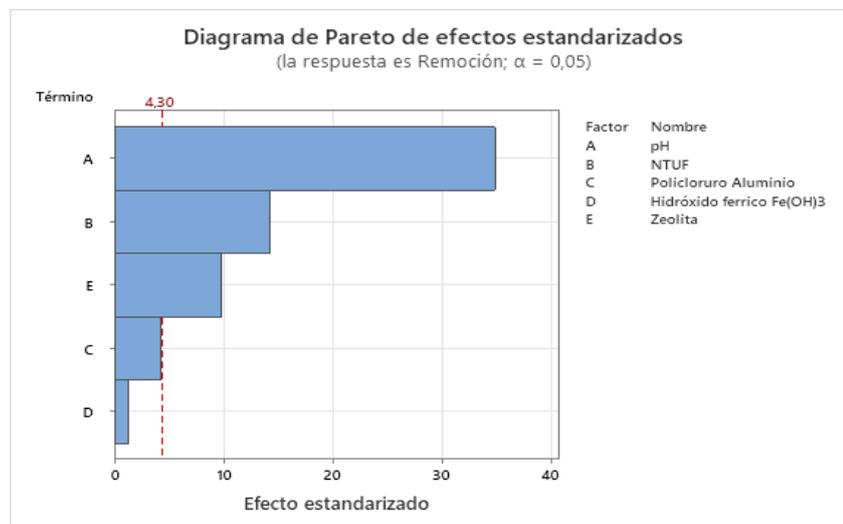
H_1 (hipótesis alterna): Si p-valor $< 0,05$

V). Decisión

Como se observa en el análisis de varianza el p-valor (0,010) para el floculante zeolita natural, al ser $\alpha < 0,05$, entonces se acepta H_1 lo que significa que existe significancia estadística del floculante zeolita para la remoción del arsénico, con influencia del pH.

Figura 21

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados y su aporte significativo en el proceso para la remoción del arsénico As (V).



Asimismo, en la figura 21, el diagrama de Pareto, muestra que los factores policloruro de aluminio, pH, hidróxido férrico y la zeolita natural, aportan significativamente para el proceso de remoción del arsénico As (V). En este proceso



para la remoción del arsénico As (V), el resultado del análisis del diagrama de pareto explica que el control del parámetro de pH de la solución de agua es de mucha importancia, debido a que en la floculación con policloruro de aluminio se incrementa la presencia de iones aluminio por parte de la zeolita natural que viene a ser un floculante ayuda con el cual se incrementa la remoción del As (V) a niveles de pH de 4 a 8 (Miranda, 2012)

4.3.4. Evaluación comparativa de las concentraciones óptimas para el proceso de floculación con sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, para la remoción de arsénico as (v) en soluciones acuosas.

- **Evaluación de las dosis óptimas para el proceso de floculación con floculante sulfato de aluminio para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas.**

El proceso de floculación se evaluó por el método de test de jarras, para el cual se han utilizado ocho vasos de floculación con contenido de un litro de solución acuosa con concentración de $0,096 \text{ (mg. L}^{-1}\text{)}$ de arsénico As(V), procesado con floculante sulfato de aluminio, con el cual se obtiene el valor máximo de remoción de $97,91\%$ de arsénico As(V) con concentración final de $0,002 \text{ (mg. L}^{-1}\text{)}$, concentración por debajo al valor del límite máximo permisible (LMP) que equivale a $0,01 \text{ (mg. L}^{-1}\text{)}$ de arsénico; para el proceso de floculación se utilizó las dosis óptimas de 20 mL , de sulfato de, $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O})$ del (1%) de concentración, con adición de $0,8 \text{ mL}$, de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ $(0,1\text{M})$ y adición de 3 mL , de zeolita natural del (1%) de concentración; así mismo en el proceso de floculación se ha alcanzado obtener una turbiedad de 2 NTU a pH $4,5$ valor por debajo

de LMP de turbiedad que equivale a 5 NTU. Los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Evaluación del proceso de floculación con floculante sulfato de aluminio utilizando volúmenes óptimos de hidróxido férrico (0,1M) y solución de zeolita natural del (1%) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	Al ₂ (SO ₄) ₃ 14H ₂ O del (1%) (mL)	Fe(OH) ₃ (0,1M) (mL)	Zeolita (1%) (mL)	pH	NTU _F	R(As) % Remoción
V04	20	0,8	3,0	4,5	2	97,91
LMP					5	89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

- **Evaluación de las dosis óptimas para el proceso de floculación con floculante policloruro de aluminio para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas.**

El proceso de floculación se ha evaluado por el método de tes de jarras, para el cual se ha utilizado ocho vasos de floculación con contenido de un litro de solución acuosa con concentración de 0,096 (mg. L⁻¹) de arsénico As(V), procesado con uso del floculante de policloruro de aluminio [Al_n(OH)_m(SO₄)_p(Cl_{3n-m-2p})] (PAC), obteniéndose el valor máximo de remoción de 98,75% de arsénico As(V) con concentración final de b<0,0012 (mg. L⁻¹), valor por debajo del límite máximo permisible (LMP) de 0,01 (mg. L⁻¹) de arsénico; para el proceso de floculación se utilizó las dosis óptimas de 25 mL, de policloruro aluminio del (1%) de concentración, con adición de 1,0 mL, de hidróxido férrico Fe(OH)₃ (0,1M) y adición

de 5 mL, de zeolita natural del (1%) de concentración; así mismo en el proceso de floculación se ha alcanzado obtener una turbiedad de 4 NTU a pH 4,9 valor por debajo de LMP de turbiedad que equivale a 5 NTU. Los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 20.

Tabla 20

Evaluación del proceso de floculación con policloruro de aluminio utilizando volúmenes óptimos de hidróxido férrico (0,1M) y de zeolita natural del (1%) para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro

N° Vaso	PAC del (1%) (mL)	Fe(OH) ₃ (0.1M) (mL)	Zeolita (1%) (mL)	Ph	NT U _F	R(As) % Remoción
V06	25	1,00	5,0	4,9	4	98,75
LMP.					5	89,58

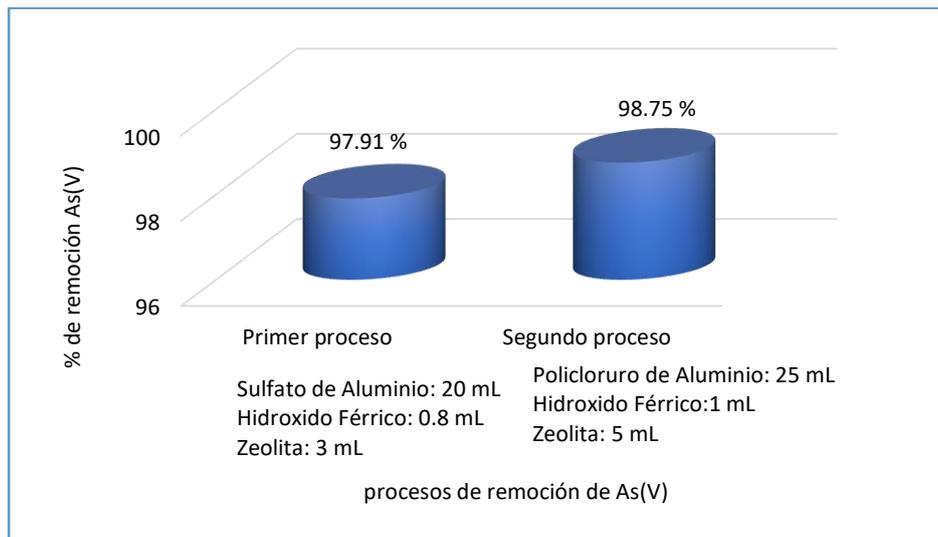
Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

De los dos floculantes utilizado con el objetivo de remover el arsénico As(V) de la solución acuosa, el floculante que ha demostrado mayor rendimiento en la remoción del arsénico es el floculante policloruro de aluminio (PAC) con una remoción del 98,75% de arsénico As(V), valor por debajo del límite máximo permisible (LMP) de (0,01 mg. L⁻¹) de concentración de arsénico, frente al floculante sulfato de aluminio que remocionó el 97,91% de arsénico, cuyo valor también es inferior al límite máximo permisible (LMP) de (0,01 mg. L⁻¹) de concentración de arsénico, así mismo el proceso demuestra que con el floculante policloruro de aluminio (PAC) se ha obtenido una turbiedad menor al (LMP) de 5 NTU, demostrándose que el floculante policloruro de aluminio (PAC) es el floculante adecuado para remover el arsénico As(V) de soluciones de agua que cumplen con el límite máximo permisible establecido por las Normas Nacionales D.S. 004-2017-MINAM Perú.

En la figura siguiente, se aprecia que el segundo proceso es el mejor procedimiento para realizar la remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas para volumen de un litro, con un 98,75% de remoción, utilizando policloruro de aluminio: 25 mL, hidróxido férrico: 1 mL y zeolita natural: 5 mL. Frente a una remoción de 97,91% del primer proceso con sulfato de aluminio: 20 mL, hidróxido férrico: 0,8 mL y zeolita natural: 3 mL.

Figura 22

Evaluación comparativa de las concentraciones óptimas para el proceso de floculación con sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, para la remoción de arsénico as (v) en soluciones acuosas.



4.3.5. Evaluación del contenido de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos en el distrito de Coata.

La evaluación del contenido de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos en el distrito de Coata, se realizaron tomando muestras de aguas naturales de cinco pozos subterráneos, que son utilizados para consumo humano por

la población de los sectores de: dos pozos del sector urbano que corresponde al Centro Educativo 700308 y del sector de periferia de la zona urbana del distrito de Coata; tres pozos del sector rural correspondiente a los pozos del Sector Coataza, Sector Coataza Bajo y Sector Chinchas del distrito de Coata; en la tabla 21, se da a conocer la concentración de arsénico (As) en ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), en las aguas naturales de pozos subterráneos sin tratamiento. Las evaluaciones de la remoción de arsénico de las aguas naturales de pozos subterráneos se realizaron en dos etapas:

Etapa (I). Evaluación de la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos con uso de dosis óptima del floculante sulfato de aluminio.

Etapa (II). Evaluación de la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos con uso de dosis óptimas del floculante policloruro de aluminio (PAC).

Tabla 21

Aguas naturales de pozos subterráneos con contenido de arsénico sin tratamiento en el Distrito de Coata.

Pozos	Lugar de muestreo	Contenido de arsénico (As) _o sin tratamiento ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
01. Urbano	Centro Educativo 700308 Coata.	0,238
02. Rural	Sector Coataza. Coata.	0,242
03. Rural	Sector Coataza Bajo. Coata.	0,118
04. Urbano	Sector Periferia. Coata.	0,292
05. Rural	Sector Chinchas. Coata.	0,451

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.



- **Evaluación de la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos con tratamiento de dosis óptimas del floculante sulfato de aluminio.**

En la tabla 22, se exponen las evaluaciones de las dosis óptimas para floculación con sulfato de aluminio, para el tratamiento de un volumen de un litro de muestra de agua natural de pozo, al cual se les adiciona los volúmenes de dosis óptimos en el siguiente orden:

Al volumen de un litro de agua natural de pozo, se le adiciona 20 mL, de la solución del 1% de concentración de sulfato de aluminio; 0,8 mL, de solución de hidróxido férrico 0,1M y finalmente se adiciona 3,0 mL, de solución del 1% de concentración de zeolita natural; se procede a la coagulación y desestabilización de cargas eléctricas de los iones en la muestra de agua a una agitación de 200 rpm, por 3 minutos y luego flocular a 20 rpm por 20 minutos y poner en reposo por 20 minutos; al finalizar el proceso de floculación tomar muestras para el análisis de arsénico As(V), pH y turbiedad NTU del agua tratada. Del tratamiento realizado con el floculante sulfato de aluminio, los porcentajes de remoción de arsénico As(V), %R(As), se encuentran con valores inferiores al límite máximo permisible (LMP) de concentración de arsénico de $0,01 \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$ (DS. 004-2017-MINAM), con lo que se demuestra que el proceso de floculación con el floculante sulfato de aluminio, con uso de dosis óptimas de las soluciones de hidróxido férrico y zeolita natural, son recomendables para la remoción de arsénico As(V) de aguas naturales de pozos subterráneos y aptos para el consumo humano; los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 22.

Tabla 22

Concentración de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos con tratamiento de dosis óptimas del floculante sulfato de aluminio - hidróxido férrico y zeolita natural

Pozos	Al ₂ (SO ₄) ₃ 14H ₂ O del (1%) (mL)	Fe(OH) ₃ (0,1M) (mL)	Zeolita (1%) (mL)	Agua (As) (inicial) [mg. L ⁻¹]	Agua (As) (final) [mg. L ⁻¹]	R(As) % Remoción
01	20	0,8	3	0,238	0,0019	99,20
02	20	0,8	3	0,242	0,0015	99,38
03	20	0,8	3	0,118	0,0044	96,27
04	20	0,8	3	0,292	0,0077	97,36
05	20	0,8	3	0,451	0,0088	98,04
LMP					0,0100	89,58

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

- **Evaluación de la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos con tratamiento de dosis óptimas del floculante policloruro de aluminio.**

En la tabla 23, se exponen las evaluaciones de las dosis óptimas para floculación con policloruro de aluminio, para el tratamiento de un volumen de un litro de muestra de agua natural de pozo, al cual se les adiciona los volúmenes de dosis óptimos en el siguiente orden:

Al volumen de un litro de agua natural de pozo, se le adiciona 25 mL, de la solución del 1% de concentración de policloruro de aluminio, 1,0 mL, de la solución de hidróxido férrico 0,1M y finalmente adicionar 5,0 mL, de solución del 1% de concentración de zeolita natural; seguidamente se procede a la coagulación y desestabilización de cargas eléctricas de los iones en la muestra de agua a una agitación de 200 rpm, por 3 minutos y luego flocular con una agitación a 20 rpm por

20 minutos y poner en reposo por 20 minutos y de este proceso finalizado, tomar muestras del agua tratada para el análisis de arsénico As(V), pH y turbiedad (NTU). Del tratamiento realizado con el floculante policloruro de aluminio, los porcentajes de remoción de arsénico As(V), %R(As), se encuentran con valores inferiores al límite máximo permisible (LMP) de concentración de arsénico de 0,01 mg·L (DS. 004-2017-MINAM), con lo que se demuestra que el proceso de floculación con el floculante policloruro de aluminio, con uso de las dosis óptimas de las soluciones de hidróxido férrico y zeolita natural, son recomendables para la remoción de arsénico As(V) de aguas naturales de pozos subterráneos y aptos para el consumo humano; los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Remoción de arsénico (As) de aguas naturales de pozos subterráneos con tratamiento de dosis óptimas de floculante policloruro de aluminio - hidróxido férrico y zeolita natural

Pozos	Policloruro de Aluminio del (1%) (mL)	Fe(OH) ₃ (0,1M) (mL)	Zeolita (1%) (mL)	Agua (As) (inicial) [mg·L ⁻¹]	Agua (As) (final) [mg·L ⁻¹]	R(As) % Remoción
01	25	1,0	5	0,238	0,0019	99,20
02	25	1,0	5	0,242	0,0087	96,40
03	25	1,0	5	0,118	0,0090	92,37
04	25	1,0	5	0,292	0,0096	96,71
05	25	1,0	5	0,451	0,0097	97,85
LMP					0,0100	89,58



Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

4.4 LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL ISOTERMA DE ÓPTIMO AJUSTE PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO AS (V) EN SOLUCIONES ACUOSAS Y AGUAS NATURALES SUBTERRÁNEAS DE POZO.

El proceso de remoción comprende la evaluación de una fase sólida denominado sorbente, integrado por las cantidades de dosis óptimas de los: [floculante de concentración del 1% de sulfato de aluminio o de policloruro de aluminio, hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 0.1M y zeolita natural de concentración del 1%] y una fase líquida solvente (agua) o sorbato, que contiene el ion disuelto: [Arsénico ion $\text{As}(\text{V})$], que será absorbido. Para que se produzca remoción por proceso de adsorción, entre el sorbente y sorbato debe existir afinidad de atracción del sólido sorbente (floculante, hidróxido férrico y zeolita natural) sobre el sorbato $\text{As}(\text{V})$, componentes que están enlazados por diferentes procesos, hasta que se produzca equilibrio entre el sorbato que se encuentra disuelto en la solución de concentración inicial (C_0) y el sólido sorbente, que en el equilibrio es indicado por la concentración final (C_f) del sorbato. El equilibrio de adsorción o remoción del $\text{As}(\text{V})$, es evaluado por diferentes modelos matemáticos denominados isotermas de adsorción

Para el estudio de la adsorción para remoción del arsénico $\text{As}(\text{V})$, se ha tomado diferentes concentraciones de sorbato $\text{As}(\text{V})$, comprendidos desde 2,8 a 15,0 [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$] a 20 °C. La evaluación se realizó para dos procesos: Primer proceso con uso del sorbente de floculantes de sulfato de aluminio con adición de la dosis óptima de la zeolita natural. Segundo proceso, utilizando el sorbente floculante policloruro de aluminio con adición de la



dosis óptima de la zeolita natural. En los dos procesos se evaluaron los Isoterma de Freundlich e Isoterma de Langmuir.

4.4.1. Isoterma de Freundlich

En la teoría fundamentada para el Isoterma de Freundlich se considera que la superficie del sorbente es heterogénea y que los espacios donde se realiza la sorción tienen diferentes similitudes y primeramente los espacios de sorción de mayor afinidad serán ocupados por el sorbato y en forma gradual seguirán siendo ocupados por el resto del sorbato As(V). Freundlich determino el modelo potencial entre el soluto y la concentración de equilibrio para la remoción de un catión por adsorción expresado por la ecuación siguiente:

$$Y_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (7)$$

Donde:

Y_e = Cantidad del ion catiónico retenido por unidad de masa del sorbato, $[\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}]$.

K_f = Constante de equilibrio $[\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}] \cdot [\text{L} \cdot \text{mg}]^{1/n}$.

C_e = Concentración de equilibrio del ion catiónico en fase del sorbente sólido, $[\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}]$.

n = Constante de relación de afinidad entre el sorbente y el sorbato.

La ecuación 7 del modelo de Freundlich se debe linealizarse, para la evaluación de la remoción del catión metálico por proceso de absorción-floculación

$$\text{Log}(Y_e) = \text{Log}(K_f) + (1/n) \text{Log}(C_e) \quad (8)$$

Al representar en forma gráfica Log (Ce) frente Log (Ye), se tendrá su respectiva ecuación cuya pendiente representa el valor de (n) o la relación de afinidad entre el sorbente y el sorbato y (Kf) estará representada por la ordenada en el origen.

4.4.2. Isoterma de Langmuir

El modelo de la Isoterma de Langmuir se utiliza para evaluar la sorción de un soluto (iones del metal) que se encuentra en la fase líquida el que es atraído a la superficie del material sorbente debido a las fuerzas físicas electroestáticas o conocido como fuerzas de Van der Waals; se admite que la sorción ocurre en sitios específicos de la superficie del sorbente en el que el catión ocupa un lugar y que no puede ocurrir una sorción en el mismo sitio al mismo tiempo. El isoterma de Langmuir es representa por la siguiente ecuación:

$$Y_e = \frac{b Y_m C_e}{1 + b C_e} \quad (9)$$

Donde:

Y_e = Cantidad del ion metálico retenido por unidad de masa del sorbente [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$].

Y_m = Constante de Langmuir que expresa la máxima capacidad de adsorción en una mono capa compleja [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$].

C_e = Concentración del ion metálico en equilibrio en la fase líquida [$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$].

b = Constante de Langmuir que expresa la afinidad que existe entre el sorbente y el sorbato [$\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$].

Para evaluar la isoterma de la remoción del ion metálico se debe linealizar la ecuación (9) y representar mediante un gráfico los valores de (Ce) frente a (Ce/Ye), con la cual se debe determinar su ecuación lineal, donde la pendiente de la ecuación

lineal representa el valor de (Y_m) y la intercepción en la ordenada es el valor de (b). Del modelo de la Isoterma de Langmuir, se evalúa el factor de separación (R_L), que expresa el tipo de la isoterma Langmuir, según los valores de la ecuación y es una constante adimensional. (Kahraman & Pehlivan, 2017).

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_o} \quad (10)$$

Donde:

C_o : Es la concentración inicial de los iones del metal ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).

b : Es la constante de Langmuir

La evaluación del factor de separación, R_L , describe el tipo de isoterma de Langmuir, teniéndose las interpretaciones de:

Como irreversible ($R_L=0$); favorable ($0 < R_L < 1$); lineal ($R_L=1$) y desfavorable ($R_L > 1$), (Kahraman & Pehlivan, 2017).

4.4.3. Evaluación de los isotermas de Freundlich y Langmuir para remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas por floculación.

- **Primer proceso. remoción de As (V) utilizando sorbente floculante sulfato de aluminio con adición de zeolita natural.**

Para el proceso de remoción de As (V), se utilizó la dosis óptima de $0,20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ del sorbente floculante sulfato de aluminio con adición de la dosis óptima de $0,03 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de la zeolita natural, haciendo un total de $0,23$ gramos de sorbente sólido a pH $4,5$ y a temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. En la tabla 24 y figura 23, se muestra las diferentes concentraciones de arsénico As(V) absorbidos por el sorbente floculante de sulfato de aluminio y adición de la dosis óptima de zeolita natural; obteniéndose la capacidad

de adsorción de arsénico (Y_e) expresado en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; mg de sorbato As(V) adsorbido por un gramo de masa del sorbente (dosis óptimas del floculante y adición de la zeolita natural) y la concentración de As(V) en el equilibrio (C_e), expresado en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en la fase líquida agua y (C_{ee}) es la concentración de equilibrio de As (V) en el sorbente y liquido solvente en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Tabla 24

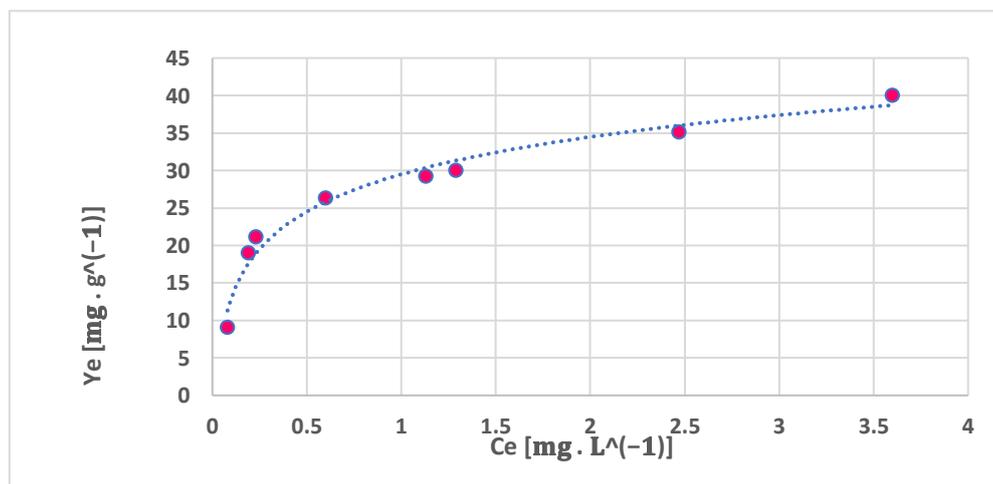
Proceso de remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio dosis óptimas de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y zeolita natural

Vasos	C_o ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	C_e ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Y_e ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	C_{ee} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	%A
1	2,8	0,08	09,066	2,72	96,07
2	5,9	0,19	19,030	5,71	96,61
3	6,5	0,23	21,160	6,27	94,02
4	8,5	0,60	26,330	7,90	92,94
5	9,9	1,13	29,230	8,77	88,98
6	10	1,29	30,030	8,71	87,10
7	13	2,47	35,100	10,53	81,00
8	15	3,60	40,000	11,40	74,00

Fuente: Análisis en Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 23

Remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio y dosis óptimas $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y zeolita natural.



- **Modelo del Isoterma de Freundlich**

La evaluación del modelo del Isoterma de Freundlich se realizó en base a resultados de la tabla 24 y figura 23, que muestran la adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) utilizando el sorbente floculante sulfato de aluminio y zeolita natural. Para determinar el modelo del Isoterma de Freundlich se graficó Log (Cee) con Log (Ye) en base a los valores evaluados que se muestran en la tabla 25 y figura 24.

Tabla 25

Proceso de remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio, dosis óptimas de Fe(OH)₃ y zeolita natural para el Isoterma de Freundlich

Vasos	Cee (mg. L ⁻¹)	Ye (mg. g ⁻¹)	Log (Cee)	Log (Ye)
1	2,72	9,066	0,434	0,957
2	5,71	19,03	0,756	1,279
3	6,27	21,16	0,797	1,325
4	7,9	26,33	0,897	1,42
5	8,77	29,23	0,943	1,465
6	8,71	30,03	0,94	1,477
7	10,53	35,1	1,022	1,545

8 11,4 40 1,056 1,579

Figura 24

Modelo de Freundlich para equilibrio de remoción de As (V) con floculante sulfato de aluminio y zeolita natural.

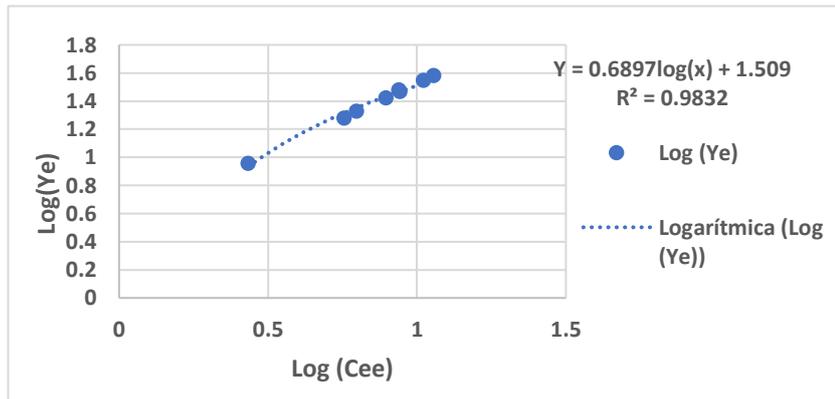


Tabla 26

Valores del modelo del isoterma de Freundlich

T °C	K _f	N	R ²
20	1,509	0,6897	98,32

En la evaluación del equilibrio de remoción de As (V) del modelo de Freundlich, utilizando floculante sulfato de aluminio y zeolita natural, se obtiene el valor de correlación R² de 98,32%, para n < 1, que señala que existe satisfactoria afinidad entre el sorbato–sorbente para el proceso de remoción de As (V) a bajas concentraciones de As (V) presente en soluciones acuosas y en aguas naturales, que concuerda con investigaciones de (Sala et al., 2010).

- **Modelo del Isoterma de Langmuir**

La evaluación del modelo del isoterma de Langmuir se realizó en base a resultados de la tabla 27 y figura 25, que muestran la absorción batch de diferentes

concentraciones de As(V) utilizando el sorbente floculante sulfato de aluminio y zeolita natural. Se utilizó la dosis óptima de $0,20 \text{ g. L}^{-1}$ del sorbente floculante sulfato de aluminio con adición de la dosis óptima de $0,03 \text{ g. L}^{-1}$ de zeolita natural, haciendo un total de 0,23 gramos de sorbente sólido a pH 4,5 a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para determinar el modelo del Isoterma de Langmuir se graficó (Ce) con (Ce/Ye) en base a los valores evaluados que se muestran en la tabla 27 y figura 25.

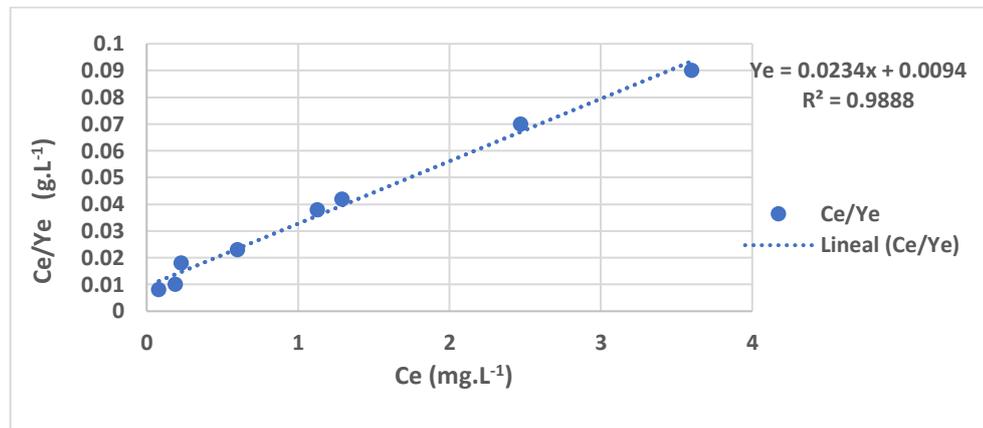
Tabla 27

Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante sulfato de aluminio dosis óptimas de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y zeolita natural, para el Isoterma de Langmuir

Vasos	Co (mg. L^{-1})	Ce (mg. L^{-1})	Ye (mg. g^{-1})	Ce/Ye
1	2,8	0,08	9,066	0,008
2	5,9	0,19	19,03	0,010
3	6,5	0,23	21,16	0,018
4	8,5	0,60	26,33	0,023
5	9,9	1,13	29,23	0,038
6	10	1,29	30,03	0,042
7	13	2,47	35,10	0,070
8	15	3,60	40,00	0,090

Figura 25

Modelo de Langmuir para equilibrio de remoción de As (V) con floculante sulfato de aluminio y zeolita natural.



El modelo del isoterma de Langmuir mediante la evaluación grafica representa una correlación R^2 de 98,88 % y $b = 0,0094$ tiende más próximo a la intercepción a la ordenada, lo que expresa que se tiene mayor afinidad entre el sorbente-sorbato [$L \cdot mg^{-1}$] y por lo tanto explica que existe alta afinidad entre el sorbente-sorbato, (Sala et al. 2010); por lo tanto, es altamente aceptable el proceso de remoción de As (V) utilizando el sorbente floculante sulfato de aluminio y zeolita natural, para bajas concentraciones de As (V) presente en soluciones acuosas y en aguas naturales.

Tabla 28

Valores del modelo del isoterma de Langmuir

T °C	Ym mg.g ⁻¹	B	R ²
20	0,0234	0,0094	98,88

Comparando los valores de correlación isotérmico de R^2 de 98,32% del modelo Freundlich, frente al valor de correlación isotérmico de R^2 de 98,88% del modelo Langmuir; el isoterma que mejor explica la remoción de As (V) de soluciones



acuosas y de aguas naturales, utilizando el sorbente floculante sulfato de aluminio y zeolita natural, es el isoterma del modelo Langmuir, por mostrar alta correlación isotérmica (Volesqui y Holan, 1995).

Del modelo de la isoterma de Langmuir, se evaluó el factor de separación (R_L), según la ecuación (11) para tener la expresión del modelo del isoterma de Langmuir:

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_o} \quad (11)$$

Donde:

C_o : Es la concentración inicial de los iones del metal ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).

b: Es la constante de Langmuir

La evaluación del factor de separación R_L para el proceso de remoción de As (V) con floculante sulfato de Aluminio y Zeolita natural, para soluciones acuosas y para aguas naturales de pozo subterráneo tiene los resultados de:

- Evaluación del factor de separación (R_L) para el modelo isotérmico general de Langmuir, para muestras en soluciones acuosas con contenido de arsénico As(V) es de:

$$R_L = \frac{1}{1 + 0,0094 (2,8)} = 0,994$$

- La evaluación del factor de separación (R_L) utilizando el modelo isotérmico general de Langmuir para muestras de aguas naturales de pozo subterráneo con contenido de arsénico As(V) es:

$$R_L = \frac{1}{1 + 0,0094 (0,09)} = 0,999$$

La interpretación de la evaluación del factor de separación de $R_L = 0,999$ del isoterma de Langmuir para el tratamiento de aguas naturales de pozos subterráneos, explica que es muy favorable la remoción de arsénico As (V) utilizando floculante sulfato de aluminio y zeolita natural.

- **Segundo proceso. remoción de As (V) utilizando floculante policloruro de aluminio con adición de zeolita natural.**

Con uso del sorbente floculante policloruro de aluminio; para el proceso de remoción de arsénico, se utilizó la dosis óptima de $0,25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, con adición de la cantidad óptima de zeolita natural de $0,05 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, teniéndose una cantidad total de $0,30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de sorbente sólido, a pH 4,9. El proceso de floculación se realizó a 20 rpm por un tiempo de 20 minutos. En la tabla 29 y figuras 27, se muestra las diferentes concentraciones de arsénico As(V) removidos por el sorbente floculante policloruro de aluminio (PAC), con adición de las dosis óptimas de Zeolita natural; obteniéndose la capacidad de absorción de arsénico (Y_e) expresado en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; resultado que explica (mg) de sorbato As(V) es absorbido por un gramo de masa del sorbente (dosis óptimas del floculante) y así mismo se tiene la concentración de As(V) en el equilibrio (C_e), $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en la fase líquida agua.

Tabla 29

Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y zeolita natural

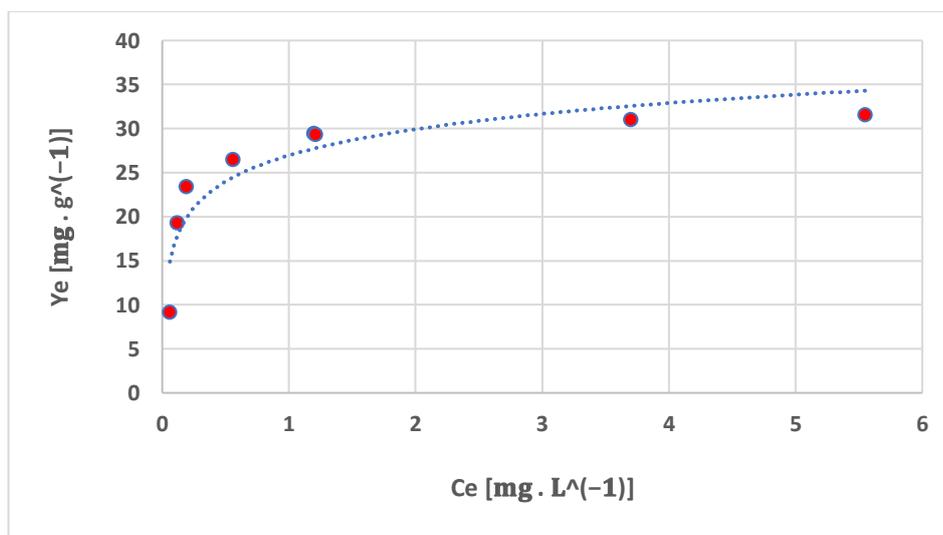
Vasos	C_o ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	C_e ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Y_e ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	C_{ee} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	%A
1	2,8	0,06	9,13	2,740	97,85

2	5,9	0,12	19,26	5,780	97,97
3	7,2	0,19	23,36	7,010	97,36
4	8,5	0,56	26,47	7,940	93,41
5	9,9	1,20	29,40	8,700	87,88
6	10	1,21	29,30	8,790	87,90
7	13	3,7	31,00	9,300	71,54
8	15	5,55	31,50	9,450	63,00

Fuente: Laboratorios analíticos del sur Arequipa. LAS-Arequipa 2022.

Figura 26

Remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas Fe(OH)₃ y zeolita natural.



Modelo del Isoterma de Freundlich

La evaluación del modelo del Isoterma de Freundlich se realizó en base a resultados de la tabla 30 y figura 28, que muestran la remoción batch de diferentes concentraciones de As(V) utilizando el sorbente floculante policloruro de aluminio y zeolita natural.



Para determinar el modelo del isoterma de Freundlich se graficó Log (Cee) con Log (Ye) en base a los valores evaluados que se muestran en la tabla 30 y figura 27.

Tabla 30

Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas de Fe(OH)₃ y zeolita natural, para el modelo del Isoterma de Freundlich

Vasos	Ye (mg. g ⁻¹)	Cee (mg. L ⁻¹)	Log (Cee)	Log (Ye)
1	9,13	2,74	0,477	0,959
2	19,26	5,78	0,762	1,285
3	23,36	7,01	0,846	1,368
4	26,47	7,94	0,899	1,423
5	29,4	8,70	0,939	1,468
6	29,3	8,79	0,944	1,467
7	31,0	9,30	0,968	1,491
8	31,5	9,45	0,975	1,498

Figura 27

Modelo de Freundlich para equilibrio de remoción de As (V) con floculante policloruro de aluminio y zeolita natural.

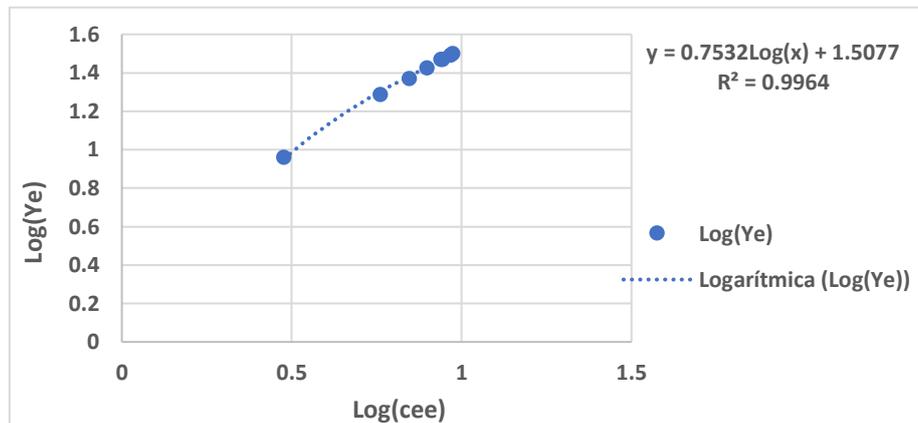


Tabla 31

Valores del modelo del isoterma de Freundlich

T °C	Kf	N	R ²
20	1,507	0,7532	99,64

En la evaluación del equilibrio de remoción de As(V) del modelo de Freundlich, en el que se utilizó floculante policloruro de aluminio y zeolita natural, se tiene valores de correlación R² de 99,64%, para n < 1, que señala que existe satisfactoria afinidad entre el sorbato–sorbente para el proceso de remoción de As (V) a bajas concentraciones de As (V) presente en soluciones acuosas y en las aguas naturales, resultado que concuerda con investigaciones de (Sala et al., 2010).

- **Modelo del Isoterma de Langmuir**

Para determinar el modelo del Isoterma de Langmuir se graficó (Ce) con (Ce/Ye) en base a los valores evaluados que se muestran en la tabla 32 y figura 28.

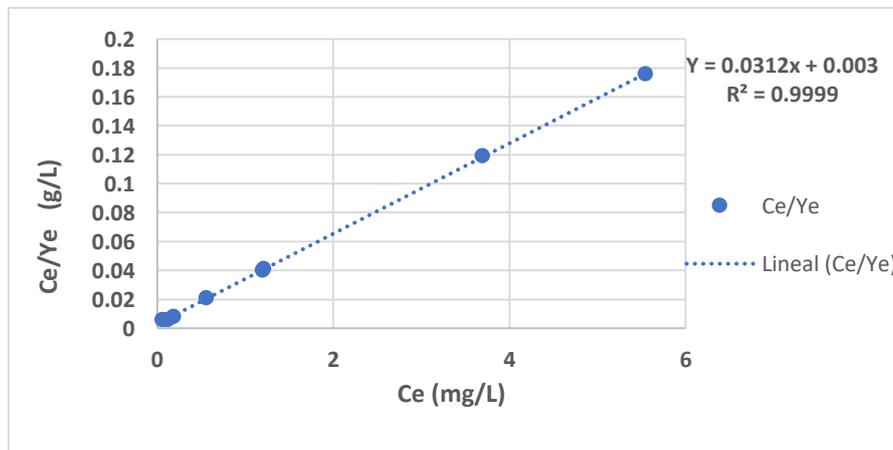
Tabla 32

Proceso de adsorción batch de diferentes concentraciones de As(V) con floculante policloruro de aluminio dosis óptimas de Fe(OH)₃ y zeolita natural, para el modelo de Langmuir

Vasos	Co (mg. L ⁻¹)	Ce (mg. L ⁻¹)	Ye (mg. g ⁻¹)	Ce/Ye
1	2,8	0,06	09,13	0,006
2	5,9	0,12	19,26	0,006
3	7,2	0,19	23,36	0,008
4	8,5	0,56	26,47	0,021
5	9,9	1,2	29,40	0,04
6	10	1,21	29,30	0,041
7	13	3,7	31,00	0,119
8	15	5,55	31,50	0,176

Figura 28

Modelo de Langmuir para equilibrio de remoción de As (V) con floculante policloruro de aluminio y zeolita natural.



El modelo del isoterma de Langmuir mediante la evaluación gráfica representa una correlación de R^2 de 99,99 % y con un valor de $(b = 0,003)$, que tiende a ser más próximo a la intercepción a la ordenada, lo que expresa que existe mayor afinidad entre el sorbente-sorbato [$L. mg^{-1}$] y por lo tanto explica que existe alta afinidad entre

el sorbente-sorbato, resultados corroborados con trabajos de (Sala et al., 2010); por lo tanto, el proceso de floculación es altamente aceptable para la remoción de As (V) utilizando el sorbente floculante policloruro de Aluminio y Zeolita natural para bajas concentraciones de As (V) presente en soluciones acuosas y en las aguas naturales.

Tabla 33

Valores del modelo del isoterma de Langmuir

T °C	Ym mg.g ⁻¹	B	R ²
20	0,0312	0,003	99,99

Comparando los valores de correlación isotérmico, el modelo Freundlich, reporta una correlación de R² de 99,64%, del frente al valor de correlación isotérmico del modelo Langmuir de R² de 99,99%. El isoterma del modelo de Langmuir es el isoterma que mejor explica la remoción de As (V) de soluciones acuosas y de aguas naturales de pozos subterráneos, utilizando el sorbente floculante policloruro de aluminio y zeolita natural, por mostrar alta correlación isotérmica, corroborado por los trabajos de (Volesky & Holan, 1995).

Para elegir el isoterma de mejor ajuste, para el proceso de remoción de As (V), utilizando sorbentes, floculante policloruro de aluminio - zeolita natural y floculante Sulfato de aluminio - zeolita natural, estas fueron evaluados mediante las isoterma de Langmuir frente al isoterma de Freundlich; obteniéndose que el modelo del isoterma de Langmuir, es el modelo de mejor ajuste que explica la remoción de As (V) de soluciones acuosas y de aguas naturales.



Del modelo de la isoterma de Langmuir, se evaluó el factor de separación (R_L), según la ecuación (12), para tener la expresión del tipo del isoterma de Langmuir:

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_o} \quad (12)$$

Donde:

C_o : Es la concentración inicial de los iones del metal (mg. g⁻¹).

b: Es la constante de Langmuir

La evaluación de R_L para el proceso de remoción de As (V) con el floculante policloruro de Aluminio y Zeolita natural tiene los siguientes resultados:

Evaluación del factor de separación (R_L) para el modelo isotérmico general de Langmuir, para muestras en soluciones acuosas con contenido de arsénico As(V) es expresado por la siguiente ecuación:

$$R_L = \frac{1}{1 + 0,003 (2,8)} = 0,992$$

La evaluación del factor de separación (R_L) utilizando el modelo isotérmico general de Langmuir para muestras de aguas naturales de pozo subterráneos con contenido de arsénico As (V) es de:

$$R_L = \frac{1}{1 + 0,003 (0,09)} = 0,999$$

La interpretación de la evaluación del factor de separación de $R_L = 0,999$ del isoterma de Langmuir para el tratamiento de aguas naturales de pozos subterráneos, explica que es



muy favorable la remoción de arsénico As (V) utilizando floculante policloruro de Aluminio y Zeolita natural.

4.4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En la siguiente investigación se determinó las dosis óptimas de los floculantes de sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico, pH y turbiedad final, para remoción de arsénico as (v) en soluciones acuosas.

Resultados de las dosis óptimas de floculación con sulfato de aluminio, hidróxido férrico y solución de zeolita natural.

Tratamiento (A). En este este tratamiento con el uso de una dosis óptima de 20 mL del floculante sulfato de aluminio del (1%), a pH 5 en la solución acuosa, se logró la remoción del 72,71% de arsénico As(V)

Tratamiento (B). En este tratamiento, con la adición de la dosis óptima de 20 mL, del floculante sulfato de aluminio del (1%) y con el agregado de 0,8 mL de hidróxido férrico (0,1M); se obtiene en la solución acuosa el mayor valor de 91,67% de remoción de As(V) a pH 4,4 y de esta manera se obtiene la dosis óptima de 0,8 mL, de hidróxido férrico (0,1M) para el proceso de remoción de As(V).

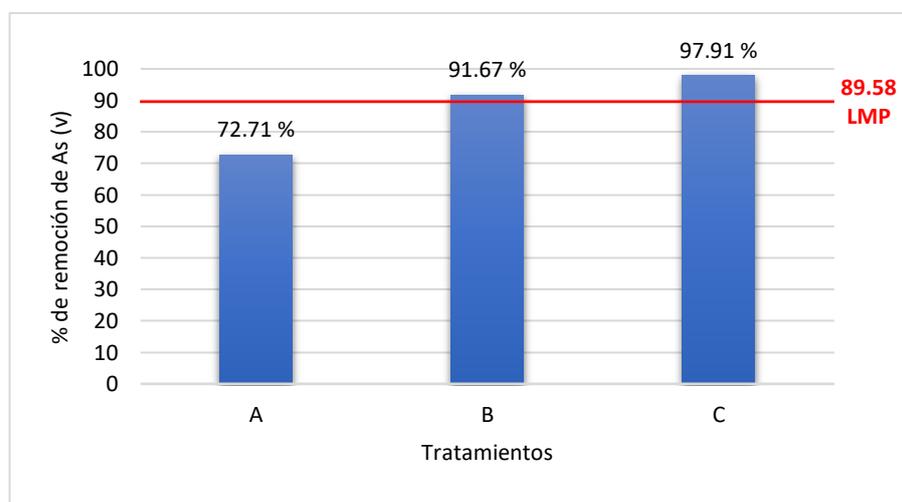
Tratamiento (C). Para la remoción de arsénico As(V) de la solución acuosa, con adición de las dosis óptimas de 20 mL, del floculante sulfato de aluminio del (1%), 0,8 mL de hidróxido férrico (0,1M), y con el agregado de 3 mL de zeolita natural del (1%), se obtiene el mayor valor de 97,91% de remoción de As(V) a pH 4.5 en la solución acuosa; de esta

manera se obtiene la dosis óptima de 3 mL, de zeolita natural del (1%) para el proceso de remoción de As(V).

Del primer proceso de floculación con sulfato de aluminio para la remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, la mayor remoción de 97,91% de As(V) se obtiene en el tratamiento C, utilizando las dosis óptimas de 20 mL del floculante sulfato de aluminio del (1%), 0,8 mL de hidróxido férrico (0,1M) y 3 mL de zeolita natural del (1%); proceso en el cual se tiene la remoción de arsénico As(V), que cumple con valores menores al $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, del límite máximo permisible (LMP) de las normas nacionales de la calidad de agua para consumo humano (DS. 004-MINAM-2017). Los tratamientos B y C, superan el 89,58 % del límite máximo permisible (LMP) de remoción de arsénico As(V); por lo tanto, estos dos tratamientos permiten la remoción del arsénico As (V) de soluciones acuosas a concentraciones menores del $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de As (V). (D.S. 004-2017-MINAM) y por lo tanto son aptos para el consumo humano.

Figura 29

Primer proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante sulfato de





aluminio, hidróxido férrico y zeolita Natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosas.

En la figura 29, se exponen los resultados, del primer proceso de tratamiento con uso de floculante sulfato de aluminio y la evaluación de las cantidades óptimas de hidróxido férrico y zeolita natural, para remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas.

Resultados de las dosis óptimas de floculación con policloruro de aluminio, hidróxido férrico y solución de zeolita natural.

Tratamiento (A). En este tratamiento con el uso de una dosis óptima de 25 mL del floculante policloruro de aluminio (PAC) del (1%), a pH 4,8 en la solución acuosa, se logró la remoción del 65,63% de arsénico As(V)

Tratamiento (B). En este tratamiento, con la adición de la dosis óptima de 25 mL, del floculante policloruro de aluminio (PAC) del (1%) y con el agregado de 1,0 mL de hidróxido férrico (0,1M); se obtiene en la solución acuosa el mayor valor de 86,45% de remoción de As(V) a pH 4,7 y de esta manera se obtiene la dosis óptima de 1,0 mL, de hidróxido férrico (0,1M) para el proceso de remoción de As(V).

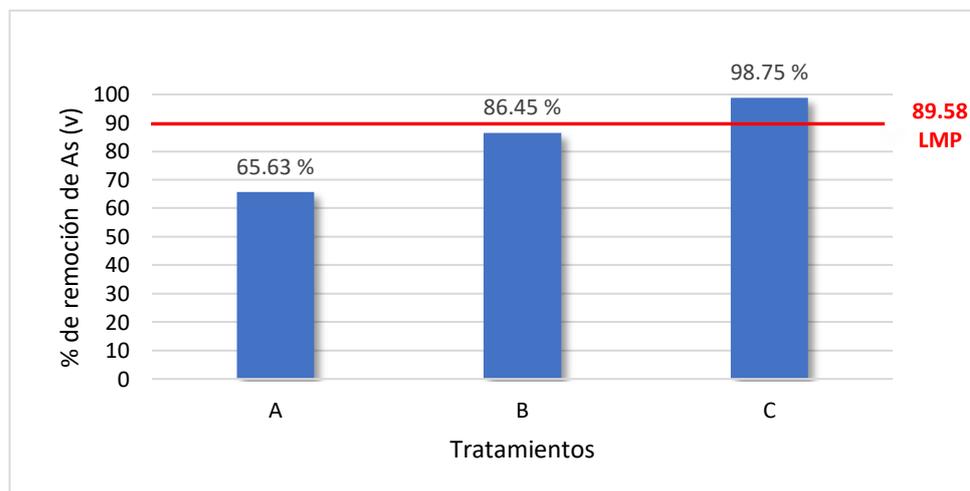
Tratamiento (C). Para la remoción de Arsénico As(V) de la solución acuosa, con adición de las dosis óptimas de 25 mL, del floculante policloruro de aluminio del (1%), 1,0 mL de hidróxido férrico (0,1M), con el agregado de 5 mL de zeolita natural del (1%), a pH 4,9; se obtiene el mayor valor de 98,75% de remoción de As(V) en la solución acuosa.

Del segundo proceso de tratamiento con floculante policloruro de aluminio, para la remoción de arsénico As(V) de soluciones acuosas, se obtiene la mayor remoción de 98,75%

de As(V), en el tratamiento (C), utilizando las dosis óptimas de 25 mL del floculante policloruro de aluminio del (1%), 1,0 mL de hidróxido férrico (0,1M) y 5 mL de zeolita natural del (1%) a pH 4,9; proceso de remoción de arsénico As(V), que cumple con valores menores al $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, del límite máximo permisible (LMP) de las normas nacionales de la calidad de agua para consumo humano (DS. 004-MINAM-2017). Los tratamientos B y C, superan el 89,58 % el límite máximo permisible (LMP) de remoción de arsénico As(V); por lo tanto, estos dos tratamientos permiten la remoción del arsénico As (V) de soluciones acuosas a concentraciones menores del $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de As (V); por lo tanto, son aptos para el consumo humano.

Figura 30

Segundo proceso para determinar las concentraciones óptimas del floculante policloruro de aluminio (PAC), hidróxido férrico y zeolita Natural; para remoción del arsénico As (V) de solución acuosas.



En la figura 30, se exponen los resultados, del segundo proceso de tratamiento con uso de floculante policloruro de aluminio (PAC) y la evaluación de las cantidades óptimas



de hidróxido férrico y zeolita natural, para remoción de arsénico As (V) de soluciones acuosas.

Resultados de la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozo subterráneo del distrito de coata.

En la siguiente investigación se determinó la remoción de arsénico (As) en aguas naturales de pozos subterráneos del distrito de coata, del tratamiento realizado con el floculante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio los porcentajes de remoción de arsénico As(V), %R(As), para ambos casos se encuentran con valores inferiores al límite máximo permisible (LMP) de concentración de arsénico de 0,01 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (DS. 004-2017-MINAM), con lo que se demuestra que el proceso de floculación, con el floculante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio con uso de dosis óptimas de las soluciones de hidróxido férrico y zeolita natural, son recomendables para la remoción de arsénico As(V) de aguas naturales de pozos subterráneos y aptos para el consumo humano; los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 22 y 23

Martínez et al, (2018) en la remoción de arsénico de soluciones acuosas y de aguas naturales para consumo humano, determinan que, por procesos de adsorción y floculación, con uso de floculante y con asistencia de óxidos de hierro natural y sintéticos, son eficientes en la eliminación de arsénico de soluciones acuosas y en aguas naturales. Podemos inferir que los resultados de nuestro estudio en el cual obtuvimos 97,91%, utilizando floculante sulfato de aluminio y 98.75% con policloruro de aluminio, en ambo casos se utilizó hidróxido de fierro, se pudo demostrar la capacidad de remoción es eficaz.



Los resultados de mayor remoción de As (V), se debe a la adición de la solución de zeolita natural modificado por el hidróxido férrico; se tiene resultados similares para el tratamiento con el adsorbente de zeolita natural (*clinoptilolita*) recubierta con óxidos de hierro a partir de cloruro férrico, para remover arsénico de aguas naturales. El óxido de hierro fue fijado en la superficie del material filtrante el que se comporta como medio de contacto efectivo para remover arsénico en flujo continuo de agua con contenido de arsénico de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, obteniendo una concentración final inferior al límite máximo permisible ($0,045 \text{ ug} \cdot \text{L}^{-1}$) Rivera (2005).

V. CONCLUSIONES

- La caracterización físico-química de la zeolita natural, se evaluó por el “método de Difracción de Rayos X”, teniéndose el nombre y la fórmula de: zeolita-andesita, con componentes de estructura química del 97,93% de $0,735\text{Al} - 0,24\text{Ca} - 0,26\text{Na} - 1,265\text{SiO}_2$; de lectura por DB card number 9001030 (2022).
- Las dosis óptimas de los flocculantes para la remoción de arsénico As(V) por litro de soluciones acuosas y de aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano, fueron para: El flocculante sulfato de aluminio de 20 mL del (1%), 0,8 mL de hidróxido férrico del (1%) y 3 mL de zeolita natural del (1%) a pH 4,5. Para el flocculante policloruro de aluminio de 25 mL del (1%), 1,0 mL de hidróxido férrico del (1%) y 5 mL de zeolita natural del (1%) a pH 4,9.
- La remoción de arsénico As(V) por proceso discontinuo batch, utilizando las dosis óptimas de floculación para muestras de un litro de solución acuosa y de aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano del Distrito de Coata, Provincia



y Región Puno, fueron de: Para las dosis óptima de floculante sulfato de aluminio la remoción de arsénico As(V) fue de 97,91% en la solución acuosa y para aguas naturales de pozos subterráneos (P), de 99.20% para (P1), 99,38% (P2), 96,27% (P3), 97,36% (P4) y 98.04% (P5); para la dosis óptima de floculante policloruro de aluminio la remoción de arsénico As(V) fue de 98,75% en la solución acuosa y para aguas naturales de pozos subterráneos (P), de 99,20% para (P1), 96,40% (P2), 92,37% (P3), 96,71% (P4) y 97,85% (P5). Para ambos floculantes la remoción de arsénico As(V) tienen valores mayores al límite máximo permisible (LMP) de 89,58% o a la concentración menor a 0,01 mg. L⁻¹ de As(V).

- El isoterma de mejor ajuste para la remoción de arsénico As (V) en soluciones acuosas y aguas naturales subterráneas de pozo, en proceso discontinuo batch, se tiene para el primer tratamiento utilizando sorbente floculante sulfato de aluminio y zeolita natural; comparando los valores de correlación isotérmico el modelo de Freundlich reporta R^2 de 98,32%, frente al modelo Langmuir con R^2 de 98,88%; concluyéndose que el isoterma que mejor explica la remoción de As (V) de soluciones acuosas y de aguas naturales, es el isoterma del modelo Langmuir, por mostrar alta correlación isotérmica. Para el segundo tratamiento utilizando sorbente floculante policloruro de aluminio y zeolita natural, el modelo isotérmico de Freundlich reporta una correlación de R^2 de 99,64% y el modelo de Langmuir, una correlación isotérmica de R^2 de 99.99%; por lo tanto, el isoterma que mejor explica la remoción de As (V) de soluciones acuosas y de aguas naturales, es el isoterma del modelo de Langmuir, por mostrar alta correlación isotérmica.



VI. RECOMENDACIONES

- Para remoción de arsénico de aguas naturales de pozos subterráneos del área rural y urbano en el Distrito de Coata, se recomienda realizar la captación del agua en tanques elevados y por proceso hidráulico tratar el agua por floculación con sulfato de aluminio o policloruro de aluminio con floculante ayuda de zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y su posterior sedimentación, debido a que por esta propuesta técnica se ha remocionado arsénico del agua en 98,05% con sulfato de aluminio y en 96,51% con policloruro de aluminio.
- Se recomienda realizar el tratamiento de remoción de arsénico del agua natural de pozos subterráneos de la zona urbana y rural del distrito de Coata, mediante la tecnología de floculación con sulfato de aluminio o policloruro de aluminio con floculante ayuda de zeolita natural acondicionado con hidróxido férrico y su posterior sedimentación, por tener bajos costos debido a que la zeolita natural a utilizar es proveniente de formaciones geológicas naturales de yacimientos del distrito de Atuncolla y el hidróxido férrico es producto de oxidación de virutas de fierro metálico.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akram, M., Iqbal, M., Daniyal, M., & Khan, A. U. (2017). Awareness and current knowledge of breast cancer. *Biological Research*, 50(1), 28969709.
<https://doi.org/10.1186/s40659-017-0140-9>
- Alvarez, H. (2021). *Andesita : Identificación , propiedades , formación y usos*. Geotecnia Facil. <https://geotecniafacil.com/andesita-roca/>
- Anawar, H., Akai, J., Komaki, K., Terao, H., Yoshioka, T., Ishizuka, T., Safiullah, S., & Katoc, K. (2003). Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh : sources and mobilization processes. *Geochemical Exploration*, 77, 109–131. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(02\)00273-X](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00273-X)
- AQUAE. (2022). *¿Qué son las aguas subterráneas?* AQUAE FUNDACIÓN.
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/las-aguas-subterranas/>
- Byrd, D., Roegner, L., Griffiths, J., Lamm, S., Grumski, K., Wilson, R., & Lai, S. (1996). Carcinogenic risks of inorganic arsenic in perspective. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 68(6), 484–494.
<https://doi.org/10.1007/BF00377874>
- Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil “desembarco del Granma” a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, XXIX(3), 64–73.
<https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>



- Carbonell, E., & Rodríguez, P. (1999). Atapuerca y la evolución biológica y cultural de los humanos. *Revista de La Asociación Española Para La Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 7(2), 112–120.
- Carbotecnia. (2023). *¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción?* Carbotecnia. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/>
- Catacora, R., & Marin, C. (2015). *Modelamiento y evaluación del proceso de remoción de arsénico en aguas superficiales de la zona leticia - distrito de Uchumayo utilizando el método de adsorción con zeolitas* [Universidad Nacional de San Agustín]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/2e1174b1-9aa5-484c-80ca-c21d1dcc0a87>
- Ceseña, J. I., Ramos, E., Serafín, A. H., Moreno, J., Zanor, G., & Gutiérrez, N. (2019). Remoción de arsénico del agua para consumo humano empleando un hidróxido doble laminar Mg/Fe. *Acta Universitaria*, 29, 1–12. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2499>
- Coaquira, C. (2019). *Remocion de arsenico de aguas naturales por proceso de oxidacion con hierro y radiacion solar del sector rural Caracoto Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14207>
- Contreras, J., Mendoza, C., & Gómez, A. (2004). Dterminación de metales pesados en aguas y sedimentos del río haina. *Ciencia y Sociedad*, XXIX(1), 38–71. <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp38-71>
- Curi, A., Granda, W., Lima, H., & Sousa, W. (2006). Las Zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. *Información Tecnológica*, 17(6), 1–7. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000600017
- Garcia, J., Martínez, K., & Carbonell, E. (2011). Continuity of the first human occupation in the Iberian Peninsula: Closing the archaeological gap. *Comptes Rendus - Palevol*, 10(4), 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2011.02.004>



- Gao, Goldberg, S. & Herbel, M. (2006). *Los procesos de absorción que afectan a la solubilidad del arsénico en los sedimentos superficiales oxidados de Tulare Lake Bed*. *Geología Química*, 228: 33 – 43.
- Gelves, F. (2017). *Zeolitas naturales colombianas de la formación Combia, municipio de La Pintada: mineralogía, caracterización y aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia.
- Glocheux, Y., Albadarin, A. B., Mangwandi, C., Stewart, E., & Walker, G. M. (2015). Producción de oxihidróxidos sulfatados de hierro y aluminio porosos utilizando coagulantes de grado industrial para optimizar la eliminación de arsénico del agua subterránea. *Revista de Química Industrial y de Ingeniería*, 25, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.10.013>
- Guillén, M. O., Pérez, V., Quispe, T., Talavera, M. E., & Huamán, F. E. (2021). Tratamiento fisicoquímico de Los efluentes del proceso de Lavado de Lana en una industria textil de Arequipa. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(4), 428–438. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.312>
- Hernandez-Sampiere, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. In *Hernandez-Sampiere, Roberto*. Mc Graw Hill.
- Kahraman, H. T., & Pehlivan, E. (2017). Eliminación de Cr 6 + utilizando biocarbón de semilla de oleaster (*Elaeagnus*) y hueso de cereza (*Prunus avium*). *Tecnología de Polvo Volumen*, 306, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.050>
- Karagas, M., Tostesonel, T. D., Blum, B. K., Weiss, J., Stanard, V., Spate, V., & Morris, S. (2000). Medición de niveles bajos de exposición al arsénico : una comparación de las concentraciones de agua y uñas de los pies. *American Journal of Epidemiology*, 65, 84/90. <https://doi.org/10.1093/aje/152.1.84>
- Kuppusamy, P., Yusof, M., Maniam, G. P., & Govindan, N. (2014). Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications – An updated report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(4), 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2014.11.013>



- Lillo, J. (2020). *Peligros geoquímicos : arsénico de origen natural en las aguas*.
[https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Peligros geoquímicos del arsénico - Javier Lillo.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Peligros%20geoqu%C3%ADmicos%20del%20ars%C3%A9nico%20-%20Javier%20Lillo.pdf)
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Informacion Tecnologica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- Londoño-, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Loya, J. (2022). *Remocion de arsenico usando zeolita como adsorbente* (Vol. 1) [Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.].
[https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2459/1/Jesús Daniel Loya Ramírez - Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental - 2022.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2459/1/Jes%C3%BA%20Daniel%20Loya%20Ram%C3%ADrez%20-%20Maestr%C3%ADa%20en%20Ciencia%20y%20Tecnolog%C3%ADa%20Ambiental%20-%202022.pdf)
- Martínez, L., Aguilera, G., Martínez., L, (2018). *Remoción de arsénico de agua potable mediante adsorción sobre óxido y oxihidróxidos de hierro*, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. V. Carranza,
- Mejía, F., Valenzuela, J., Aguayo, S., & Meza, D. (2009). Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(4), 217–227.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000400002
- MINAM (2017). "Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA). Para agua y establecen disposiciones complementarias". El peruano 10-19. Disponibles en :
[https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estándares de calidad - ambiental-ea-agua-establecen-disposiciones](https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-est%C3%A1ndares-de-calidad-ambiental-ea-agua-establecen-disposiciones).
- Miranda, N. (2012). *Tecnología de aguas tratamiento y control de calidad* (2da Edición). Universidad Nacional del Altiplano.



https://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=author_see&id=80215

- Mostaedi, M., Asadollahzadeh, M., Hemmati, A., & Khosravi, A. (2013). Estudios de equilibrio , cinética y termodinámica para la biosorción de cadmio y níquel en la cáscara de pomelo . *Revista Del Instituto de Ingenieros Químicos de Taiwán*, 44(2), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2012.11.001>
- Murillo, J. (2012). *Métodos de investigación de enfoque experimental* (pp. 167–193). McGraw Hill. <http://www.postgradoune.edu.pe/documentos/Experimental.pdf>
- Narváez, D. (2009). *Evaluación de zeolitas sintetizadas a partir de residuos de carbón, en la remoción de arsénico en agua para consumo humano. Estudio de caso: Zimapán, Hidalgo* [Instituto Politécnico Nacional - Mexico].
https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6154/1478_tesis_Febrero_2010_1811001017.pdf?sequence=1
- Nahuatlato, Juárez, Anahí., López, Alfaro, Miguel., Hernández, Moreno, Luis., Sánchez Cantú, Manuel., Santamaría, Juárez, Juana., Galicia, Aguilar, José. (2016). *Caracterización de un adsorbente tipo hidrotalcita para la remoción de arsénico en agua*. 3er, Encuentro de Ingeniería Ambiental y Ciencias Ambientales. Tecnológico Nacional de México. Año 3-2016. N° único: 21–24.
- Ortuño, J. F., Águilar, M. I., LLornés, M., & Soler, A. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación* -. F.F. GRAF S.L.
https://books.google.com.pe/books?id=8v1QBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false
- Pary, A., & Mamani, M. (2018). *Remoción de Arsénico (As) en Aguas Naturales por Procesos de Oxidación, Floculación, Sedimentación y Filtración* [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12407>
- Quansah, R., Armah, F. A., Essumang, D. K., Luginaah, I., Clarke, E., Marfoh, K., Cobbina, S. J., Nketiah-Amponsah, E., Namujju, P. B., & Obiri, S. (2015). Asociación del arsénico con resultados adversos en el embarazo/mortalidad infantil: Una revisión sistemática y un metanálisis. *Perspectiva de Salud Ambiental* .,



123(5). <https://doi.org/10.1289/ehp.1307894>

Rivas, S., Menés, G., & Rodríguez, R. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química*, 37(2), 173–183.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200002

Rivera, M., & Piña, M. (2005). Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada. *Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua*, 1(1), 1–11. <http://www.zeocat.es/docs/aguaarsenico2.pdf>

Rangel, M., Edelweiss, A., Montañez, H., Lilia E., Luévanos, E., Miriam P., & Balagurusamy, N., (2015). *Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. Terra Latinoamericana*

Sabater, S., Guasch, H., Moreno, R., Romaní, A., & Muñoz, I. (2008). Calidad y cantidad de agua: el estado ecológico de los sistemas acuáticos continentales. In A. continentales A. (coord.), & C. S. D. I. CIENTÍFICAS (Eds.), *Aguas continentales: gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. CSIC. <http://hdl.handle.net/10261/22637>

SACYL. (2008). *Orden MAM/85/2008 de 16 de enero, por la que se establecen los criterios técnicos para la valoración de los daños al dominio público hidráulico y las normas sobre toma de muestras y análisis de vertidos de aguas residuales* (pp. 1–16). Portal de Salud. <https://www.saludcastillayleon.es/institucion/es/recopilacion-normativa/salud-publica/aguas-consumo/orden-mam-85-2008-16-enero-establecen-criterios-tecnicos-va>

Sala, L. F., García, S. I., González, J. C., Frascaroli, M. I., Bellú, S., Mangiameli, F., Atria, A. M. (2010). *Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho*. In *Anales de Química* (Vol. 106)

Saha, B., & Orvigb, C. (2010). Biosorbentes para la eliminación de cromo hexavalente de efluentes industriales y municipales. *ScienceDirect*, 254(23), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2010.06.005>



- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). Una revisión del origen , comportamiento y distribución del arsénico en aguas naturales . *Geoquímica Aplicada*, 17(517–568), 1–5. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Tapia, L. (2017). *Estudio de aprovechamiento hídrico en la cuenca Coata con fines de planeamiento agrícola* [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5020>
- Ullah, I., Nadeem, R., Iqbal, M., & Manzoor, Q. (2013). Biosorption of chromium onto native and immobilized sugarcane bagasse waste biomass. *Ecological Engineering*, 60, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.028>
- Valdivieso, A. (2020). *¿Qué son las aguas subterráneas?* Iagua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-subterraneas>
- Vaca, M., Lopez, R., Gehr, R., Jimenez, B., & Alvarez, P., (2001). *heavy metal removal with mexican clinoptilolite: multi-component ionic Exchange*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, D.F. 02200, México.
- Vidal, C. (2007). *Modificación de zeolitas chilenas con detergentes catiónicos para abatimiento de arsénico en residuos Industriales líquidos* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187649>
- Volesky, B., & Holan, Z. (1995). *Biotechnology progress*. 11(3), 1–16. <https://doi.org/10.1021/bp00033a001>
- Zamzów, M. J., Eichbaum, B. R., Sandgren, K. R., & Mangos, D. (1990). Eliminación de metales pesados y otros cationes de aguas residuales mediante zeolitas. *Ciencia y Tecnología de Separación*, 25(13), 1555–1569. <https://doi.org/10.1080/01496399008050409>
- Zeomex, (2002). La zeolita para el tratamiento y filtración de agua. *Fundamentos básicos zeomex, Mexico*.
- ZEOCAT. (2008). *¿Qué es Zeolita?* Soluciones Ecológicas Con Zeolita Natural. <https://www.zeocat.es/spanish/queeszeolita.htm>





ANEXOS

ANEXO 1: Certificación de la caracterización de la zeolita-andesita natural



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Quantitative Analysis Results

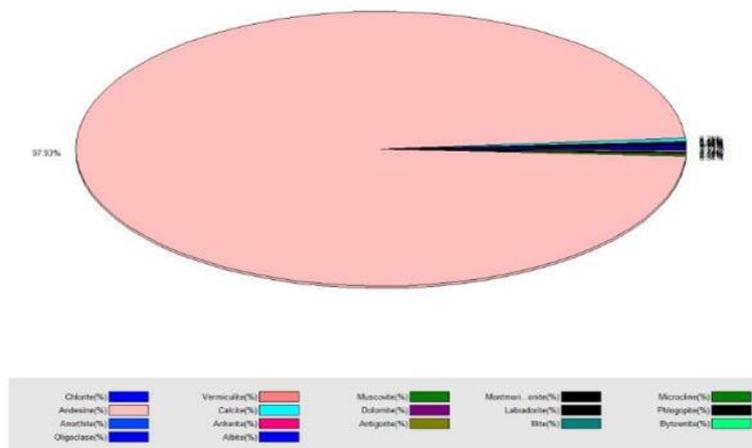
General information

Analysis date 2022/03/11
 Sample name Muestra A (Zeolita natural)
 Requester name Jessica Alaida Gomez Choque
 Operator Administrator

Qualitative analysis results

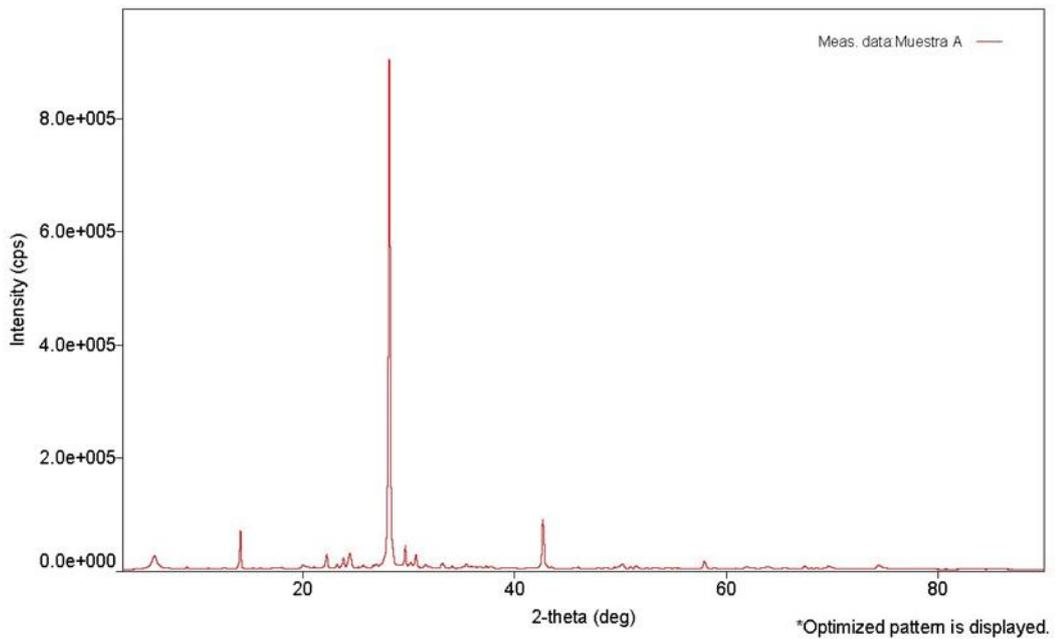
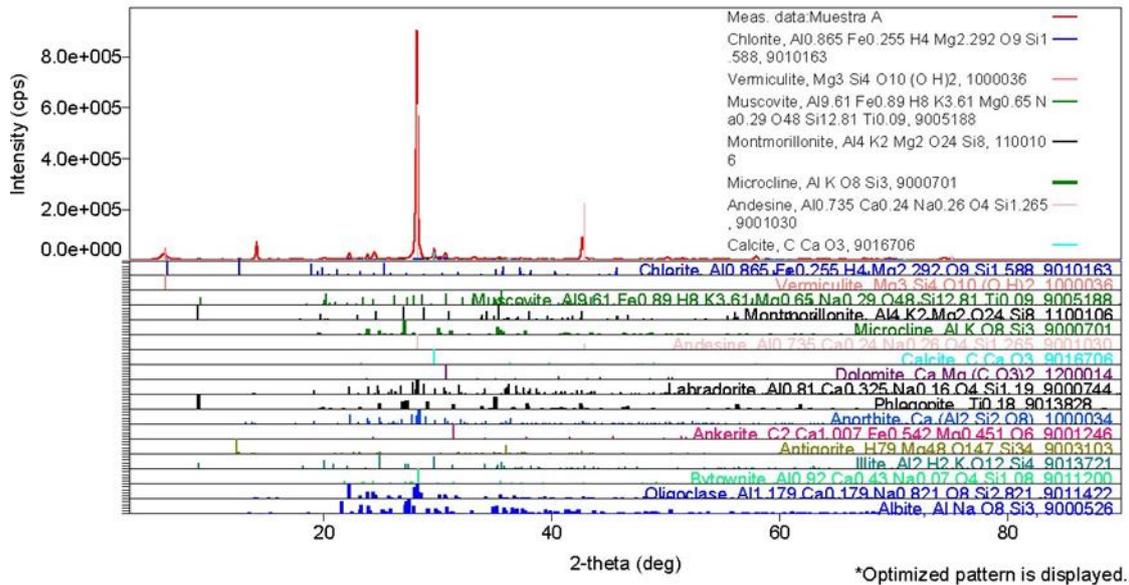
Phase name	DB card number	Content (%)
Andesine	9001030	97.93
Calcite	9016706	0.39
Oligoclase	9011422	0.35
Microcline	9000701	0.34
Chlorite	9010163	0.18
Vermiculite	1000036	0.18
Dolomite	1200014	0.12
Bytownite	9011200	0.10
Muscovite	9005188	0.08
Antigorite	9003103	0.08
Montmorillonite	1100106	0.07
Ankerite	9001246	0.06
Labradorite	9000744	0.04
Illite	9013721	0.03
Phlogopite	9013828	0.02
Anorthite	1000034	0.01
Albite	9000526	0.01

Pie Graph





Diffractogram





ANEXO 2: Informe de ensayos para la determinación de dosis óptimas de los floculantes de sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, zeolita natural, hidróxido férrico.

1. determinación de la dosis óptima con sulfato de aluminio.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00010

Fecha de emisión: 20/01/2022

Página 1 de 3

Clave generada : 42F0885D

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 011-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 13/01/2022
Fecha de ensayo : 13/01/2022

Nro de muestras : 9

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000021	M-00	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000022	M-01	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000023	M-02	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000024	M-03	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000025	M-04	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000026	M-05	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000027	M-06	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000028	M-07	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00
AG22000029	M-08	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159060	11/01/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00010

Fecha de emisión: 20/01/2022

Página 2 de 3

Clave generada : 42F0885C

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000021	M-00	12,92
AG22000022	M-01	0,0493
AG22000023	M-02	0,0398
AG22000024	M-03	0,0375
AG22000025	M-04	0,0283
AG22000026	M-05	0,0302
AG22000027	M-06	0,0262
AG22000028	M-07	0,0281
AG22000029	M-08	0,0283


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



2. Determinación de la dosis óptima con sulfato de aluminio, hidróxido férrico.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00010

Fecha de emisión: 20/01/2022

Página 1 de 3
Clave generada : 42F08850

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 011-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 13/01/2022
Fecha de ensayo : 13/01/2022

Nro de muestras : 9

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000021	M-00	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000022	M-01	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000023	M-02	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000024	M-03	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000025	M-04	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000026	M-05	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000027	M-06	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000028	M-07	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00
AG22000029	M-08	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	11/01/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra
A) ambiente
Observación
-


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00010

Fecha de emisión: 20/01/2022

Página 2 de 3

Clave generada : 42F0885L

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796	
		As	mg/L
AG22000021	M-00		13,55
AG22000022	M-01		0,0293
AG22000023	M-02		0,0198
AG22000024	M-03		0,0225
AG22000025	M-04		0,0133
AG22000026	M-05		0,0156
AG22000027	M-06		0,0089
AG22000028	M-07		0,0081
AG22000029	M-08		0,0083


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



3. Determinación de la dosis óptima con sulfato de aluminio, hidróxido férrico, zeolita natural.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00031

Fecha de emisión: 18/02/2022

Página 1 de 3

Clave generada : 7C1DA49

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 033-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 14/02/2022
Fecha de ensayo : 14/02/2022

Nro de muestras : 8

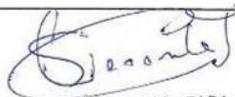
Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000069	M-01/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000070	M-02/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000071	M-03/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000072	M-04/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000073	M-05/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000074	M-06/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000075	M-07/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00
AG22000076	M-08/B	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880 , 70.0159960	10/02/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>, Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00031

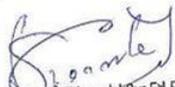
Fecha de emisión: 18/02/2022

Página 2 de 3

Clave generada : 7C1DA4

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000069	M-01/B	0,0039
AG22000070	M-02/B	0,0037
AG22000071	M-03/B	0,0035
AG22000072	M-04/B	0,0027
AG22000073	M-05/B	0,0037
AG22000074	M-06/B	0,0057
AG22000075	M-07/B	0,0043
AG22000076	M-08/B	0,0041


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Quirico C.I.P.19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



4. Determinación de la dosis óptima con policloruro de aluminio.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-22-00073

Fecha de emisión: 11/02/2022

Página 1 de 1

Clave generada : 30B5CEAC

Señores: JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección: PUNO
Atención: JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Recepción: 7/02/2022
Realización: 7/02/2022
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*981 Método de ensayo para arsénico por ICP -OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	(e) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(d) Descripción de Muestra	*981	
				As	mg/L
SS22000191	A-0/ M-0	No proporcionado por el cliente.	Solución	12,2	
SS22000192	A-1/ M-1	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,047	
SS22000193	A-2/ M-2	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,037	
SS22000194	A-3/ M-3	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,041	
SS22000195	A-4/ M-4	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,043	
SS22000196	A-5/ M-5	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,038	
SS22000197	A-6/ M-6	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,045	
SS22000198	A-7/ M-7	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,033	
SS22000199	A-8/ M-8	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,035	

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 116429

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía Web



5. Determinación de la dosis óptima con policloruro de aluminio, hidróxido férrico.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-22-00073

Fecha de emisión: 11/02/2022

Página 1 de 1

Clave generada : 30B5CEAC

Señores: JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección: PUNO
Atención: JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Recepción: 7/02/2022
Realización: 7/02/2022
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*981 Método de ensayo para arsénico por ICP -OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(*) Descripción de Muestra	*981 As mg/L
SS22000191	A-0/M-0	No proporcionado por el cliente.	Solución	12,8
SS22000192	A-1/M-1	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,025
SS22000193	A-2/M-2	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,017
SS22000194	A-3/M-3	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,020
SS22000195	A-4/M-4	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,021
SS22000196	A-5/M-5	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,018
SS22000197	A-6/M-6	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,021
SS22000198	A-7/M-7	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,020
SS22000199	A-8/M-8	No proporcionado por el cliente.	Solución	0,013

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 112426

"*<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">=Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



6. Determinación de la dosis óptima con policloruro de aluminio, hidróxido férrico, zeolita natural.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00139

Fecha de emisión: 29/04/2022

Página 1 de 3

Clave generada : 8D8384C

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 884 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 080-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 21/04/2022
Fecha de ensayo : 21/04/2022

Nro de muestras : 9

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000215	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M0/A0	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000216	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M1/A1	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000217	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M2/A2	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000218	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M3/A3	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000219	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M4/A4	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000220	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M5/A5	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000221	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M6/A6	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000222	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M7/A7	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00
AG22000223	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M8/A8	Agua de Proceso - Agua Purificada	LABORATORIO / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.8252880, 70.0159960	14/04/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
Má Sr Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*«Valor numérico»=Limite de detección del método, "«Valor Numérico»=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Irid. Rio Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00139

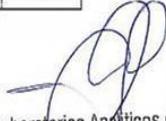
Fecha de emisión: 29/04/2022

Página 2 de 3

Clave generada : 8D8384C

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000215	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M0/A0	13,605
AG22000216	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M1/A1	0,0125
AG22000217	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M2/A2	0,0138
AG22000218	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M3/A3	0,0121
AG22000219	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M4/A4	0,0165
AG22000220	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M5/A5	0,0090
AG22000221	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M6/A6	b<0,0012
AG22000222	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M7/A7	b<0,0012
AG22000223	MUESTRA CON POLICLORURO Y ZEOLITA 2 M8/A8	b<0,0012


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Figura 1. Medición para encontrar las dosis óptimas



Figura 2. Experimentación para determinar los valores óptimos, se hizo pruebas en 8 repeticiones





ANEXO 3: Informe para la determinación de contenido de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos en el distrito de coata

1. Análisis para determinar el contenido de arsénico en aguas de pozo en el distrito de coata



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : F9C722B4

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00295

Fecha de emisión: 27/09/2022

Página 1 de 3

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 884 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 197-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 17/09/2022
Fecha de ensayo : 17/09/2022

Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000512	POZO 1 - CENTRO EDUCATIVO 70030 COATA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0.398339, 8278340	14/09/2022	11:00
AG22000513	POZO 2 - SECTOR COATAZI COATA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0398909, 8278435	14/09/2022	11:00
AG22000514	POZO 3 - COATA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0398781, 8278406	14/09/2022	11:00
AG22000515	POZO 4 - COATA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0398354, 8278374	14/09/2022	11:00
AG22000516	POZO 5 - SECTOR CHINCHES COATA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0397288, 8277786	14/09/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra
Al ambiente
Observación
-

Omar A. Juárez Soto
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Limite de detección del método, ">Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : F9C722B4

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00295

Fecha de emisión: 27/09/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000512	POZO 1 - CENTRO EDUCATIVO 70030 COATA	0,238
AG22000513	POZO 2 - SECTOR COATAZI COATA	0,242
AG22000514	POZO 3 - COATA	0,118
AG22000515	POZO 4 - COATA	0,292
AG22000516	POZO 5 - SECTOR CHINCHES COATA	0,451

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Oscar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



2. Análisis para determinar el contenido de arsénico en aguas de pozo en el distrito de coata, utilizando la dosis óptima que se obtuvo de sulfato de aluminio.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : 60CE730E

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00296

Fecha de emisión: 27/09/2022

Página 1 de 3

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 199-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 20/09/2022
Fecha de ensayo : 20/09/2022

Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dis/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000520	POZO 1/CON SULFATO DE ALUMINIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO- COATA- PUNO-PUNO	0.398339, 8278340	14/09/2022	11:00
AG22000521	POZO 2/CON SULFATO DE ALUMINIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO- COATA- PUNO-PUNO	0398909, 8278435	14/09/2022	11:00
AG22000522	POZO 3/CON SULFATO DE ALUMINIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO- COATA- PUNO-PUNO	0398781, 8278406	14/09/2022	11:00
AG22000523	POZO 4/CON SULFATO DE ALUMINIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO- COATA- PUNO-PUNO	0398354, 8278374	14/09/2022	11:00
AG22000524	POZO 5/CON SULFATO DE ALUMINIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO- COATA- PUNO-PUNO	0397288, 8277706	14/09/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>, Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Clave generada : 60CE730E

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00296

Fecha de emisión: 27/09/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000520	POZO 1/CON SULFATO DE ALUMINIO	0,019
AG22000521	POZO 2/CON SULFATO DE ALUMINIO	0,043
AG22000522	POZO 3/CON SULFATO DE ALUMINIO	0,021
AG22000523	POZO 4/CON SULFATO DE ALUMINIO	0,080
AG22000524	POZO 5/CON SULFATO DE ALUMINIO	0,071


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



3. Análisis para determinar el contenido de arsenico en aguas de pozo en el distrito de coata, utilizando las dosis óptima que se obtuvieron de sulfato de aluminio, hidroxido ferrico.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : C7C992E6

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00307

Fecha de emisión: 3/10/2022

Página 1 de 3

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 202-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 24/09/2022
Fecha de ensayo : 24/09/2022

Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000530	POZO 1 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0.398339, 8278340	21/09/2022	11:00
AG22000531	POZO 2 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0398909, 8278435	21/09/2022	11:00
AG22000532	POZO 3 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0398781, 8278406	21/09/2022	11:00
AG22000533	POZO 4 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0398354, 8278374	21/09/2022	11:00
AG22000534	POZO 5 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA PUNO PUNO	0397288, 8277766	21/09/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra
Contenedor no refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">=Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : C7C992E6

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00307

Fecha de emisión: 3/10/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000530	POZO 1 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	0,016
AG22000531	POZO 2 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	0,021
AG22000532	POZO 3 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	0,017
AG22000533	POZO 4 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	0,012
AG22000534	POZO 5 / CON SULFATO DE ALUMINIO / F2O3	0,025

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos Indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico"=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



4. Análisis para determinar el contenido de arsénico en aguas de pozo en el distrito de coata, utilizando las dosis óptima que se obtuvieron de sulfato de aluminio, hidróxido férrico, zeolita natural.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : 2071BFE1

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00309

Fecha de emisión: 3/10/2022

Página 1 de 3

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°:
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 27/09/2022
Fecha de ensayo : 27/09/2022

Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dis/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000544	POZO 1 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA - PUNO - PUNO	0398339 / 8278340	23/09/2022	11:00
AG22000545	POZO 2 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA - PUNO - PUNO	0398909 / 8278435	23/09/2022	11:00
AG22000548	POZO 3 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA - PUNO - PUNO	0398781 / 8278406	23/09/2022	11:00
AG22000547	POZO 4 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA - PUNO - PUNO	0398354 / 8278374	23/09/2022	11:00
AG22000549	POZO 5 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA - PUNO - PUNO	0397288 / 8277766	23/09/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra

Contenedor no refrigerado

Observación

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : 2071BFE1

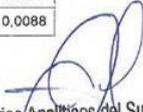
INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00309

Fecha de emisión: 3/10/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	786
		As mg/L
AG22000544	POZO 1 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	0,0019
AG22000545	POZO 2 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	0,0015
AG22000546	POZO 3 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	0,0044
AG22000547	POZO 4 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	0,0077
AG22000548	POZO 5 / CON SULFURO DE ALUMINIO / F2O3/ ZEOLITA	0,0088


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

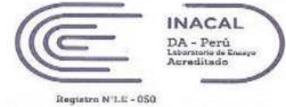


5. Análisis para determinar el contenido de arsénico en aguas de pozo en el distrito de coata, utilizando la dosis óptima que se obtuvo de policloruro de aluminio



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : 47DBF21D

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00314

Fecha de emisión: 7/10/2022

Página 1 de 3

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 212-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 28/09/2022
Fecha de ensayo : 28/09/2022

Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000552	POZO 1 / POLICLORURO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398330 - 8278340	27/09/2022	11:00
AG22000553	POZO 2 / POLICLORURO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398909 - 8278435	27/09/2022	11:00
AG22000554	POZO 3 / POLICLORURO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398781 - 8278406	27/09/2022	11:00
AG22000555	POZO 4 / POLICLORURO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398354 - 8278374	27/09/2022	11:00
AG22000556	POZO 5 / POLICLORURO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0397288 - 8277780	27/09/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

Omar A. Juárez Soto
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : 47DBF21D

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00314

Fecha de emisión: 7/10/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796 As mg/L
AG22000552	POZO 1 / POLICLORURO	0,103
AG22000553	POZO 2 / POLICLORURO	0,088
AG22000554	POZO 3 / POLICLORURO	0,038
AG22000555	POZO 4 / POLICLORURO	0,087
AG22000556	POZO 5 / POLICLORURO	0,099

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



6. Análisis para determinar el contenido de arsenico en aguas de pozo en el distrito de coata, utilizando la dosis óptima que se obtuvo de policloruro de aluminio, hidróxico férrico.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : 30DCC28B

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00315

Fecha de emisión: 7/10/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796 As mg/L
AG22000564	POZO 1 / POLICLORURO / F203	0,0959
AG22000565	POZO 2 / POLICLORURO / F203	0,0771
AG22000566	POZO 3 / POLICLORURO / F203	0,0313
AG22000567	POZO 4 / POLICLORURO / F203	0,0788
AG22000568	POZO 5 / POLICLORURO / F203	0,0933

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>, Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú, (054)443294 - (054)444582.



Validez del informe
VIA WEB

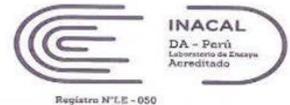


7. Análisis para determinar el contenido de arsenico en aguas de pozo en el distrito de coata, utilizando la dosis óptima que se obtuvo de policloruro de aluminio, hidróxico férrico, zeolita natural.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : A9D59331

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00316

Fecha de emisión: 7/10/2022

Página 1 de 3

Señores : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Dirección : JR. LOS NARANJOS 684 - JULIACA
Atención : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : JESSICA ALAIDA GOMEZ CHOQUE
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 219-22
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 1/10/2022
Fecha de ensayo : 1/10/2022

Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000571	POZO 1 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398339 ; 8278340	30/09/2022	11:00
AG22000572	POZO 2 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398909 ; 8278435	30/09/2022	11:00
AG22000573	POZO 3 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398781 ; 8278406	30/09/2022	11:00
AG22000574	POZO 4 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0398354 ; 8278374	30/09/2022	11:00
AG22000575	POZO 5 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	LABORATORIO COATA / PUNO / PUNO	0397288 ; 8277786	30/09/2022	11:00

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : A9D59331

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00316

Fecha de emisión: 7/10/2022

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG22000571	POZO 1 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	0,0019
AG22000572	POZO 2 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	0,0087
AG22000573	POZO 3 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	0,0090
AG22000574	POZO 4 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	0,0096
AG22000575	POZO 5 / POLICLORURO / F203 / ZEOLITA	0,0097

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(") Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Límite de detección del método, ">Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos 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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

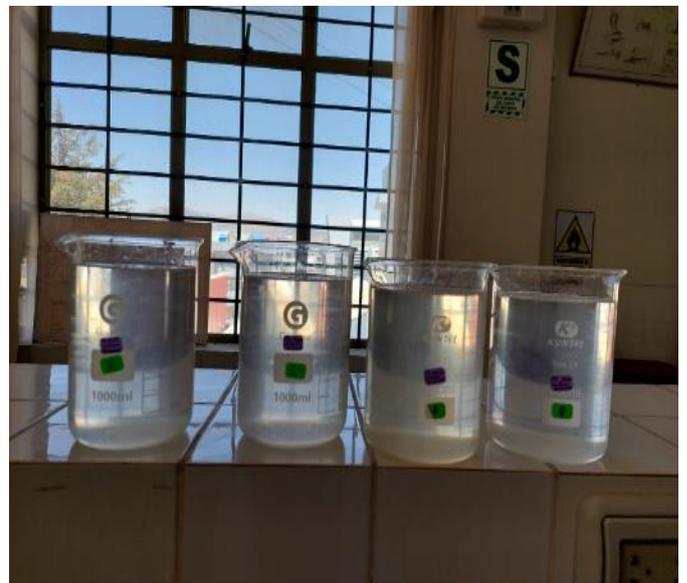
Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

ANEXO 4: Fotografías de las pruebas realizadas

Figura 1. Utilizando el equipo de test de jarras para el proceso de coagulación-floculación



ANEXO 5 :Fotografías de la toma de muestra en los pozos en el distrito de coata



Figura 2: Pozo 1 Centro educativo 70308 coata



Figura 3. Pozo 2 sector Coataza coata coata



Figura 4. Pozo 3 Sector Coataza bajo

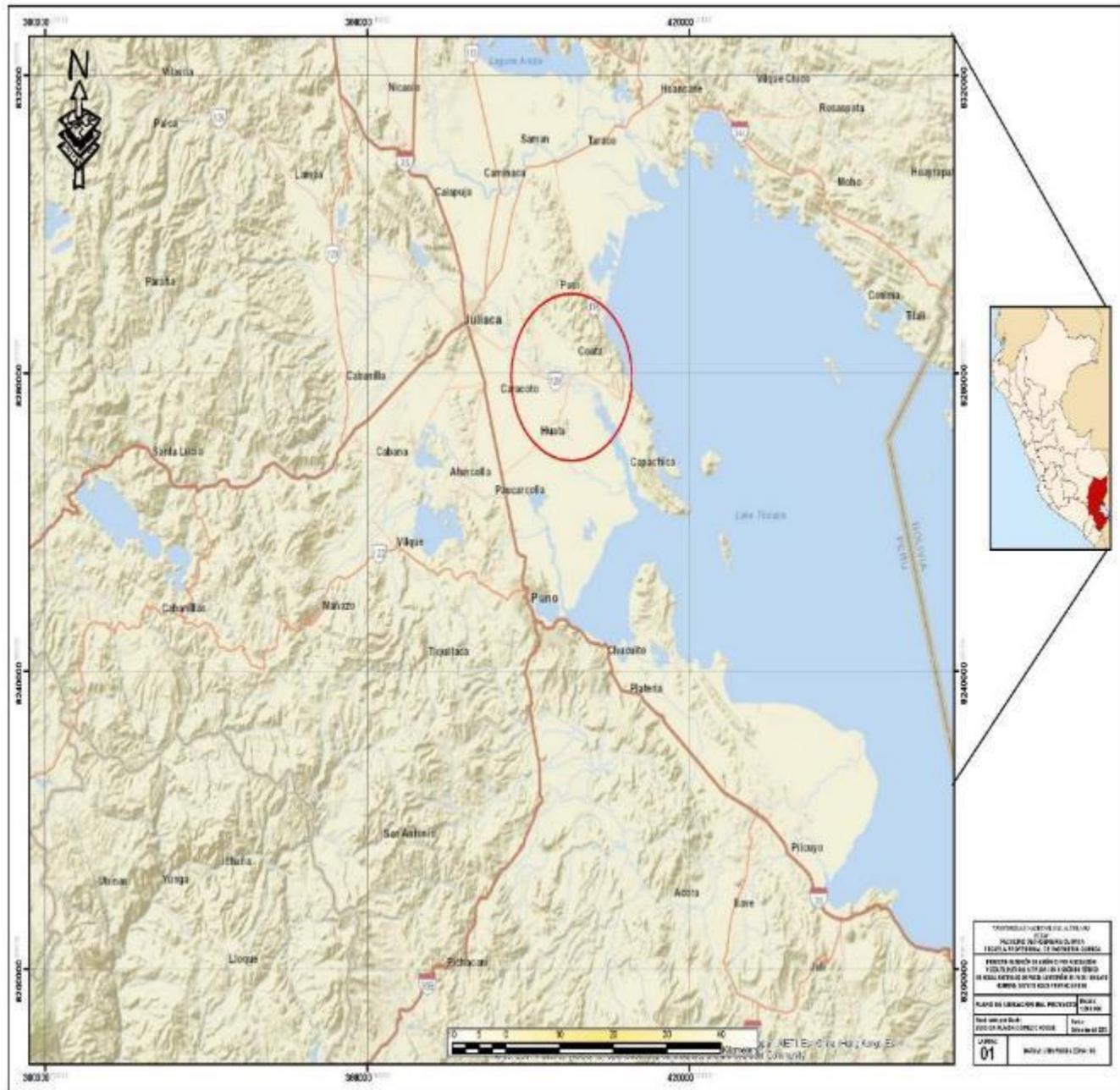


Figura 5. Pozo sector periferia coata

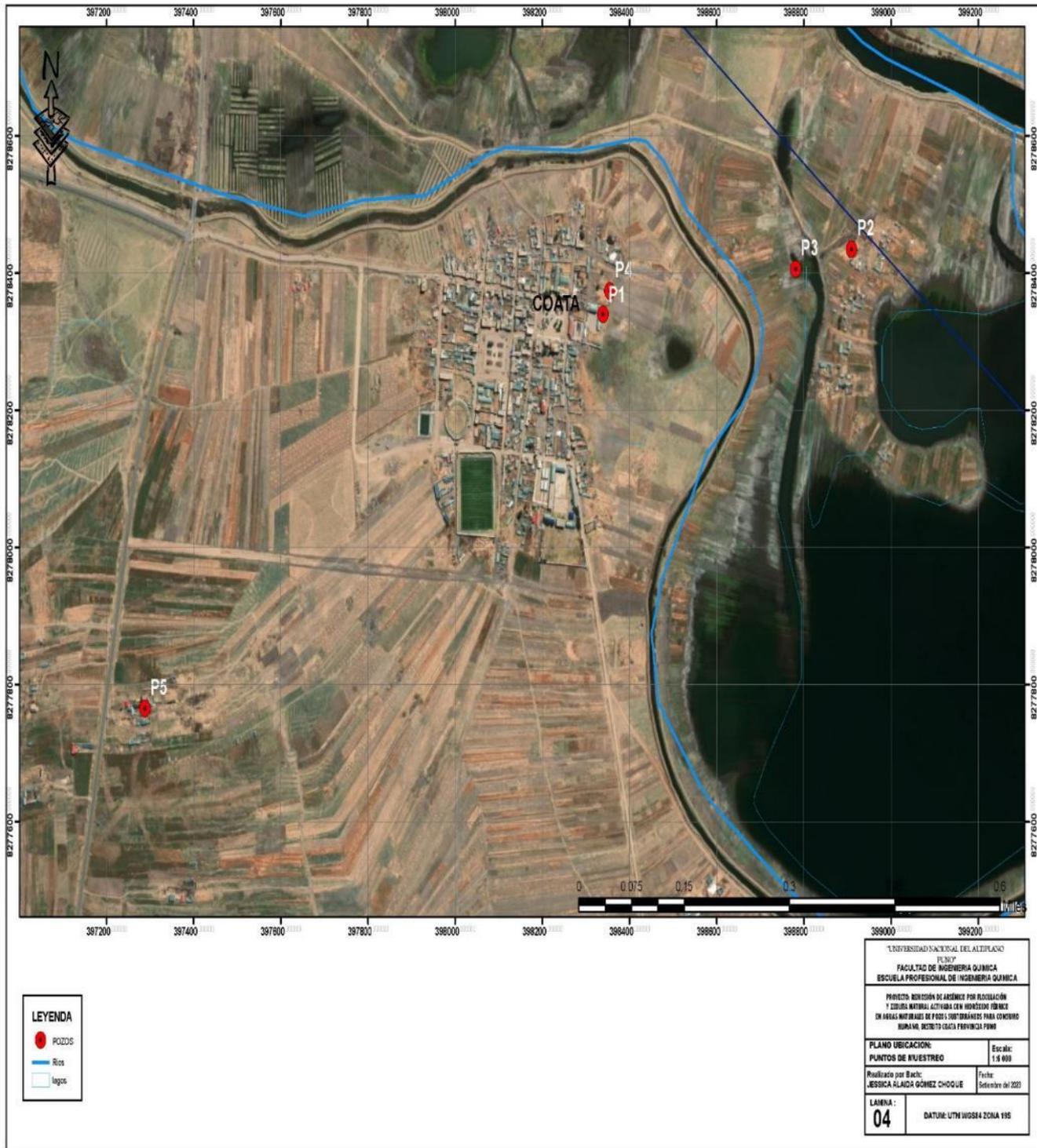


Figura 6. Sectores chinches coata

ANEXO 6 : Ubicación geográfica del distrito de coata



ANEXO 7: Ubicación punto de muestreo





ANEXO 8. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JESSICA ALAIDA GÓMEZ CHOQUE
identificado con DNI 47366637 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA QUÍMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR ZEOLITAS NATURALES ACTIVADA CON
ÓXIDO FÉRICO EN AGUAS NATURALES DE POZOS SUBTERRÁNEOS PARA
CONSUMO HUMANO, DEL DISTRITO DE COATA PROVINCIA PUNO "

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de DICIEMBRE del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 9. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JESSICA ALAIDA GÓMEZ CHOQUE
identificado con DNI 47366637 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA QUÍMICA
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR ZEOLITAS NATURALES ACTIVADA CON ÓXIDO
FÉRRICO EN AGUAS NATURALES DE POZOS SUBTERRÁNEOS PARA CONSUMO
HUMANO, DEL DISTRITO DE COATA PROVINCIA PUNO

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el término de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de DICIEMBRE del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella