

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES



“REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE LAS
AGUAS DE SAN MATEO DE HUANCHOR-
LIMA CON ZEOLITAS NATURALES”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

RABY FRANKLIN CHAUPIS CADILLO
GEORGE CHRISTIAN REYES JAVIER

ASESORA:

MsC. CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO

Callao, Setiembre, 2018

PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
N° 007-2018-JEDT-FIARN

Siendo las 11:50 horas del día jueves 27 de setiembre de 2018, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE LAS AGUAS DE SAN MATEO DE HUANCHOR – LIMA CON ZEOLITAS NATURALES" presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Raby Franklin Chaupis Cadillo y George Christian Reyes Javier .

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesora a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 052-2018-D-FIARN de fecha 19 de setiembre de 2018, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Dr. Jorge Quintanilla Alarcón	Presidente
Ing. Abner Josué Vigo Roldán	Secretario
Ing. Américo Carlos Milla Figueroa	Vocal
MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pio	Asesora

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

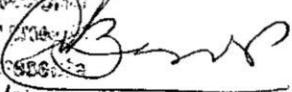
Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **MUY BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 12:50 horas del día 27 de setiembre de 2018.


Dr. Jorge Quintanilla Alarcón
Presidente


Ing. Abner Josué Vigo Roldán
Secretario

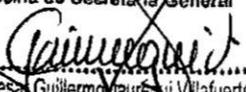

Ing. Américo Carlos Milla Figueroa
Vocal


MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pio
Asesora

Callao, ... 03 de OCT. 2018 del 20



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaría General


Lic. César Guillermo Viquez Vilafuerte
Secretario General

DEDICATORIA

A Dios

Por darnos inteligencia y retroalimentar nuestras fuerzas en el logro de nuestros objetivos profesionales, además por su protección y salud.

A nuestros padres

Por el apoyo incondicional y paciencia en todo momento, por los ejemplos de perseverancia y constancia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haber sido el soporte durante toda nuestra carrera profesional, por brindarnos una vida llena de experiencias y aprendizaje contaste.

A nuestra asesora Msc. Carmen Barreto Pio, por su confianza, amabilidad, tiempo y orientación durante el desarrollo de esta investigación.

A nuestros padres, por la excelente educación brindada y por ser un ejemplo de vida a seguir.

A la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, por brindarnos los ambientes de laboratorio para poder desarrollar nuestra investigación.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1. Identificación del problema	11
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Objetivos de la investigación	17
1.3.1. Objetivo General:	17
1.3.2. Objetivos Específicos:	17
1.4. Justificación	17
1.4.1. Legal	17
1.4.2. Social	18
1.4.3. Tecnológica.....	18
1.5. Importancia	18
1.5.1. Importancia ambiental:	18
1.5.2. Importancia Social:.....	19
1.5.3. Importancia Económica:.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes del estudio.....	20
2.2. Marco teórico	24
2.2.1. Arsénico	24
2.2.2. Especiación de Arsénico en agua	25
2.2.3. Zeolitas.....	26
2.2.4. Tipos de zeolitas	29
2.2.5. Intercambio iónico: Zeolitas - Contaminantes	30
2.2.6. Adsorción	31

2.2.7.	Isotermas de adsorción	32
2.2.8.	Adsorción en una columna de lecho fijo.....	36
2.3.	Marco legal	39
2.4.	Definición de términos básicos	41
CAPÍTULO III: VARIABLES E HIPÓTESIS		43
3.1.	Variables de la investigación	43
3.2.	Operacionalización de variables	43
3.3.	Hipótesis	43
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....		44
4.1.	Tipo de investigación	44
4.2.	Diseño de la investigación	44
4.3.	Población y muestra	46
4.3.1.	Cobertura de estudio.....	46
4.3.2.	Población:	46
4.3.3.	Muestra:	48
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	50
4.5.	Procedimiento de recolección de datos	53
4.5.1.	Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en lotes	54
4.5.2.	Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en flujo continuo.....	59
4.6.	Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	66
4.6.1.	Análisis Unidimensional.	66
4.6.2.	Análisis bidimensional.....	66
4.6.3.	Prueba de Hipótesis.....	67
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....		68

5.1.	Identificación y muestreo de los niveles de Arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor.....	68
5.2.	Identificación de la Zeolita Natural.....	69
5.3.	Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en lotes	69
5.3.1.	Análisis preliminar de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales.	69
5.3.2.	Activación de zeolitas naturales con Cloruro Férrico	70
5.3.3.	Adsorción de arsénico usando zeolitas naturales activadas.....	71
5.3.4.	Efectos de los factores que influyen el proceso de adsorción de Arsénico.....	72
5.3.5.	Adsorción de arsénico en aguas contaminadas sintéticamente.....	73
5.3.6.	Adsorción de arsénico en aguas superficiales de San Mateo de Huanchor.....	74
5.3.7.	Evaluación de la capacidad de adsorción de Arsénico de la Zeolita Natural Activada	74
5.4.	Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en flujo continuo.....	79
5.4.1.	Adsorción en columna de lecho fijo.....	79
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		84
6.1.	Contrastación de la hipótesis con los resultados	84
6.1.1.	Identificación y muestreo de los niveles de Arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor.....	84
6.1.2.	Identificación y muestreo de la Zeolita Natural.....	84

6.1.3.	Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en lotes	85
6.1.4.	Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en flujo continuo.....	91
6.2.	Contrastación estadística de la hipótesis con los resultados	93
6.2.1.	Validación y distribución estadística de los resultados.....	93
6.2.2.	Validación de la Hipótesis para aguas con arsénico respecto a su tendencia central	95
6.2.3.	Validación de la Hipótesis para aguas de San Mateo de Huanchor en flujo continuo.....	95
6.3.	Contrastación de la hipótesis con otros estudios similares...	97
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....		101
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES		102
CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		103
ANEXOS:		106

TABLAS DE CONTENIDO

- **ÍNDICE DE TABLAS:**

TABLA N° 2.1: CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS ZEOLITAS SEGÚN MEIER, W.M. 1968.....	28
TABLA N° 4.1: UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	48
TABLA N° 4.2: UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	49
TABLA N° 4.3: TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	52
TABLA N° 4.4: PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN UN FILTRO DE LECHO FIJO A FLUJO CONTINUO EN FUNCIÓN AL TIEMPO	65
TABLA N° 4.5: PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN UN FILTRO DE LECHO FIJO A FLUJO CONTINUO EN FUNCIÓN AL TIEMPO DEL AGUA SUPERFICIAL DE SAN MATEO DE HUANCHOR	66
TABLA N° 5.1: NIVELES DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR.....	68
TABLA N° 5.2: EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE FRX	69
TABLA N° 5.3: REMOCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES SIN ACTIVAR.....	70
TABLA N° 5.4: ACTIVACIÓN DE LAS ZEOLITAS NATURALES CON CLORURO FÉRRICO.....	70
TABLA N° 5.5: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES ACTIVADAS	71
TABLA N° 5.6: INFLUENCIA DE LA MASA DE ZEOLITA NATURAL ACTIVADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO	72
TABLA N° 5.7: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE LA ZEOLITA NATURAL ACTIVADA	73
TABLA N° 5.8: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SINTÉTICAS	73
TABLA N° 5.9: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR	74

TABLA N° 5.10: CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO ANTES Y DESPUÉS DE LAS PRUEBAS EN LOTES	75
TABLA N° 5.11: MASA DE ARSÉNICO ADSORBIDO POR UNIDAD DE MASA ADSORBENTE (q_e)	75
TABLA N° 5.12: VALORES EXPERIMENTALES AJUSTADOS AL MODELO LINEAL DE LANGMUIR	76
TABLA N° 5.13: CONSTANTES DEL MODELO MATEMÁTICO DE LANGMUIR.....	77
TABLA N° 5.14: VALORES EXPERIMENTALES AJUSTADOS AL MODELO LINEAL DE FREUNDLICH	77
TABLA N° 5.15: CONSTANTES DEL MODELO MATEMÁTICO DE FREUNDLICH.....	78
TABLA N° 5.16: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON EL FILTRO DE LECHO FIJO.....	82
TABLA N° 5.17: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DE SAN MATEO DE HUANCHOR, A LA ENTRADA Y SALIDA DEL TRATAMIENTO	83
TABLA N° 6.1: RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN MEDIANTE EL T-STUDENT	94
TABLA N° 6.2: DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS Y VALORES CRÍTICOS	94

• **ÍNDICE DE GRÁFICAS:**

GRÁFICO N° 1.1: CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO POR AÑO	15
GRÁFICO N° 5.1: ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR.....	76
GRÁFICO N° 5.2: ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE FREUNDLICH	78
GRÁFICO N° 5.3: COMPORTAMIENTO DE LA CURVA DE RUPTURA	81
GRÁFICO N° 6.1: ANÁLISIS PRELIMINAR DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES	85

GRÁFICO N° 6.2: ANÁLISIS PRELIMINAR DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES ACTIVADAS	86
GRÁFICO N° 6.3: INFLUENCIA DE LA MASA DE ZEOLITA NATURAL ACTIVADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO	87
GRÁFICO N° 6.4: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE LA ZEOLITA NATURAL ACTIVADA	88
GRÁFICO N° 6.5: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SINTÉTICAS	89
GRÁFICO N° 6.6: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR	89
GRÁFICO N° 6.7: ISOTERMA DE ADSORCIÓN	90
GRÁFICO N° 6.8: CURVA DE RUPTURA.....	93
GRÁFICO N° 6.9: COMPARACIÓN DE LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO	96

• **ÍNDICE DE FIGURAS:**

FIGURA N° 2.1: MOVILIDAD DE ARSÉNICO EN PRESENCIA DE HIERRO EN FUNCIÓN DE PH.....	25
FIGURA N° 2.2: ESTRUCTURA DE LAS ZEOLITAS Y LOS CENTROS CATALÍTICOS	27
FIGURA N° 2.3: ETAPAS DEL PROCESO DE ADSORCIÓN.....	31
FIGURA N° 2.4: ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	33
FIGURA N° 2.5: PROCESO DE ADSORCIÓN EN UN LECHO FIJO	37
FIGURA N° 4.1: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	45
FIGURA N° 4.2: LUGAR DE MUESTREO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR	49
FIGURA N° 4.3: PLANO DE MONITOREO – SAN MATEO DE HUANCHOR.....	49
FIGURA N° 4.4: LUGAR DE MUESTREO DE ZEOLITAS.....	50
FIGURA N° 4.5: PLANO DE MONITOREO – YURA VIEJO	50

FIGURA N° 5.1: ANÁLISIS PRELIMINAR DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES	109
FIGURA N° 5.2: ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO CON ZEOLITAS NATURALES ACTIVADAS	109
FIGURA N° 5.3: INFLUENCIA DE LA MASA DE ZEOLITA NATURAL ACTIVADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO	110
FIGURA N° 5.4: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE LA ZEOLITA NATURAL ACTIVADA	111
FIGURA N° 5.5: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN	111
FIGURA N° 5.6: OPERACIÓN DEL FILTRO DE LECHO FIJO	112

• **ANEXOS:**

ANEXO 1. INFORME DE ENSAYO CAM-MAY-053/2018	113
ANEXO 2. INFORME DE ENSAYO N° 170455	115
ANEXO 3. INFORME DE ENSAYO N° 2693-2698/2017	118
ANEXO 4. INFORME DE ENSAYO N° 1802070	119
ANEXO 5. INFORME DE ENSAYO N° 1803027	120
ANEXO 6. INFORME DE ENSAYO N° 1803039	121
ANEXO 7. INFORME DE ENSAYO N° 1803040	122
ANEXO 8. INFORME DE ENSAYO N° 1803074	123
ANEXO 9. INFORME DE ENSAYO N° 1803080	124
ANEXO 10. INFORME DE ENSAYO N° 1803079	125
ANEXO 11. INFORME DE ENSAYO N° 1805014	126
ANEXO 12. INFORME DE ENSAYO N° 1805015	127
ANEXO 13. CERTIFICADO DE CALIBRACION ESPECTROFOTOMETRO	128
ANEXO 14. CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN DE DELTA LAB S.A.C. ANTE INACAL	140

RESUMEN

La presente investigación, se basa en la problemática de las aguas de consumo humano contaminadas por arsénico que abastecen a los pobladores de San Mateo de Huanchor.

El objetivo del presente trabajo es buscar una alternativa de tratamiento para reducir el arsénico de las aguas superficiales que abastecen a la población de San Mateo de Huanchor, utilizando zeolitas naturales del anexo de Yura Viejo perteneciente al departamento de Arequipa.

La metodología consistió en activar las zeolitas naturales con cloruro férrico para mejorar su capacidad de adsorción. Para la determinación de la capacidad de adsorción se realizaron pruebas con diferentes factores como el tamaño de partícula (Malla # 20 y # 40), tiempo de contacto (5, 15, 30, 180 360 y 480 min), masa del adsorbente (2, 5 y 10 g) y concentración de la solución contaminada (0.1, 1, 5, 10, 50 y 100 mg/L), explicando su comportamiento mediante el ajuste a un modelo matemático de isoterma de Langmuir. En las pruebas en flujo continuo se empleó agua contaminada con arsénico para determinar la capacidad de adsorción mediante una curva de ruptura; finalmente se evaluó la capacidad de remoción de arsénico con las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor.

El resultado de la capacidad de adsorción obtenida en las pruebas en lotes, fue de 1.668 mg de Arsénico por gramo de Zeolita, asimismo el arsénico removido de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor a flujo continuo fue del 93.75 %, logrando una adecuada remoción por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental, así obteniendo una alternativa de bajo costo y alta eficiencia de remoción de arsénico.

ABSTRACT

The present investigation is based on the problem of human consumption waters contaminated by arsenic that supply the inhabitants of San Mateo de Huanchor.

The objective of this paper is to find an alternative treatment to reduce the arsenic of the surface waters that supply the population of San Mateo de Huanchor, using natural zeolites from the Yura Viejo annex belonging to the department of Arequipa.

The methodology consisted of activating the natural zeolites with ferric chloride to improve their adsorption capacity. For the determination of the adsorption capacity tests were carried out with different factors such as the particle size (Mesh # 20 and # 40), contact time (5, 15, 30, 180 360 and 480 min), mass of the adsorbent (2, 5 and 10 g) and concentration of the contaminated solution (0.1, 1, 5, 10, 50 and 100 mg / L), explaining their behavior by adjusting to a mathematical model of Langmuir isotherm. In the continuous flow tests, water contaminated with arsenic was used to determine the adsorption capacity by means of a rupture curve; Finally, the arsenic removal capacity with the surface waters of San Mateo de Huanchor was evaluated.

The result of the adsorption capacity obtained in the batches was 1,668 mg of arsenic per gram of Zeolite, as well as the arsenic removed from the surface waters of San Mateo de Huanchor to continuous flow was 93.75%, achieving an adequate removal below the Environmental Quality Standards, thus obtaining a low cost alternative and high arsenic removal efficiency.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

Actualmente, la minería es una de las principales actividades económicas para nuestro país. Sin embargo, muchas empresas explotan los recursos naturales sin considerar las consecuencias que pueden generar en el medio ambiente. (Basualdo Larrazabal & Yacila Frias, 2015)

Esta actividad genera contaminantes que son nocivos para el medio, contaminan los ríos y su tratamiento genera un costo adicional en la minería. (Aduvire, 2006)

En el entorno actual el arsénico está presente de forma natural en la corteza terrestre como numerosos minerales, pero es a partir de los procesos industriales como la minería que se contaminan las aguas superficiales con metales pesados.

La exposición ambiental al arsénico es un problema de salud pública debido a que afecta a un gran número de poblaciones en el mundo y por tratarse de un agente carcinogénico para humanos. (Galetovic Carabantes & A.G.G. De Fernicola, 2003)

Igualmente, alarmantes son las concentraciones de arsénico que se encuentran en la sección del río Rímac que fluye a través de Lima. (George, y otros, 2014)

Un caso muy representativo de esta problemática es el que pasa el distrito de San Mateo de Huanchor.

San Mateo de Huanchor es un distrito que se encuentra aproximadamente a 92 km de la ciudad de Lima, a una altitud de 3 290 m.s.n.m., donde la minería es una actividad productiva importante y los desechos mineros son depositados como canchas de relave principalmente en las comunidades de Mayoc y Tamboraque. (Ramos W. , 2005, como se cito en (Ramos, y otros, 2006))

De acuerdo al Inventario de Pasivos Ambientales Mineros, en el distrito de San Mateo se han identificado 21 pasivos ambientales todos ellos catalogados en condición de inactivos excepto uno catalogado en condición de abandonado; definiéndose como inactivos todos aquellos pasivos que se encontraban localizados dentro de una concesión vigente a la fecha de entrada en vigencia la Ley N° 28271 (Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera) que estaban sin operar dos años o más y como pasivos abandonados todos aquellos que se encontraban localizados fuera de una concesión vigente a la fecha de entrada en vigencia de la mencionada ley como es el caso del pasivo C.M. San Mateo. (Calla Llontop, 2010)

Por su ubicación geográfica la población desarrolla sus actividades dependientes del río Rímac. Este río recibe los relaves de las minas y entre las principales, cercanas a la zona, se encuentran el Centro Minero Millotingo, la cual extrae Plata (Ag); Pacococha, Plomo (Pb) y Plata (Ag); Centro Minero San Mateo, Plata (Ag); Casapalca, Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn); entre otros centros mineros y bocaminas que se dedican a la extracción de metales como son las siguientes: Compañía Minera San Juan S.A., Negociación Minera el Molino S.A., Compañía Minera Agregados Calcáreos S.A. y Compañía de Inversiones Mineras y Agrícolas Lurín S.A. (Basualdo Larrazabal & Yacila Frias, 2015)

En la investigación titulada ***“DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN AGUAS DEL RÍO RÍMAC Y HABAS CULTIVADAS EN EL DISTRITO DE SAN MATEO DE HUANCHOR DE LA REGIÓN DE LIMA”*** publicado por los autores ***Goannie Justo Basualdo Larrazabal y Juan Daniel Yacila Frías en el año 2015***; se evidencio la existencia de Arsénico principalmente en las aguas superficiales del rio Rímac adyacente a la Comunidad de San Mateo de Huanchor; por su ubicación geográfica, la población desarrolla sus actividades dependiente del rio Rímac el cual recibe los relaves mineros adyacentes a la zona; la muestra de agua que se tomó se realizó en 3 puntos al medio del cauce, lo más alejado de la orilla para evitar contaminación de esta misma; los resultados mostraron que las aguas del Rio Rímac del distrito de San Mateo de Huanchor de la región Lima presentan una concentración promedio de arsénico de 18.35 ppb con cifras extremas de 16.34 ppb a 21.34 ppb. (Basualdo Larrazabal & Yacila Frias, 2015)

Las direcciones regionales de salud - DIRESAs Lima y Callao y las Direcciones de Salud Ambiental – DISAs ; han realizado la vigilancia y monitoreo de los recursos hídricos como lo estipula la Ley N° 26842 - “Ley General de Salud”; indica que el Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), es la Autoridad encargada de la Protección del Ambiente para la Salud, conforme se establece en el TÍTULO II: DE LOS DEBERES, RESTRICCIONES Y RESPONSABILIDADES EN CONSIDERACIÓN A LA SALUD DE TERCEROS, en los art. 104° al 107° del CAPÍTULO VIII - DE LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE PARA LA SALUD. (SEDAPAL; DIGESA, 2005 - 2011)

En los informes de monitoreo realizados hasta los últimos años (desde el 2005 al 2011) se ha analizado diversos parámetros de control en las estaciones de monitoreo que van a lo largo del cauce principal de las

diferentes cuencas del Perú, centrándonos en la presente tesis en la cuenca del río Rímac:

Se escogieron 4 estaciones como referencia debido a la cercanía y representatividad de la localidad de San Mateo de Huanchor, se aprecian en la TABLA N° 1.1.

TABLA N° 1.1: UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DEL PLAN DE VIGILANCIA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REALIZADOS POR SEDAPAL Y DIGESA

Estaciones	Descripción	Ubicación	
		Este (m)	Norte (m)
E-06	Río Rímac, puente Tamboraque III, Carretera Central Km 90,6.	357850	8698183
E-6A	Río Rímac, Central Hidroeléctrica Huanchor (Puente Tamboraque II)	357499	8697238
E-6B	Río Rímac, 100 m aguas abajo de vertimiento Minera San Juan (antes de confluencia con el río Aruri).	357498	8697092
E-07	Río Aruri, 50 m antes de la confluencia con el río Rímac.	357435	8696968

Fuente: (SEDAPAL; DIGESA, 2005 - 2011)

Los resultados del monitoreo desde el año 2005 al 2011 para el arsénico en los 4 puntos de monitoreo escogidos, se presentan en la TABLA N° 1.2.

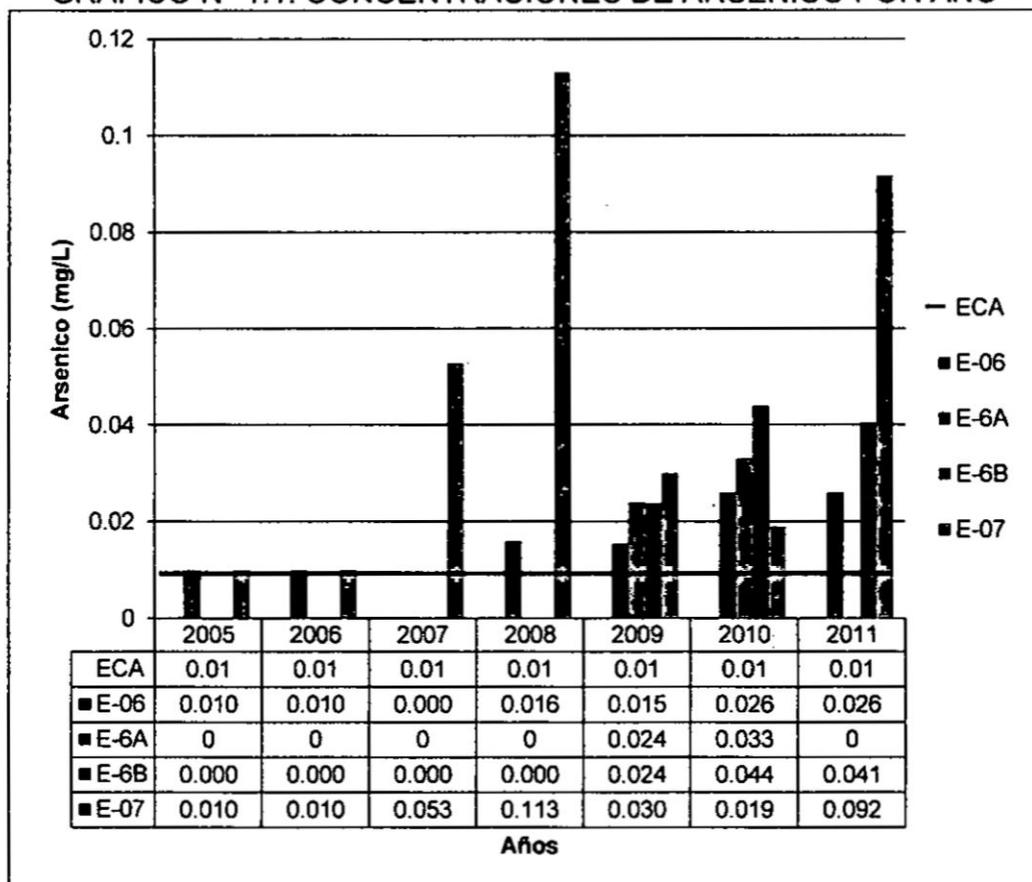
TABLA N° 1.2: CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO POR AÑO

Año	Estaciones de Monitoreo				ECA
	E-06	E-6A	E-6B	E-07	
	As (mg/L)	As (mg/L)	As (mg/L)	As (mg/L)	As (mg/L)
2005	0,010	ND	ND	0,010	0,01
2006	0,010	ND	ND	0,010	0,01
2007	ND	ND	ND	0,053	0,01
2008	0,016	ND	ND	0,113	0,01
2009	0,015	0,024	0,024	0,030	0,01
2010	0,026	0,033	0,044	0,019	0,01
2011	0,026	ND	0,041	0,092	0,01

Fuente: Recopilada en base a la información de SEDAPAL; DIGESA, 2005 - 2011

En el GRÁFICO N° 1.1 se esquematiza los resultados del monitoreo desde el año 2005 al 2011 para el arsénico en los 4 puntos de monitoreo escogidos:

GRÁFICO N° 1.1: CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO POR AÑO



Fuente: Recopilada en base a la información de SEDAPAL; DIGESA, 2005 - 2011

La presencia de estos metales generados por acción antrópica no solo genera una degradación en el ambiente; los pobladores de la zona se ven afectados por esta contaminación. (DIGESA, 2005)

Los exámenes realizados en San Mateo de Huanchor por la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa) del Ministerio de Salud del Perú encontraron que una fracción de la población expuesta a relaves mineros presentaba niveles séricos elevados de arsénico, mercurio, plomo, cadmio y zinc. (Ramos, y otros, 2006)

Los resultados del dosaje de metales pesados en sangre, realizados por DIGESA en el año 2001 y expuesto en el 2005, en una muestra de 269 personas evidencian que existe un 12% de personas con valores por encima del valor permisible dado por la OMS (0.01 mg/L)

A raíz de este problema de índole mundial, diversos investigadores han realizado distintos métodos de tratamiento de las aguas en búsqueda principalmente de la remoción de metales pesados.

Es aquí donde se viene planteando soluciones a esta problemática mediante diversos experimentos a escalas menores sujeto a representaciones de gran escala; un caso representativo es el de las zeolitas siendo un mineral adsorbente de estos contaminantes, ideal para la disminución de sus concentraciones y sobre todo a un muy bajo costo.

Se formula la siguiente pregunta según lo planteado ***¿Cuál es la capacidad de remoción de la zeolita natural en las aguas contaminadas con arsénico en San Mateo de Huanchor?*** Por ello en la presente tesis titulada "REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE LAS AGUAS DE SAN MATEO DE HUANCHOR-LIMA CON ZEOLITAS NATURALES" propone una alternativa de solución mediante experimentos a escala laboratorio.

1.2. Formulación del problema

La contaminación minera es originaria de desechos tóxicos como son los metales pesados, los cuales generan una notable degradación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca y estos a su vez dan paso a enfermedades en los pobladores de la zona como por ejemplo la hiperqueratosis causada por el arsénico siendo este metal pesado el más perjudicial para la salud y el ambiente.

Teniendo en cuenta la problemática actual de la existencia de Arsénico en el agua, el potencial de las zeolitas para la disminución principalmente del Arsénico y citando como caso puntual la problemática ambiental que tiene el distrito de San Mateo de Huanchor, planteamos la siguiente pregunta:

¿Cuál es la capacidad de remoción de la zeolita natural en las aguas contaminadas con arsénico en San Mateo de Huanchor?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General:

- Determinar la capacidad de las zeolitas naturales para remover arsénico de las aguas contaminadas.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Examinar la capacidad de remoción de las zeolitas naturales en aguas contaminadas con arsénico a nivel laboratorio en lecho fijo.
- Examinar la remoción de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor a nivel laboratorio utilizando las zeolitas naturales en flujo continuo.

1.4. Justificación

1.4.1. Legal

El presente trabajo permitirá cumplir con la normativa actual que exige el estado mediante los Estándares de Calidad Ambiental respecto al Arsénico Categoría 1: "Poblacional y Recreacional", Subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, aprobado mediante D.S. N° 004-2017-MINAM, cuyo valor le corresponde a 0.01 mg/L; también permitirá el cumplimiento del parámetro guía

propuesto por la Organización Mundial de la Salud en sus "Guías para la calidad del agua potable" cuyo valor corresponde a 0.01 mg/L.

1.4.2. Social

La presente tesis tiene como objetivo la remoción de arsénico, por ello es fundamental el incluir este tratamiento en etapas posteriores a un tratamiento convencional dentro de las empresas que vierten sus efluentes con este contaminante e inclusive se podrá tomar como base para la elaboración de un piloto en la comunidad de San Mateo de Huanchor facilitando así el tratamiento y remoción de arsénico de las aguas que llegan a sus viviendas, evitando enfermedades y solucionando el problema de arsénico de la comunidad.

1.4.3. Tecnológica

El estudio realizado en la presente tesis permitirá desarrollar tecnologías alternas para el tratamiento de estas aguas superficiales, entre ellas el tratamiento por zeolitas la cual está en equilibrio con el ambiente, no genera pasivos ambientales, de fácil operación, adaptabilidad y sobre todo de muy bajo costo.

1.5. Importancia

La importancia de esta investigación tiene como fundamento 3 ejes de desarrollo, un eje social, un eje ambiental y un eje económico.

1.5.1. Importancia ambiental:

La generación de nuevas tecnologías para tratar los efluentes contaminados con arsénico de diferentes actividades económicas, permiten que los efluentes puedan ser tratados antes de su afluencia a un cuerpo natural y mitigar el impacto ambiental.

1.5.2. Importancia Social:

El tratamiento de efluentes contaminados con arsénico utilizando zeolitas, permite el tratamiento oportuno de efluentes evitando la contaminación de cuerpos naturales y daños a la población.

1.5.3. Importancia Económica:

El aprovechamiento de la zeolita en la remoción de arsénico debido a su bajo costo y óptima eficiencia en adsorción de metales, permite generar ingresos para la población y tratamiento mediante filtros de bajo costo de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En el año **2010** se publicó una investigación titulada "**Remediation of acid mine drainage using natural Zeolite**" del autor "**Tafadzwa Motsi**", el cual tiene como objetivo la eliminación de metales pesados por la acción del drenaje ácido de mina, usando zeolita natural como un material adsorbente; los resultados evidenciaron que en los estudios de equilibrio la capacidad de zeolita natural para los metales pesados aumentó con un aumento en pH de la solución inicial. Los estudios de columna mostraron que la zeolita natural era capaz de eliminar los metales pesados de una solución que fluye de forma continua. El tiempo de penetración aumentó con el aumento de la altura de la cama y velocidad de flujo más lento.

En el tratamiento del Drenaje ácido de mina, mostró que alrededor del 71 hasta 99% de Fe y 97 a 99% de Cu fueron retirados de la solución. Los resultados del tratamiento revelaron que la zeolita natural era el más adecuado para el tratamiento de los contaminantes, y por lo tanto se deben utilizar aguas abajo de otras tecnologías de tratamiento. (Motsi, 2010)

En la investigación titulada "**Removal of arsenic from water using Fe-exchanged natural zeolite**" realizada por los autores **Zhaohui Li, Jiin-Shuh Jean, Wei-Teh Jiang, Po-Hsiang Chang, Chun-Jung Chen y Libing Liao** en el año **2011**, plantea el uso de Hidróxido de Hierro para la eliminación de Arsénico mediante el intercambio Fe-Zeolita (Clinoptilolita), los resultados de los experimentos por lotes demostraron que la zeolita posee una capacidad de adsorción de Hierro de 144 mmol/kg; esta zeolita intercambiada con Hierro (Fe-eZ) presentó también una buena adsorción de Arsénico, el As^{+3} presentó una adsorción mayor frente al As^{+5} cuyas capacidades de adsorción fueron de 100 y 50 mg/kg respectivamente.

El efecto del pH en la adsorción de Arsénico se estudió con una concentración inicial de Arsénico de 0,5 mg/L, la adsorción de As^{+5} fue casi constante a 11 mg/kg cuando el pH se encontraba entre 3 y 6 hasta que llego a un pH de 10 cuya adsorción disminuyo a 2 mg/kg; la adsorción de As^{+3} fue superior a un pH entre 6 y 9.

Finalmente, en los estudios por columna se filtró Drenaje Acido de Mina y se demostró que fue mayor su remoción frente al agua subterránea debido a que este último contenía alta cantidad de Materia Orgánica Natural y condiciones reductoras. (Zhaohui, Jiin Shuh, Wei Teh, Po Hsiang, Chun Jung, & Libing, 2011)

En la investigación titulada ***“Removal of arsenic from drinking water using modified natural zeolite”*** realizada por los autores ***Meltem Bilici Baskan y Aysegul Pala*** en el año **2011**, se plantea la remoción de arsénico mediante zeolita natural modificada con Hierro, se realizó la caracterización de la zeolita recogida de Gördes-Manisa en Anatolia occidental de Turquía, utilizando difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM), se modificó la Zeolita Natural usando 0,1 M y 0,01 M soluciones $FeCl_3$; se identificaron como Fe1-GC y Fe2-GC, respectivamente. Finalmente, para 100 mg/L de concentración de arsénico inicial, las capacidades de adsorción obtenidos fueron de 9.2 y 8.4 mg/g para Fe1-GC y Fe2-GC. Se concluyó que la zeolita modificada por hierro se puede utilizar como un adsorbente eficiente y económico para la eliminación de arseniato. El tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de la adsorción de arsénico en todos los tipos de Clinoptilolita era 60 min y que finalmente el tiempo de saturación y la cantidad de arsénico adsorbido era independiente de la concentración de la solución inicial de arsénico. (Meltem Bilici & Aysegul, 2011)

Los autores ***Rivera Huerta, María de Lourdes y Piña Soberanis Martín*** en su publicación ***“Tratamiento de agua para remoción de Arsénico***

mediante adsorción sobre Zeolita natural acondicionada” publicado en el **“Instituto Mexicano de Tecnología del agua”** publicada en el año **2002**, experimentaron con zeolitas naturales las que recibieron 2 tipos de acondicionamiento con 3 sales de hierro, nitrato férrico $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, Cloruro férrico $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ y sulfato ferroso $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. El parámetro que se estableció como indicador de la eficiencia de adsorción fue el porcentaje de arsénico inicial adsorbido en cada prueba, para esto se estudió tres factores: Potencial de hidrogeno, masa de zeolita acondicionada y tiempo de contacto del agua con el adsorbente. Los parámetros monitoreados en las pruebas fueron *pH*, Arsénico y en algunos casos Hierro. Los mejores resultados de remoción de Arsénico que se obtuvieron fueron obtenidos de hierro en presencia del medio granular, en especial usando sales de hierro III, de acuerdo a su potencial electrolítico la remoción de arsénico se puede observar que el mecanismo primordial que se lleva a cabo mediante interacciones electrostáticas, de la influencia del factor *pH*, masa de zeolita y tiempo de contacto; valores ácidos entre 5.5 y 6.5 producen mayor eficiencia. (Rivera Huerta & Piña Soberanis, 2002)

Los autores **MEJÍA ZAMUDIO, Flérida; VALENZUELA GARCÍA, Jesús L.; AGUAYO SALINAS, Salvador y MEZA FIGUEROA, Diana** en su investigación **“ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN ZEOLITA NATURAL PRETRATADA CON ÓXIDOS DE MAGNESIO”** publicada en el **2009** en la revista **Rev. Int. Contam. Ambient**, Se utilizó zeolita natural chabazita, La caracterización se llevó acabo por medio de un análisis químico convencional determinando % w (porcentaje peso) de la relación Si/Al. La preparación de la zeolita pretratada se realizó con una solución sobresaturada de *HCl* con *MgO*. Las pruebas de adsorción, las soluciones de arsénico se prepararon con arseniato de sodio a diferentes concentraciones. Los resultados del análisis de la caracterización de la

zeolita natural y pre tratada, demuestran que el % Al , %Al₂O₃ y SiO₂ son muy similares en ambos.

La adsorción de arsénico en la zeolita pre tratada tiene resultados muy favorables superiores a 90 % de arsénico adsorbido esto se debe a la incorporación de óxido de magnesio sobre la zeolita, también se observa que no tiene un efecto significativo dado que la cinética de adsorción es muy rápida. Se ha reportado que el óxido de magnesio es un adsorbente muy eficiente para remover arsénico del agua, el cual puede dispersarse en las cavidades de las zeolitas y actuar como centro básico con más fuerza que el propio de la zeolita, sin embargo, tiene un inconveniente que se pueden carbonatar fácilmente con CO₂ atmosférico, provocando la disminución de la eficiencia de adsorción. El pH no tiene un efecto en la adsorción de arsénico por la zeolita pretratada, pero al incremento de la concentración inicial al arsénico hay un porcentaje de remoción muy favorable. (Mejía Zamudio, Valenzuela García, Aguayo Salinas, & Meza Figueroa, 2009)

Tiempo después el mismo autor principal **Flerida Mejia Zamudio** esta vez de la mano con los autores **Jesus Valenzuela Garcia, Agustin Gomez Alvarez, Diana Meza Figueroa y Wendell P. Ela**, publicaron la investigación titulada **“Adsorption of arsenic on pre-treated zeolite at different pH levels”** en el año **2013**, en el cual se plantea el uso de la Zeolita Natural pre-tratada (ZP) con una solución sobresaturada a diferentes pH's (pH = 6, pH = 7, pH = 9 y pH = 11). Se experimentó con concentraciones de 0.05 a 1 mg/L de arsénico.

Los resultados mostraron que la zeolita pre tratada a pH 9 (ZP-9), tiene una mayor estabilidad en comparación con pH = 11 (ZP-11) y a la vez presenta un mayor porcentaje de remoción para concentraciones iniciales mayores (1 mg/L) en comparación de concentraciones menores (0.05 mg/L). Los porcentajes de eliminación de arsénico estaban por encima de 90%, y las concentraciones iniciales tienen un efecto significativo sobre la

adsorción cuando estas se incrementan. Los datos experimentales a un pH diferente en el pre-tratamiento de la zeolita natural se ajustan a las isothermas de adsorción de Freundlich, mostrando un mejor ajuste del modelo ZP-9. Cabe resaltar que los niveles de pH mencionados son del pre tratamiento que se realizó a la Zeolita. (Mejia Zamudio, Valenzuela Garcia, Gomez Alvarez, Meza Figueroa, & P. Ela, 2013)

2.2. Marco teórico

2.2.1. Arsénico

El arsénico es un elemento considerado entre los veinte más abundantes sobre la tierra. Está presente en cantidades trazas en rocas, suelo, agua y aire. Este elemento puede existir en cuatro estados de valencia como As^{3-} ; As^0 ; As^{3+} y As^{5+} . El arsénico se encuentra en el ambiente principalmente como arsenito y arseniato. La concentración natural de arsénico en agua de mar usualmente es menor que 2 mg/L , siendo que en aguas superficiales y subterráneas la concentración varía entre 1 y 10 mg/L . Niveles elevados han sido relatados en aguas de origen geoquímicas y asociadas a la actividad hidrotermal. El arsénico elemental no es soluble en agua. (WHO, 2001, como se cito en (Galetovic Carabantes & A.G.G. De Fernicola, 2003))

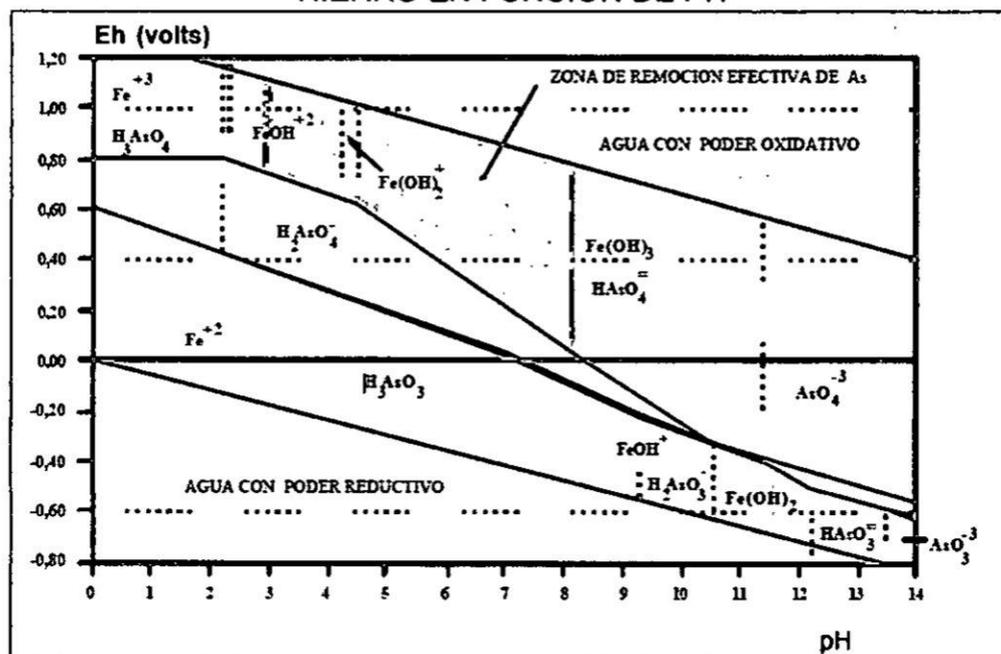
La presencia de arsénico en el ambiente es un problema de salud pública debido a que se trata de un evento de alta frecuencia que ha sido detectado en distintos países. El arsénico fue clasificado por la "International Agency for Research on Cancer" (IARC), como un agente carcinogénico para humanos con base en estudios epidemiológicos que relacionan la ingestión de arsénico en el agua de bebida y cáncer en la piel y estudios ocupacionales que relacionan la exposición al arsénico y cáncer de pulmón. (Galetovic Carabantes & A.G.G. De Fernicola, 2003)

2.2.2. Especiación de Arsénico en agua

En las aguas naturales el arsénico se presenta en varios estados de oxidación como semi-metálico As^0 , o en forma de iones como arsenato As^{+5} , arsenito As^{+3} arsina As^{-3} . La toxicidad del arsénico se incrementa considerablemente con la reducción de su estado de oxidación de $As(V)$ a $As(III)$.

La FIGURA N° 2.1 muestra la zona de remoción efectiva de arsénico en función de las condiciones del potencial de oxidación-reducción, pH-pE. En esta zona, el anión de arsénico queda adsorbido sobre los hidróxidos de hierro. Es posible controlar este proceso a través del manejo de las condiciones de óxido-reducción. (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Piña Soberanis, Avilés Flores, & Pérez Castrejón, 1997)

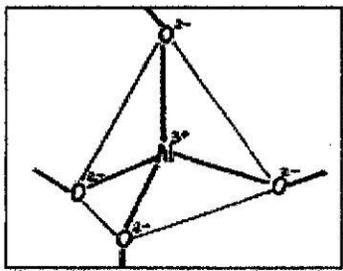
FIGURA N° 2.1: MOVILIDAD DE ARSÉNICO EN PRESENCIA DE HIERRO EN FUNCIÓN DE PH



Fuente: (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Piña Soberanis, Avilés Flores, & Pérez Castrejón, 1997)

Las zeolitas están constituidas por módulos " TO_4 " tetraédricos, unidos con sus ángulos a través de los átomos de oxígeno. En las zeolitas naturales los átomos de Aluminio (Al) y Sílice (Si) ocupan los centros de los tetraedros (átomos T). Tienen una red covalente en la que los tetraedros " AlO_4 ", están rodeados con los tetraedros " SiO_4 ". Estos tetraedros tienen ángulos comunes y están acomodados de tal manera que forman las cavidades y los canales rectos y cruzados, cuyas dimensiones se hallan en el rango de $3 \times 10^{-8} \text{ cm}$ a $10 \times 10^{-8} \text{ cm}$ (Shevtsova de Vargas, 1991). La red cristalina de las zeolitas está cargada negativamente dado que el tetraedro AlO_4 tiene una carga negativa y según Pauling a cada " O^{-2} " le corresponde una carga -0.25 . (Véase FIGURA N° 2.2) (Pauling, 1981; citado en (Shevtsova de Vargas, 1991)

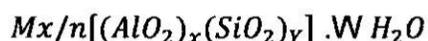
FIGURA N° 2.2: ESTRUCTURA DE LAS ZEOLITAS Y LOS CENTROS CATALÍTICOS



Fuente: (Shevtsova de Vargas, 1991)

El exceso de la carga negativa que se introduce al armazón con cada catión Al^{+3} en los aluminosilicatos naturales se compensa con los iones " $Na^+, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}$ ", atrapados en los espacios intracristalinos (cavidades, poros y canales), (Chica Toro, Londoño Benítez, & Álvarez Herrera, 2006).

Formula general de las zeolitas. (Shevtsova de Vargas, 1991)



Dónde:

- " M " es un catión de valencia " n "

- "w" es el número de moléculas de agua
- "y/x" es la relación atómica de "Si/Al" la cual es ≥ 1 y depende de la estructura.

c. Clasificación

Meier, W.M. 1968, propuso una clasificación estructural de las zeolitas apoyándose en estudio cristalográficos, la cual estaba basada en la existencia de 8 unidades secundarias de construcción, que se muestran en la TABLA N° 2.1. (Costafreda Mustelier, 2011)

TABLA N° 2.1: CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS ZEOLITAS SEGÚN MEIER, W.M. 1968

Grupo C4 (Grupo de la filipsita)			Grupo C8-T1 (Grupo de la modernita)			Grupo C6 –C6 (Grupo de la faujasita)		
Zeolita	TO ₄	Si/Al	Zeolita	TO ₄	Si/Al	Zeolita	TO ₄	Si/Al
Li-ABW	8	1-3	Bikitaita	9	4-7	Linde	24	1-3
Filipsita	16		Dischiardita	24		Rho	46	
Harmotoma	16		Epistilbita	24		Zk5	96	
Gismondita	16		Ferrierita	36		Faujasita	192	
Na-P	16		Mordenita	48		Paulingita	672	
Amicita	16		ZSM-5	96		<20		
Garronita	16		ZSM-11	96	-	Linde N	768	
Yugawaralita	16							
Merlionita	32							
Grupo C4-C4 (Grupo de la analcima)			Grupo C6 (Grupo de la chabazita)			Grupo C4-C4 (Grupo de la heulandita)		
Analcima	48	1-3	Sodalita	12	2,5- 4,0	Brewsterita	16	2,2- 5,0
Leucita	48		Cancrinita	12		Estilbita	72	
Wairakita	48		Ofrerita	18		Stellerita	72	
A	48		Losod	24		Barretita	72	
Grupo C4-T1 (Grupo de la natrolita)			Gmelinita	24				
Edingtonita	10	1-2	Liotita	36	Grupo C8 (Grupo de la laumontita)			
Gornnardita	20		Chabazita	36	laumontita	24	1-2	
Thomsonita	40		Mazzita	36				
Natrolita	40		Erionita	36				
Scolecita	40		Aghanita	48				
Mesolita	120		Levynita	54				
TO ₄ : Número de tetraedros por celda unitaria				Si/Al: Relación de silicio y aluminio en el grupo estructural				

Fuente: Meier, W.M. 1968; citado en (Costafreda Mustelier, 2011)

La tendencia a la microporosidad y las características estructurales de estos materiales, permite la transferencia de materia entre el espacio intracristalino y el medio circundante; esta transferencia está condicionada por el diámetro de los poros, por lo que sólo podrán ingresar o salir del espacio intracristalino aquellas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico, el cual varía de una zeolita a otra (Demuth, Th. *et al.* 2000, como se citó en (Costafreda Mustelier, 2011))

d. Características

Cada zeolita tiene una estructura característica y, por tanto, propiedades físicas y químicas específicas. Entre las características generales de las zeolitas están las siguientes (Costafreda Mustelier, 2011):

- Diámetro de poro: $2 \times 10^{-8} \text{ cm}$ a $12 \times 10^{-8} \text{ cm}$
- Diámetro de cavidades: $6 \times 10^{-8} \text{ cm}$ a $12 \times 10^{-8} \text{ cm}$
- Capacidad de intercambio catiónico: $0 \frac{\text{meq}}{100\text{g}}$ a $650 \frac{\text{meq}}{100\text{g}}$
- Capacidad de adsorción: $<0,35 \text{ cm}^3/\text{g}$

2.2.4. Tipos de zeolitas

a. Zeolitas naturales

Las zeolitas naturales, se originan a partir de rocas y vesículo de lava basáltica y en especies específicas de rocas sujetas a temperaturas y presiones geológicas moderadas. (Nuñez Nuñez, 2009)

b. Zeolitas acondicionadas:

La composición química de la red zeolítica puede ser modificada introduciendo iones de elementos tales como Al, B, Ga, Fe, Sn, Ge, etc. Los más utilizados debido a su estabilidad y propiedades son los que contienen Al y Si en su red. (Montoya Aspilcueta & Rivera Choque, 2015)

Activación de zeolitas, las condiciones de reacción normalmente son en régimen autógeno a temperaturas entre 100 y 160°C. Los tiempos de reacción pueden llegar hasta 15 días, lo que encarece los costos de producción industrial. (Montoya Aspilcueta & Rivera Choque, 2015) Algunos investigadores han descrito diferentes formas de preparación en las zeolitas naturales con disoluciones de sales o hidróxidos. (Chen y Degnan 1988, Gómez 2001, como se citó en (Mejía Zamudio, Valenzuela García, Aguayo Salinas, & Meza Figueroa, 2009)).

c. Zeolitas sintéticas

Las zeolitas sintéticas son sólidos obtenidos a partir de soluciones acuosas saturadas de composición apropiada, en un rango de temperaturas comprendido entre 25° y 300°C. La naturaleza de la zeolita viene determinada básicamente por factores cinéticos. Haciendo variar la composición de las soluciones y las condiciones operatorias, es posible sintetizar zeolitas de diferentes estructuras o la misma zeolita con diferentes composiciones químicas. (Montoya Aspilcueta & Rivera Choque, 2015)

2.2.5. Intercambio iónico: Zeolitas - Contaminantes

La **capacidad de intercambio iónico (C.I.I.)**. Esta capacidad está directamente relacionada con la cantidad de Aluminio (Al) presente en la red zeolítica y depende directamente de su composición química (Breck, 1974), citado en (Rodríguez Fuentes & Rodríguez Iznaga, 1997). Una alta capacidad de intercambio iónico corresponde a zeolitas con baja relación " SiO_2/Al_2O_3 " (Szostack, 1989, citado en (Rodríguez Fuentes & Rodríguez Iznaga, 1997)). La **capacidad de intercambio iónico teórica máxima**, número de equivalentes intercambiables por masa de la celda unitaria, no siempre puede ser alcanzada debido a la existencia de sitios de intercambio inaccesibles. (Rodríguez Fuentes & Rodríguez Iznaga, 1997)

Desde el punto de vista del control ambiental mediante la eliminación de contaminantes la gran mayoría de los autores coinciden en la superioridad de las zeolitas naturales atendiendo a (Rodríguez Fuentes & Rodríguez Iznaga, 1997):

- Bajo costo de extracción y acondicionamiento para el intercambio.
- Disponibilidad de grandes volúmenes.
- Excelente estabilidad a los procesos químicos y térmicos que permite su reactivación y utilización en varios ciclos.

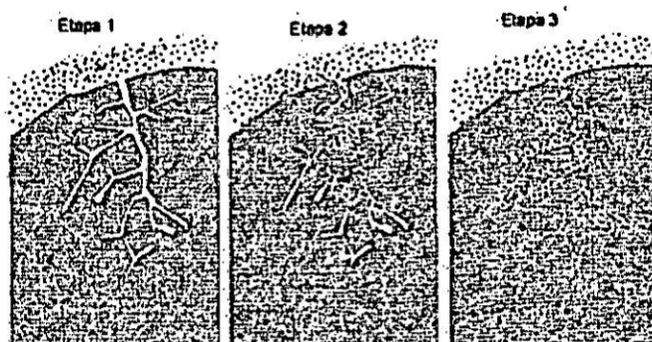
2.2.6. Adsorción

El proceso de adsorción es una operación que se fundamenta en la transferencia de masa entre una fase sólida y una fase fluida (líquida o gaseosa), y que permite separar selectivamente de una solución uno o varios compuestos de interés. La sustancia que se concentra en la superficie se define como el adsorbato, y el material sobre el cual este se acumula se define como el adsorbente. (McCabe, Smith, & Harriot, 2002)

a. Etapas

En las etapas de la adsorción podemos citar tres etapas principales (Véase la FIGURA N° 2.3):

FIGURA N° 2.3: ETAPAS DEL PROCESO DE ADSORCIÓN.



Fuente: (Sepúlveda, Bustamante, Silvestre, Suárez, & Orozco, 2008, como se citó en, (Paredes Doig, 2011))

- Etapa 1. Difusión externa: El adsorbato se aproxima a la superficie externa del sólido.
- Etapa 2. Difusión interna: Debido a que la superficie externa expuesta por las partículas tiende a ser menor al 1% del total, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido.
- Etapa 3. La adsorción del adsorbato: El adsorbato se adhiere a la superficie del adsorbente.

b. Adsorción e intercambio iónico

La adsorción y el intercambio iónico comparten tantos rasgos comunes con respecto a la aplicación en procesos por cargas y tratamientos en lecho fijo que pueden agruparse juntos como sorción para un tratamiento unificado. (Treybal, 1980)

El intercambio iónico utiliza una fase sólida que contiene grupos de enlace, que transporta una carga iónica junto con iones desplazables de carga opuesta. Las ZEOLITAS fueron los primeros intercambiadores de iones y actualmente se utilizan las zeolitas naturales y sintéticas. El intercambio iónico se expresa como una reacción reversible que comprende cantidades químicamente equivalentes. (Perry, 1994)

2.2.7. Isotermas de adsorción

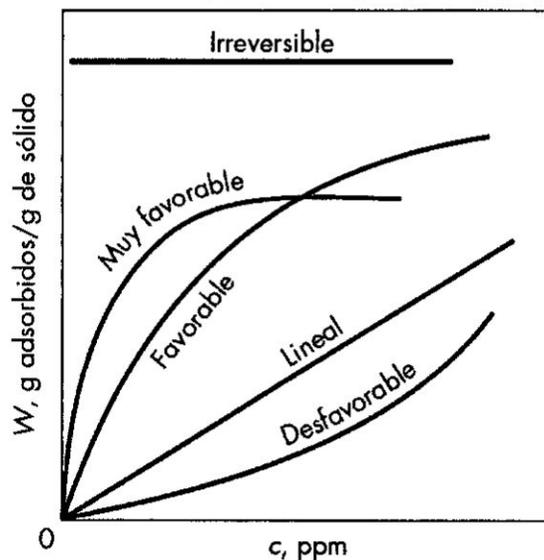
Para determinar la capacidad de adsorción de un material dado, se deben realizar estudios de equilibrio. Para esto el material se pondrá en contacto con el soluto hasta que alcance el equilibrio. El equilibrio de adsorción es un concepto dinámico alcanzado cuando la velocidad a la que las moléculas se adsorben sobre una superficie es igual a la velocidad a la que son desorbidos. (Richardson & Peacock, 1994, citado en (Motsi, 2010)).

Los datos experimentales obtenidos se ajustan normalmente a las 2 isothermas de adsorción convencional, Freundlich y Langmuir. Estos serán utilizados para predecir el rendimiento de adsorción de la zeolita natural. (Motsi, 2010)

Warren McCabe en su libro *“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”* define el concepto de Isotherma de Adsorción como la relación de equilibrio entre la concentración de la fase fluida y la concentración de las partículas de adsorbente a una temperatura determinada. Cuando esta curva se construye para sistemas sólido – líquido, la concentración del fluido se expresa habitualmente en unidades de masa, tales como mg/L (ppm) o 10^{-3} mg/L (ppb) y la concentración de adsorbato sobre el sólido viene dada como masa adsorbida por unidad de masa de adsorbente original. (McCabe, Smith, & Harriot, 2002)

En la FIGURA N° 2.4 se presentan algunas formas típicas de isothermas:

FIGURA N° 2.4: ISOTERMAS DE ADSORCIÓN



Fuente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2002)

La isoterma lineal pasa por el origen de coordenadas y la cantidad adsorbida es proporcional a la concentración en el fluido. Las isothermas

que son convexas hacia arriba se denominan favorables, debido a que puede obtenerse una carga relativamente elevada del sólido para una baja concentración en el fluido. El caso límite de una isoterma muy favorable es la adsorción irreversible, donde la cantidad adsorbida es independiente de la disminución de concentración hasta valores muy bajos. Una isoterma que es cóncava hacia arriba recibe el nombre de desfavorable debido a que se obtienen cargas de sólido relativamente bajas y a que conducen a largas zonas de transferencia de materia en el lecho. (McCabe, Smith, & Harriot, 2002)

a. Isoterma de adsorción de Langmuir

El modelo de Langmuir fue desarrollado originalmente para la adsorción de los gases en sólidos y se basa en la suposición de que la adsorción se produce en sitios localizados con ninguna interacción entre las moléculas de adsorbato. (Langmuir, 1918; como se citó en (Motsi, 2010)). Para la adsorción de un soluto (adsorbato) a partir de la isoterma de Langmuir solución se puede escribir como sigue:

$$q_e = \frac{q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad \dots (1)$$

Dónde:

- " q_e " es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente en equilibrio (mg/g)
- " q_0 " es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente correspondiente a completar la cobertura de sitios disponibles (mg/g)
- " C_e " es la concentración residual de fase líquida en equilibrio (mg/L)
- " b " es el coeficiente de adsorción de Langmuir, esta constante se relaciona con la afinidad entre el adsorbente y el soluto (L/mg)

(Motsi, 2010).

b. Isotherma de adsorción de Freundlich

Describe el equilibrio sobre una superficie heterogénea que es más frecuente en los sistemas naturales. La isoterma de Freundlich se expresa matemáticamente como: (Motsi, 2010)

$$q_e = kC_e^{1/n} \quad \dots (2)$$

Dónde:

- “ q_e ” es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente en equilibrio (mg/g)
- “ C_e ” es la concentración residual de fase líquida en equilibrio (mg/L)
- “ k ” y “ n ” son constantes de Freundlich empíricos que son dependientes de las condiciones experimentales. “ k ” es un indicador de la capacidad de adsorción, mientras que n está relacionado con la intensidad o fuerza de unión de adsorción.

➤ Linealización de los modelos de Langmuir y Freundlich

La investigación titulada “*Remediation of acid mine drainage using natural Zeolite*” del autor “*Tafadzwa Motsi*” publicada en el año 2010, muestra la linealización de los modelos convencionales de isotermas de adsorción:

Ecuación del modelo lineal de Langmuir:

$$q_e = \frac{q_0 b C_e}{1 + b C_e} \longrightarrow \underbrace{\frac{C_e}{q_e}}_y = \underbrace{\frac{1}{q_0 b}}_b + \underbrace{\frac{1}{q_0}}_m \underbrace{C_e}_x \quad \dots (3)$$

Ecuación del modelo lineal de Freundlich

$$q_e = k C_e^{1/n} \longrightarrow \underbrace{\log q_e}_y = \underbrace{\log k}_b + \underbrace{\frac{1}{n}}_m \underbrace{\log C_e}_x \quad \dots (4)$$

Se define para ambos modelos:

$$q_e = \frac{X}{m} \dots (5)$$

Dónde:

- q_e : Masa de arsénico adsorbido por unidad de masa adsorbente en el equilibrio.
- m : Masa del adsorbente (g)
- X : Concentración inicial – Concentración final (mg)

2.2.8. Adsorción en una columna de lecho fijo

Los estudios de adsorción en disolución mediante experimentos por lotes (discontinuos) proporcionan una medida de la eficacia de la adsorción en la eliminación de sustancias específicas, así como la capacidad máxima de adsorción. Tales experimentos consisten en colocar una cantidad determinada de adsorbente en contacto con la disolución que contiene la sustancia que se va a remover, manteniéndola en suspensión mediante agitación el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio. Los estudios de adsorción en una columna de lecho fijo, a diferencia de los experimentos por lotes, no funcionan bajo condiciones de equilibrio debido a que continuamente ingresa a la columna una disolución de alimentación, donde se establece un proceso de transferencia de masa permanente entre una fase móvil que contiene el adsorbible (sustancia a remover) y la fase sólida del lecho adsorbente. (Valencia & Castellar, 2013, citado en (Castellar Ortega, Cardozo Arrieta, Suarez Guerrero, & Vega Taboada, 2013)).

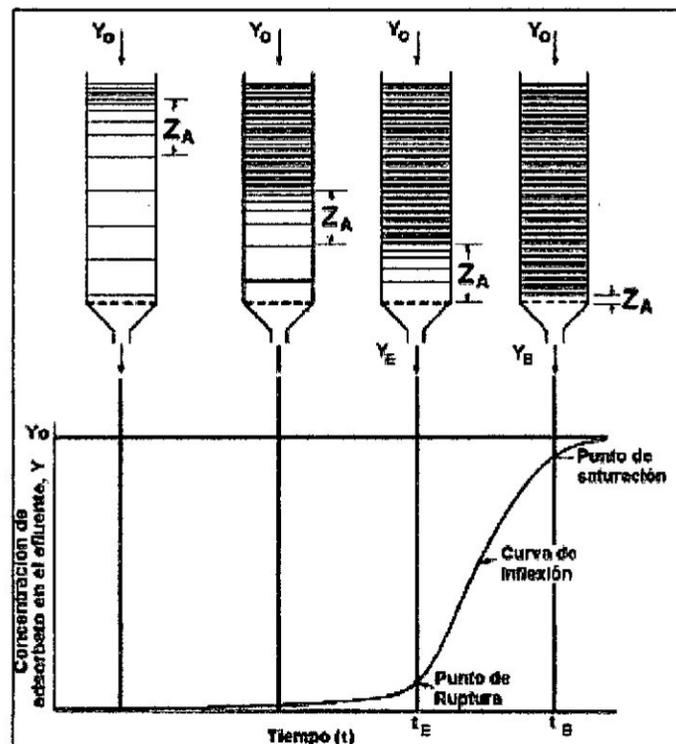
Según *Treybal* en su libro **“Operaciones de Transferencia de Masa”** sustenta que para las operaciones de adsorción e intercambio iónico, las columnas de lecho fijo son el sistema más usado. En estos equipos se hace pasar la solución contaminada con adsorbato a velocidad constante a través del lecho (Adsorbente), donde se han identificado las siguientes ventajas de este sistema:

- Trabajan eficientemente a concentraciones bajas de contaminante
- Son flexibles frente a variaciones de caudal y concentración
- Facilidad de automatización, posibilidad de regenerar el adsorbente y recuperar sustancias retenidas cuando ello resulte de interés económico. (Treybal, 1980)

a. Descripción del proceso de adsorción en un lecho fijo

Las operaciones de adsorción en columnas de lecho fijo consisten en hacer fluir una solución contaminada con adsorbato a velocidad constante a través del lecho, tal como se esquematiza en la FIGURA N° 2.5. En estas operaciones a medida que avanza el tiempo el adsorbato se va acumulando en el lecho de adsorción. (Treybal, 1980)

FIGURA N° 2.5: PROCESO DE ADSORCIÓN EN UN LECHO FIJO



Fuente: (Treybal, 1980)

Como se esquematiza en la FIGURA N° 2.4, al pasar el fluido con el adsorbato por la columna en forma descendente, la capa superior de

adsorbente se satura y el fenómeno de transferencia de masa de adsorbato desde la solución hacia el adsorbente se hace de una manera efectiva en una zona relativamente estrecha llamada *zona de adsorción*, " Z_A ", en la cual los cambios de concentración se hacen significativos. A medida que transcurre el tiempo la *zona de adsorción* se desplaza a través del lecho a velocidad constante generalmente más lenta que la velocidad del fluido. Después de un tiempo la parte inferior de la *zona de adsorción* alcanza el fondo del lecho y la concentración de adsorbato en el efluente comienza a cambiar abruptamente. En este momento, se dice que se ha alcanzado el *punto de ruptura*, a partir de este punto la concentración de adsorbato en el efluente de salida aumenta con rapidez, al pasar la *zona de adsorción* a través del fondo del lecho, hasta alcanzar aproximadamente el mismo valor de la entrada del lecho. Si se correlaciona la concentración del efluente en función del tiempo de operación se obtiene una curva denominada *curva de ruptura*. (Treybal, 1980)

El comportamiento de los adsorbedores de lecho fijo se basa en la construcción de las *curvas de ruptura*, ya que a partir de éstas es posible obtener una descripción de la velocidad de transferencia de masa del adsorbato al adsorbente; estas curvas son función de las dimensiones del adsorbedor, de las condiciones de operación, y de las concentraciones de equilibrio del adsorbato en las dos fases. (McCabe, Smith, & Harriot, 2002); (Treybal, 1980).

Si la altura de la *zona de adsorción* es pequeña con relación a la longitud del lecho, la pendiente de la *curva de ruptura* entre los puntos " t_e " y " t_b " será pronunciada y se utilizará la mayor parte de la capacidad del sólido hasta el *punto de ruptura*. Cuando la zona de adsorción es similar a la longitud del lecho, la curva será extendida y se utiliza menos de la mitad de capacidad del lecho. (McCabe, Smith, & Harriot, 2002).

2.3. Marco legal

- a. **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias;** Publicado el 07 de junio del 2017; en el Anexo 1, se señala en la categoría 1. Poblacional y Recreacional", Subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, la concentración de arsénico es 0.01 mg/L.

- b. **Ley de recursos hídricos - Ley N° 29338, Publicada el 31 de Marzo del 2009. En el Artículo 76°.-** Vigilancia y fiscalización del agua. La Autoridad Nacional en coordinación con el Consejo de Cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua). También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta.

- c. **Ley general del ambiente - Ley N° 28611;** Publicada el 15 de Octubre del 2005. Artículo 120.- De la protección de la calidad de las aguas en el inciso, 120.1, señala que: El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. En el Artículo 84.- Fomento de la investigación ambiental científica y tecnológica.-Corresponde a los poderes del Estado y a las universidades, públicas y privadas, en cumplimiento de su obligación constitucional: En el inciso 1. Promover y fomentar la investigación y el desarrollo científico y

tecnológico en materia ambiental Y en el inciso 3. Fomentar la generación de tecnologías ambientales.

- d. Ley N° 28271 Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera;** Publicado el 2 de Julio del 2004. En el Artículo 6°. Presentación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales; señala que: Los responsables de los pasivos ambientales realizarán los estudios, acciones y obras correspondientes para controlar, mitigar y eliminar, en lo posible, los riesgos y efectos contaminantes y dañinos a la población y al ecosistema en general, sobre la base del contrato de remediación de pasivos ambientales. Estos estudios tendrán como referencia los Límites Máximos Permisibles o Estándares de Calidad establecidos por las autoridades ambientales competentes.
- e. Decreto Supremo N° 059-2005-EM,** Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera, pub. 09/12/2005, modificado por Decreto Supremo N° 003-2009-EM; en el Artículo 13. Señala que: Promoción de la participación ciudadana en la remediación de los pasivos ambientales mineros; Los responsables de la remediación ambiental de las áreas con pasivos ambientales mineros promoverán la participación de la población del área de influencia de dichos pasivos, en las labores de remediación ambiental, y de seguimiento y control, a través de convenios con las comunidades y/o con las autoridades y dirigentes representativos de la población, según sea el caso. El MEM reconoce estas actividades como una modalidad de participación ciudadana.

2.4. Definición de términos básicos

- **Adsorbente y Adsorbato:** La sustancia que se concentra en la superficie se denomina adsorbato y la que es capaz de concentrar otra en su superficie se conoce como adsorbente por un proceso de adsorción.
- **Activación:** acondicionamiento físico o químico de un material.
- **Adsorción:** Es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua
- **Arsénico:** Es un elemento químico natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica, siendo esta última la forma en que se haya en las aguas naturales.
- **Arsenito y Arseniato:** El arsénico presenta cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo los más comunes su estado trivalente Arsénico (III) (arsenitos) y pentavalente Arsénico (V) (arseniatos). Fórmula química del Arseniato H_3AsO_4 y Arsenito H_3AsO_3
- **Agua sintética:** Agua preparada en laboratorio a base de agua desionizada y arseniato de sodio a una concentración requerida de Arsénico.
- **Capacidad de adsorción:** es la cuantificación de la adsorción de algún contaminante en un adsorbente, se mide en "mg" de contaminante adsorbido sobre "g" de adsorbente utilizado.
- **Intercambio iónico:** Es una operación unitaria, que tienen como función la separación, que está basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Que involucra la transferencia de uno o más iones, de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales.

- **Isotermas de adsorción:** Es la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio a una temperatura constante.
- **Tiempo de ruptura:** Es el tiempo necesario en el que la *zona de adsorción* recorre completamente el lecho.
- **Tiempo de saturación:** Es el tiempo necesario en que el volumen de solución contaminada logre saturar el lecho.
- **Zeolita:** Es un aluminosilicato cuya estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el intercambio iónico y la deshidratación reversible.

CAPÍTULO III: VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL
Independiente (X)	Zeolitas Naturales	Es un aluminosilicato hidratado cristalino (arcilla) con estructuras tridimensionales
Dependiente (Y)	Remoción de arsénico de las aguas de la localidad de San Mateo de Huanchor	Disminución de la concentración del arsénico presente en el agua de San Mateo de Huanchor.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADOR
Independiente (X ₁)	Zeolitas Naturales	X ₁ = Tamaño de Partícula	# malla (mm)
		X ₂ = Masa de Zeolita	Gramos (g)
		X ₃ = Tiempo de Contacto	Minutos (min)
Dependiente (Y)	Remoción de arsénico de las aguas de la localidad de San Mateo de Huanchor.	Y ₁ = Concentración de arsénico	miligramo de Arsénico por Litro de agua (mg/L)

3.3. Hipótesis

“Las zeolitas naturales remueven el arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor provenientes del Río Rímac.”

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

De acuerdo al propósito de la investigación, naturaleza de los problemas y objetivos formulados, el presente estudio reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una Investigación **Analítico - Correlacional**; que permite medir el grado de relación que existe entre la variable independiente sobre la dependiente.

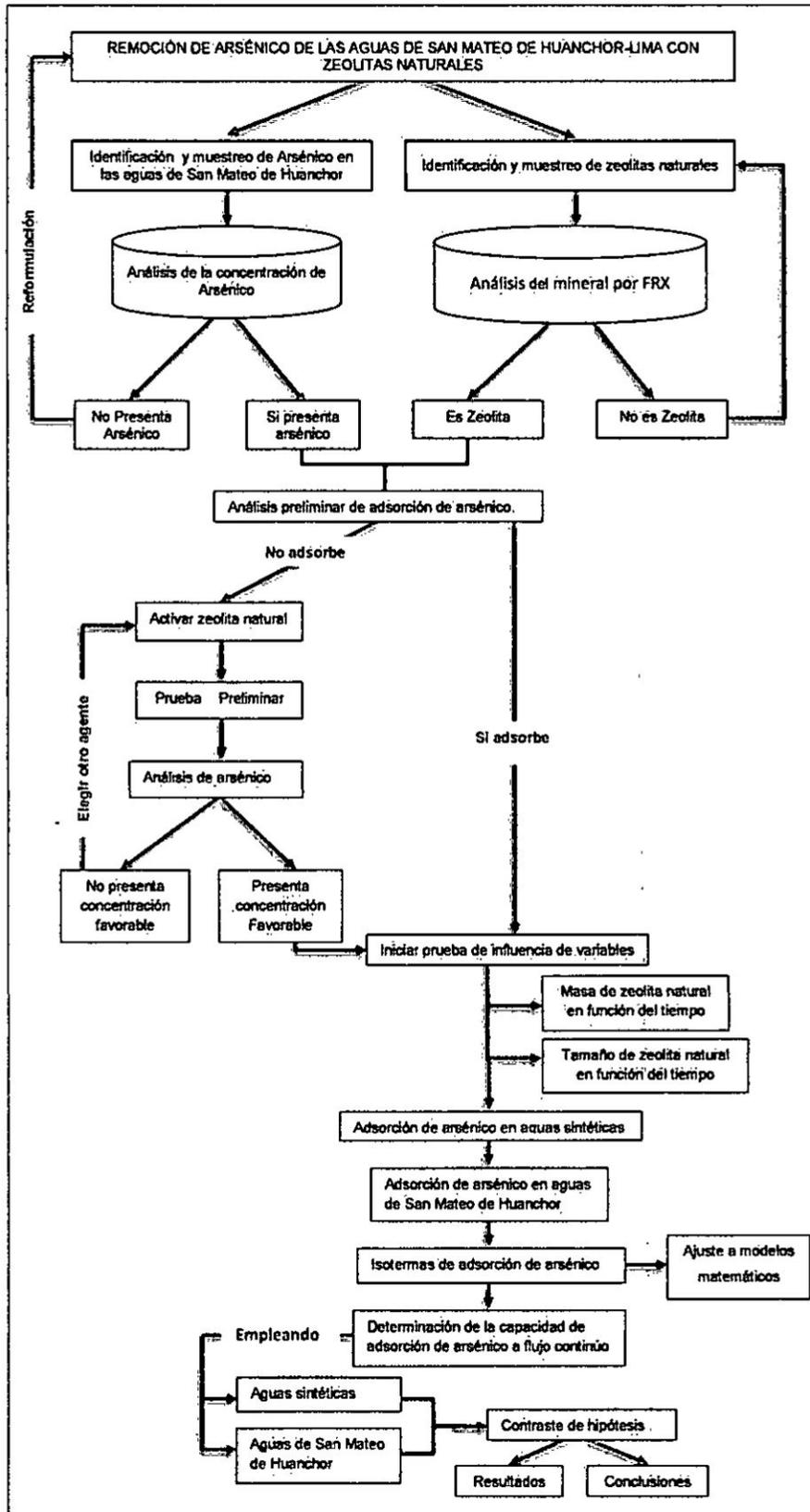
Durante el proceso de investigación para demostrar y validar la hipótesis se aplicaron métodos cualitativos y cuantitativos.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de carácter experimental por lo tanto la recolección y manejo de datos se desarrolla mediante un diseño de control que consta de una pre prueba y post prueba, que permite administrar simultáneamente la pre prueba, realizar un tratamiento a un grupo y a otro grupo no, finalmente se administra la post prueba.

Se consideraron aspectos relevantes como la identificación de arsénico en el área de interés, la búsqueda del mineral no metálico (Zeolita), experimentos en lotes y columnas, las que demuestran la capacidad de remoción de Arsénico y su aplicación en aguas superficiales de San Mateo de Huanchor, en este contexto se muestra el diseño de la investigación esquematizado en la FIGURA N° 4.1.

FIGURA N° 4.1: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Cobertura de estudio

La cobertura de estudio corresponde a la cuenca total del río Rímac que tiene una extensión aproximada de 3,312 km², de la cual 2,237.2 km² es cuenca húmeda, donde caen precipitaciones significativas. A partir de Chosica hacia la desembocadura del río en el Océano Pacífico, incluyendo la quebrada Jicamarca se puede considerar como cuenca seca, donde sólo esporádicamente ocurren precipitaciones. Esta área tiene una extensión de 895.2 km².

La cuenca húmeda del río Rímac, desde las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes hasta Chosica tiene una extensión de 2,237.2 km² y muestra dos subcuencas principales, la del río Santa Eulalia, con 1,097.7 km² de extensión y la del río **Alto Rímac o San Mateo**, con 1,139.5 km² de extensión. Estas subcuencas tienen, a su vez, subcuencas secundarias: dos en Santa Eulalia y dos en el Alto Rímac o San Mateo.

4.3.2. Población:

La población corresponde a las aguas superficiales del río que abastece al distrito de San Mateo de Huanchor, pertenecen a la subcuenca principal del Alto Rímac, este tiene una extensión de 1,139.5 km², con una longitud de cauce de 59.8 km. Tiene dos subcuencas secundarias laterales: el río Blanco y la quebrada Parac.

La subcuenca propia del Alto Rímac tiene una extensión de 804.7 km² y una longitud de cauce de 59.8 km., con una pendiente de 6.5 por ciento que baja de los 4,850 a 966 m.s.n.m.

4.3.3. Muestra:

Para el diseño de la investigación se consideró el muestreo de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor y el muestreo de las zeolitas naturales ubicado en el distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa:

a. Muestra 1: Toma de muestra de agua del río colindante al distrito de San Mateo de Huanchor.

La ubicación del punto de muestreo se eligió en función a los Monitoreos históricos, realizados por DIGESA y SEDAPAL que demuestran la contaminación con Arsénico en dicha zona.

Asimismo se tomó en consideración la accesibilidad al punto de muestreo y el uso que se le da al agua superficial, ya que es captado por pobladores cuenca abajo para diferentes actividades entre ellas el consumo humano.

El muestreo se realizó empleando el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales, las coordenadas del Punto de muestro del río colindante a San Mateo de Huanchor, se detallan en la TABLA N° 4.1:

TABLA N° 4.1: UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Estación	Descripción	Ubicación	
		Este (m)	Norte (m)
MSH-01	A 5m aguas abajo del puente Tamboraque I.	357407.46	8697009.47

Fuente: *Elaboración propia.*

El lugar de muestreo se visualiza en la FIGURA N° 4.2:

FIGURA N° 4.2: LUGAR DE MUESTREO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR



Fuente: Elaboración propia.

El punto de monitoreo se detalla en la FIGURA N° 4.3: PLANO DE MONITOREO – SAN MATEO DE HUANCHOR mostrada en Anexos.

El análisis de metales fue realizado en el Laboratorio DELTA LAB S.A.C. el cual está acreditado ante INACAL.

b. Muestra 2: Toma de muestra de zeolitas

Se realizó el muestreo en el anexo de Yura viejo ubicado en el distrito de Yura, provincia y departamento de Arequipa, siguiendo las consideraciones dadas en la guía de muestreo de suelos – MINAM; las coordenadas se muestran en la TABLA N° 4.2:

TABLA N° 4.2: UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Estación	Descripción	Ubicación		
		Este (m)	Norte (m)	Altura (msnm)
Zeo-01	Margen derecho del río Yura	211203.72	8208152.05	2687.00

Fuente: Elaboración propia.

El lugar de muestreo se visualiza en la FIGURA N° 4.4:

FIGURA N° 4.4: LUGAR DE MUESTREO DE ZEOLITAS



Fuente: Elaboración propia.

El punto de monitoreo de las zeolitas naturales se detalla en la FIGURA N° 4.5: PLANO DE MONITOREO – YURA VIEJO mostrada en Anexos

Se realizó estudios de Fluorescencia de Rayos X al mineral muestreado con la finalidad de determinar la composición química elemental del mineral, realizado por el centro de caracterización de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La toma de muestras y conservación de efluentes del río Rímac colindante con el puente Tamboraque I, se desarrollaron siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo para la calidad de recursos hídricos, de la siguiente manera:

Determinación de Puntos de muestreo.

- **Identificación:** Para la determinación de la ubicación se utilizó el sistema de posicionamiento satelital (GPS), el mismo que se registró en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.
- **Accesibilidad:** Acceso rápido y seguro a las zonas de toma de muestra

- **Representatividad:** Se realizó una toma de muestra homogénea, para el cual se tomó un punto de muestreo según la variabilidad espacial y temporal del cuerpo de agua. Se empleó un muestreo simple puntual.

El muestreo, preservación, conservación y el traslado de la muestras al laboratorio de análisis siguieron los procedimientos y formatos establecidos según el Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2016)

La toma de muestras de zeolitas naturales en la zona de Yura Viejo en Arequipa, se desarrolló siguiendo el procedimiento de toma y conservación de muestras según las consideraciones dadas en la guía de muestreo de suelo – MIMAN, de la siguiente manera:

- El procedimiento de muestreo de zeolitas se realizara según las condiciones geológicas y de uniformidad, por tanto el tipo de muestreo será por puntos.
- El recojo de las muestras se realizó en la superficie descubierta del cuerpo mineral donde según el uso de suelo característico (Suelo extractivo) se consideró una profundidad de 10 cm.

Se tendrán en cuenta las consideraciones la guía de muestreo de suelos-MINAM, para la conservación y transferencias de muestras, ya que se trata de una muestreo superficial 0 – 10 cm. (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2013)

Las técnicas analíticas de laboratorio que se emplearon en las diferentes mediciones de las variables y/o parámetros señalados anteriormente son detalladas en la TABLA N° 4.3:

TABLA N° 4.3: TÉCNICAS ANALÍTICAS

Parámetro	Unidades	Equipo	Técnica analítica
Aguas superficiales y aguas contaminadas sintéticamente			
pH	-	Potenciómetro de membrana	APHA/4500-H+B
Arsénico	mg/L	Espectrofotómetro de adsorción atómica ICP	SMEWW-APHA-A WWA-WEF Part.3114B y C, 23rd Ed.2017.Arsenic and selenium by Hydride Generation/ Atomic absorption Spectrometry; Continuous Hydride Generation
Metales pesados	mg/L	Espectrómetro de masas (ICP-MS)	EPA method 200.7; Rev.4.4.,1994 Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma
Zeolitas Naturales			
Composición elemental presentada en óxidos	%	Espectrómetro modelo S8 Tiger marca Bruker.	Quant Express

Fuente: Elaboración propia.

Los equipos e instrumentos utilizados en laboratorio se detallan a continuación:

- Estufa; Marca: BINDER / ED 115; Rango de Temperatura: 5°C - 300°C
- Phmetro; Marca: SPER SCIENTIFIC - Bench Top Meters/ 860031, 860032 and 860033; Rango de medición: 0 - 14 pH
- Balanza analítica; Marca: OHAUS-PIONNER TM/PA214; Capacidad: 210 g de capacidad x 0,1 mg de lectura mínima.
- Teste de Jarras; Modelo convencional ; Rango de operación: 0 – 250 RPM

Los medidores y recipientes empleados en la síntesis y análisis en las operaciones de laboratorio, se detallan en siguiente listado:

- Gel Pack Tippic, preservación de muestras con punto de congelación por debajo de los 0 °C
- Papel de filtro whatman, con retención de partículas tan baja como 2,5 µm
- Embudo de vidrio, de vidrio de borosilicato
- Vaso precipitado, de vidrio de borosilicato
- Fiola, de vidrio de borosilicato
- Probeta milimetrada , de vidrio de borosilicato
- Matraz, de vidrio de borosilicato
- Luna de reloj, de vidrio de borosilicato
- Montero con Pilón, de porcelana
- Soporte de universal, de metal

4.5. Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento de recolección de datos se llevó a cabo en las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de RR.NN. de la Universidad Nacional del Callao; asimismo los análisis de concentración de arsénico fueron realizados por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

4.5.1. Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en lotes

a. Análisis preliminar de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales.

Los procedimientos que se detallan a continuación fueron sujetos a las referencias bibliográficas antes mencionadas.

Para determinar la capacidad de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales, se pesaron 10 g de zeolitas, tamizadas en malla # 20 (0.84074 mm) previamente molidas y seleccionadas.

Se preparó agua contaminada sintéticamente con arsénico a 10 mg/L, utilizando arseniato de sodio heptahidratado ($Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$) al 98% de pureza.

Se realizó el ensayo de las dos muestras en un test de jarras manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tiempo de contacto (360 min), masa de zeolita (10 g), tamaño de partícula de zeolita (Malla #20), concentración inicial de arsénico (10 mg/L), temperatura y pH inicial

Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.3.

b. Activación de zeolitas naturales con Cloruro Férrico

Las Zeolitas Naturales fueron activadas con una solución de 500 ml de Cloruro Férrico ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) al 10 %. Se pesaron 50 g de zeolitas naturales tamizadas con malla # 20 y se remojaron por un tiempo de 24 horas con la solución de cloruro férrico preparada, posteriormente fueron llevadas a la estufa y secadas a 120 °C por 1 hora.

Los datos recolectados fueron de tipo cualitativo y se muestran en la TABLA N° 5.4.

c. Análisis preliminar de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales activadas.

Se pesó 10 g de masa para cada muestra a, b y c, como se detalla a continuación:

Muestra a: Se pesaron 10 g de zeolitas activadas.

Muestra b: Se pesaron 10 g de zeolitas activadas, se lavaron las zeolitas con agua desionizada hasta el pH 3.42 y se secaron a 120 °C por 10 minutos.

Muestra c: Se pesaron 10 g de zeolitas activadas, se lavaron hasta el pH 6.40 y se secaron a 120 °C por 10 minutos.

Las muestras a, b y c, se introdujeron a 3 vasos precipitados conteniendo 250 ml de agua contaminada sintéticamente con arsénico a 10 mg/L.

Se realizó el ensayo de las tres muestras en un test de jarras manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tiempo de contacto (360 min), masa de zeolita (10 g), tamaño de partícula de zeolita (Malla #20), concentración inicial de arsénico (10 mg/L) temperatura y pH inicial

Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.5.

d. Efectos de los factores que influyen en el proceso de adsorción de Arsénico

Las pruebas se desarrollaron con aguas contaminadas sintéticamente con arsénico, así se determinó la influencia de las

variables como el tiempo de contacto, masa de zeolita y tamaño de partícula en la remoción de arsénico.

- **Efecto de la masa de zeolita natural activada en función del tiempo de contacto**

Se preparó 3 grupos de 6 vasos cada uno, los cuales contienen una masa de 2, 5 y 10 gramos de zeolitas naturales activadas de tamaño malla # 20, en cada vaso por grupo respectivamente.

Se preparó agua contaminada sintéticamente con arsénico a 10 mg/L, utilizando arseniato de sodio heptahidratado ($Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$) al 98% de pureza, se distribuyeron 250 ml de la solución para cada vaso, teniendo un total de 18 vasos (18 muestras)

Se realizó el ensayo de las dieciocho muestras en un test de jarras a tiempos diferentes de 5 min, 15 min, 30 min, 180 min, 360 min y 480 min para cada grupo, manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tamaño de partícula de zeolita (Malla #20), concentración inicial de arsénico (10 mg/L), temperatura y pH inicial. Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.6.

- **Efecto del tamaño de la partícula de la zeolita natural activada.**

Se pesaron 20 g de zeolitas naturales activadas de tamaño malla # 20 (0.84074 mm), posteriormente se distribuyeron en masas de 10 g en 2 vasos beaker, lo mismo se realizó para las zeolitas naturales activadas de tamaño de malla # 40 (0.4191 mm).

Se preparó agua contaminada sintéticamente con arsénico a 10 mg/L, utilizando arseniato de sodio heptahidratado ($Na_2HAsO_4 \cdot$

$7H_2O$) al 98% de pureza, se distribuyeron 250 ml de la solución para cada vaso, teniendo un total de 4 vasos (4 muestras).

Se realizó el ensayo de las cuatro muestras en un test de jarras manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tiempo de contacto (360 min), masa de zeolita (10 g), concentración inicial de arsénico (10 mg/L), temperatura y pH inicial

Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.7.

e. Adsorción de arsénico en aguas contaminadas sintéticamente

Teniendo en cuenta los parámetros óptimos de masa y tamaño de partícula de la zeolita natural activada y tiempo de contacto, se pesó 60 g de zeolita natural activada de tamaño malla # 40 (0.4191 mm), posteriormente se distribuyeron en 6 vasos beaker con 10 g cada una.

Se preparó agua contaminada sintéticamente con arsénico a 10 mg/L, utilizando arseniato de sodio heptahidratado ($Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$) al 98% de pureza, se distribuyeron 250 ml de la solución para cada vaso, teniendo un total de 6 vasos (6 muestras).

Se realizó el ensayo de las seis muestras en un test de jarras manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tiempo de contacto (360 min), masa de zeolita (10 g), tamaño de partícula de zeolita (Malla #40), concentración inicial de arsénico (10 mg/L), temperatura y pH inicial.

Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.8.

f. Adsorción de arsénico en aguas superficiales de San Mateo de Huanchor

Teniendo en cuenta los parámetros óptimos de masa y tamaño de partícula de la zeolita natural activada y tiempo de contacto, se pesó 60 g de zeolita natural activada de tamaño malla # 40 (0.4191 mm), posteriormente se distribuyeron en 6 vasos beaker con 10 g cada una.

Se empleó las aguas de San Mateo de Huanchor con una concentración de arsénico previamente analizada de 0.015 mg/L, se distribuyeron 250 ml de la solución para cada vaso, teniendo un total de 6 vasos (6 muestras).

Se realizó el ensayo de las seis muestras en un test de jarras manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tiempo de contacto (360 min), masa de zeolita (10 g), tamaño de partícula de zeolita (Malla #40), concentración inicial de arsénico (10 mg/L), temperatura y pH inicial.

Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.9.

g. Evaluación de la capacidad de adsorción de arsénico de la Zeolita natural activada

Para determinar la capacidad de adsorción se realizaron pruebas a diferentes concentraciones del adsorbato, los resultados obtenidos se ajustaron en modelos matemáticos convencionales: Modelos de Langmuir y Freundlich.

- **Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico a partir de las isothermas de adsorción**

Para las pruebas de isothermas de adsorción se preparó 1 L de agua contaminada sintéticamente con arsénico a diferentes concentraciones de 0.1, 1, 5, 10, 50 y 100 mg/L, utilizando arseniato de sodio heptahidratado ($Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$) al 98% de pureza, se distribuyeron en 6 vasos (6 muestras).

Se realizó el ensayo de las seis muestras en un test de jarras manteniéndose constante la agitación (180 RPM), tiempo de contacto (360 min), masa de zeolita (10 g), tamaño de partícula de zeolita (Malla #40), temperatura y pH inicial

Las muestras se filtraron conservándose con Ácido Nítrico a una concentración de 0.1 N, se refrigeraron y fueron rotuladas para su envío y análisis en laboratorio.

Los datos recolectados fueron de tipo cuantitativo y se muestran en la TABLA N° 5.10.

- **Evaluación del comportamiento de adsorción de arsénico**

Las ecuaciones de Langmuir y Freundlich se linealizaron con la finalidad de ajustar los valores obtenidos de la prueba de Evaluación de la Capacidad de Adsorción a los modelos lineales, para así obtener las constantes respectivas y el coeficiente de correlación para cada modelo.

4.5.2. Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en flujo continuo

a. Adsorción en columna de lecho fijo.

Con los datos obtenidos en las experiencias anteriores, se construyó un filtro de lecho fijo para pruebas de adsorción en dos

tipos de agua: aguas contaminadas sintéticamente con arsénico a nivel laboratorio y agua superficial de San Mateo de Huanchor, con la finalidad de determinar la remoción de arsénico permitiendo obtener una zona de transferencia de masa y una curva de ruptura.

- **Parámetros de diseño del filtro de lecho fijo**

Se utilizaron los resultados proporcionados por las pruebas en lotes y estuvo sujeto a los siguientes criterios:

- **Capacidad de adsorción experimental del adsorbente:** Se determinó a partir de las isothermas de adsorción, se empleará para identificar el comportamiento del filtro a partir de la curva de ruptura.
- **Densidad del adsorbente:** Se utilizó la densidad aparente del adsorbente, debido a que se necesita saber el espacio que este ocupara en el filtro.
- **Volumen de solución a tratar:** Se consideró un volumen inicial de 10 litros de solución preparada con arseniato de sodio
- **Concentración inicial de la solución:** se consideró una solución inicial de 10 mg/L.
- **Tamaño de partícula del adsorbente:** Se consideró el tamaño óptimo obtenido a partir de las pruebas en lotes (Malla #40).
- **Tiempo de retención hidráulica:** Se consideró un tiempo de 11 minutos el cual tiene lugar a partir de los experimentos en lotes.

- **Cálculo de la cantidad de adsorbato presente en la solución**

Se determinó la masa de arsénico presente en el volumen total de la solución a tratar:

$$M_{adsorbato} = Vol_{sol} \times C_i \dots (6)$$

$$M_{adsorbato} = 10 L \times 10 \frac{mg}{L}$$

$$M_{adsorbato} = 100 \text{ mg}$$

Dónde:

$M_{adsorbato}$: Masa del adsorbato (g)

Vol_{sol} : Volumen de solución sintética de arsénico (L)

C_i : Concentración inicial de la solución sintética de arsénico (mg/L)

- **Cálculo de la cantidad de adsorbente a usar**

La cantidad de arsénico presente en la solución a tratar demandara una cantidad determinada de Zeolita, la cual está sujeta a la capacidad de adsorción determinada posteriormente (Para la continuación de los cálculos se recoge el resultado del capítulo V).

$$M_{adsorbente} = \frac{M_{adsorbato}}{W^*} \dots (7)$$

$$M_{adsorbente} = \frac{100 \text{ mg}}{1.668 \text{ mg/g}}$$

$$M_{adsorbente} = 59.952 \text{ g}$$

Dónde:

$M_{adsorbente}$: Masa del adsorbente (g)

W^* : Capacidad de adsorción (mg Adsorbato/ g Adsorbente) = 1.668 mg/g

- **Cálculo de las dimensiones del lecho**

Se determinó el volumen del lecho fijo que abarcará la masa del adsorbente a partir de la densidad del mismo:

$$Vol_{lecho} = \frac{M_{adsorbente}}{\rho_{adsorbente}} \dots (8)$$

$$Vol_{lecho} = \frac{59.952 \text{ g}}{0.497 \text{ g/ml}}$$

$$Vol_{lecho} = 120.579 \text{ ml}$$

Dónde:

Vol_{lecho} : Volumen del lecho (ml)

$\rho_{adsorbente}$: Densidad del adsorbente (g/ml)

Para las dimensiones del filtro se utilizó la ecuación del volumen de un cilindro:

$$Vol_{lecho} = \pi \frac{D^2}{4} x h \dots (9)$$

$$120.579 \text{ ml} = \pi \frac{D^2}{4} x h$$

Dónde:

D : Diámetro del lecho (cm)

h : Altura del lecho (cm)

Se dieron potenciales valores al diámetro y altura y se seleccionó valores medios teniendo en consideración lo siguiente:

El espesor del lecho se seleccionara para proporcionar un ciclo de adsorción de 2 a 24 horas, utilizando un lecho más largo se ampliaría el ciclo de adsorción generando una mayor caída de presión y mayor inversión haciendo la operación antieconómica. (McCabe, Smith, & Harriot, 2002)

Asimismo, los lechos que presentan poca longitud no producen una separación completa del contaminante (McCabe, Smith, & Harriot, 2002), debido a que no se garantiza el completo contacto de la solución a tratar con el adsorbente.

Finalmente de la ecuación (9) se determinan las siguientes dimensiones:

$$D = \text{Diámetro del filtro (cm)} = 3 \text{ cm}$$
$$h = \text{Altura del lecho (cm)} = 17.058 \text{ cm}$$

Conociéndose la altura y diámetro del filtro de lecho fijo, se calculara los parámetros de operación del filtro:

- **Cálculo del caudal de salida**

El tiempo de retención hidráulica se consideró a partir de los experimentos en lotes siendo este de 11 minutos, tiempo obtenido a partir de la GRÁFICA N° 5.6.

El caudal de salida del filtro se empleara utilizando la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{Vol_{lecho}}{Q} \dots (10)$$

$$11 \text{ min} = \frac{120.579 \text{ ml}}{Q}$$

$$Q = 10.962 \text{ ml/min} \cong 11 \text{ ml/min}$$

Dónde:

TRH : Tiempo de retención hidráulica = 11 minutos

Q : Caudal de salida (ml/min)

- **Cálculo de la velocidad superficial**

Se determina de la siguiente ecuación:

$$u = \frac{Q}{A_t} \dots \dots \dots (11)$$

$$u = \frac{10.962 \text{ ml/min}}{7.069 \text{ cm}^2}$$

$$u = 1.551 \text{ cm}/\text{min}$$

Dónde:

u : Velocidad superficial de flujo (cm/min)

A_t : Área transversal del filtro (cm²)

- **Adsorción de Arsénico a partir de aguas sintéticas a nivel laboratorio en un filtro de lecho fijo a flujo continuo**

Se preparó 10 litros de aguas contaminadas sintéticamente con arsénico a una concentración de 10 mg/L.

Se reguló un caudal de salida de 10.962 ml/min del depósito de solución inicial hacia el filtro de zeolitas manteniendo inicialmente cerrado la salida del filtro con la finalidad de generar una solución sobrenadante por encima de la capa superficial del adsorbente dentro del filtro y así asegurar: un adecuado tiempo de mojado del filtro y un contacto uniforme entre adsorbato-adsorbente.

Una vez obtenido un sobrenadante de la solución inicial a una altura de 1 cm por encima de la altura del lecho, se realizó el filtrado de la solución tratada a un caudal de 10.962 ml/min.

El tiempo de tratamiento de los 10 litros de la solución fue:

$$\text{Tiempo de tratamiento} = \frac{Vol_{sol}}{Q} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Tiempo de tratamiento} = \frac{10L}{10.962 \text{ ml}/\text{min}}$$

$$\text{Tiempo de tratamiento} = 912.242 \text{ min} \cong 912 \text{ min}$$

Dónde:

Tiempo de tratamiento : Tiempo necesario para tratar los 10 litros de solución inicial.

Se recolecto inicialmente una muestra en blanco de 250 ml. Teniendo en cuenta la relación del volumen mínimo requerido entre el caudal de salida, se tiene un tiempo de recolección unitaria de cada muestra de 23 minutos, y se detalla en la TABLA N° 4.4.

TABLA N° 4.4: PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN UN FILTRO DE LECHO FIJO A FLUJO CONTINUO EN FUNCIÓN AL TIEMPO

Prueba N°	Código de la muestra	Tiempo final de muestreo	Característica
1	RFC-AS-00	0 min	Muestra en blanco
2	RFC-AS-01	23 min	Muestras filtradas por el filtro de zeolitas
3	RFC-AS-02	46 min	
4	RFC-AS-03	69 min	
5	RFC-AS-04	207 min	
6	RFC-AS-05	345 min	
7	RFC-AS-06	506 min	
8	RFC-AS-07	759 min	
9	RFC-AS-08	851 min	
10	RFC-AS-09	920 min	

Fuente: Elaboración propia.

- **Adsorción de Arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor-Lima en un filtro de lecho fijo a flujo continuo**

Se recolecto 10 litros de agua superficial de San Mateo de Huanchor-Lima, específicamente a 5 m aguas abajo del puente Tamboraque I.

Las aguas fueron tratadas por el filtro de zeolitas teniendo las mismas consideraciones que el agua contaminada sintéticamente.

Se recolecto en total dos muestras, inicialmente una en blanco de 250 ml y la primera muestra tratada en el minuto 23 la cual filtro un volumen de 250 ml, tal como se describe en la TABLA N° 4.5:

TABLA N° 4.5: PRUEBAS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN UN FILTRO DE LECHO FIJO A FLUJO CONTINUO EN FUNCIÓN AL TIEMPO DEL AGUA SUPERFICIAL DE SAN MATEO DE HUANCHOR

Prueba N°	Código de la muestra	Tiempo final de muestreo	Característica
1	RFC-00	0 min	Muestra en blanco
2	RFC-01	23 min	Muestras filtradas por el filtro de zeolitas

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.

Se consideró una Investigación *Análítico - Correlacional* mediante un *diseño de control que comprende una pre prueba y post prueba*.

Se realizó en análisis de los datos para ello el primer criterio estadístico es conocer naturaleza la característica observable de muestras variables (Córdova Zamora, 2009). Posteriormente determinar el estudio de la variable de forma Unidimensional o bidimensional.

4.6.1. Análisis Unidimensional.

Consiste en determinar las medidas de tendencia central y medida de dispersión. La primera consiste en ubicar el centro de los datos y estos no son suficientes para describir un conjunto de valores de alguna variable. Los promedios indican en centro, pero nada indican acerca de cómo están situados los datos respecto al centro para ello se empleará las medidas de dispersión. Se consideraron los siguientes análisis:

- Relación entre la media de las variables.
- Determinación de la varianza.

4.6.2. Análisis bidimensional

Se analiza el efecto una variable sobre otra por lo que se consideró la variable bidimensional (x,y) de tipo cualitativa y tablas de doble entrada, el método que se empleo es de tipo correlacional siendo positiva para

valores donde se presente comportamiento creciente y correlacional negativa para valores de comportamiento decreciente.

- Medida de dependencia de 2 variables.
- Diagrama de dispersión.
- Regresión lineal simple y no lineal (Coeficiente de determinación).
- Distribución de T-Student.

4.6.3. Prueba de Hipótesis

Básicamente, el proceso de la prueba de hipótesis nos conduce a tomar la decisión de rechazar o no rechazar la afirmación o conjetura acerca del valor numérico del parámetro (variable) de la población en estudio. (Córdova Zamora, 2009).

Para la demostración de la hipótesis el tipo de prueba hipótesis para cualquier parámetro depende básicamente de la hipótesis alternativa H_1 . Por lo que se considerara lo siguiente según (y.x):

- $H_1: u > X$, indica que la región de rechazo de H_0 se ubica en el lado derecho del comportamiento de los datos. Este tipo de contraste se denomina, prueba unilateral de cola a la derecha.
- $H_1: u < X$, entonces la región de rechazo de H_0 se ubica en el lado izquierdo del comportamiento de los datos. Este tipo de contraste se denomina, prueba unilateral de cola a la izquierda.
- $H_1: u \neq X$, entonces la región crítica RC de la prueba, se ubica en ambos extremos del comportamiento de los datos. Este tipo de contraste se denomina, prueba unilateral de cola a la izquierda.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

Las pruebas experimentales se realizaron desde el 26 de setiembre del 2017 al 14 de mayo 2018.

5.1. Identificación y muestreo de los niveles de Arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor

Los resultados muestran una concentración de arsénico de 0.010 mg/L, así como las concentraciones de los distintos metales existentes en las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor, tal como se detallan en la TABLA N° 5.1:

TABLA N° 5.1: NIVELES DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR

Ensayo	Límite de Detección del Método	Resultado (mg/L)	Ensayo	Límite de Detección del Método	Resultado (mg/L)
Aluminio	0,0077	< 0,0077	Magnesio	0,0107	7,660
Antimonio	0,0015	< 0,0015	Manganeso	0,0004	0,3476
Arsénico	0,001	0,010	Molibdeno	0,0018	< 0,0018
Bario	0,0004	0,0495	Níquel	0,0015	< 0,0015
Berilio	0,0002	< 0,0002	Plata	0,0014	< 0,0014
Boro	0,0012	< 0,0012	Plomo	0,0004	0,010
Cadmio	0,00005	0,0005	Potasio	0,0463	2,520
Calcio	0,0035	88,16	Selenio	0,001	< 0,001
Cerio	0,0096	< 0,0096	Silicio	0,0051	5,211
Cobalto	0,0007	< 0,0007	Sodio	0,0074	11,40
Cobre	0,0005	0,1916	Talio	0,0002	< 0,0002
Cromo	0,0023	< 0,0023	Titanio	0,0021	< 0,0021
Estaño	0,0026	< 0,0026	Uranio	0,0070	< 0,007
Estroncio	0,0002	0,9140	Vanadio	0,0005	< 0,0005
Fósforo	0,0237	< 0,0237	Mercurio Total	0,0001	< 0,0001
Hierro	0,0052	1,147	Zinc	0,0009	1,948
Litio	0,0006	< 0,0006	-	-	-

Fuente: Informe de Ensayo N° 1704055 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

5.2. Identificación de la Zeolita Natural

Los resultados del análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), muestran los porcentajes en peso de los elementos encontrados en la muestra de Zeolita natural, expresados en forma de óxidos, tal como se detallan en la TABLA N° 5.2.

TABLA N° 5.2: EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE FRX

Compuesto Químico	Formula Química	(%) en peso
Óxido de silicio	SiO ₂	73.30
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	13.70
Óxido de Sodio	Na ₂ O	4.45
Óxido de Potasio	K ₂ O	3.57
Óxido de Calcio	CaO	1.83
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	1.67
Óxido de Magnesio	MgO	0.62
Óxido de Azufre	SO ₃	0.40
Cloro	Cl	0.25
Óxido de Manganeso	MnO	0.10
Óxido de Estroncio	SrO	0.05
Óxido de Cobre	CuO	0.04
Óxido de Zinc	ZnO	0.02
Total		100.0

Fuente: Informe técnico CAM-MAY-053/2018 emitido por el Centro de Caracterización de Materiales - PUCP

5.3. Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en lotes

5.3.1. Análisis preliminar de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales.

Los resultados muestran las concentraciones de arsénico del análisis preliminar de adsorción arsénico con zeolitas naturales cuyos valores son de 6.54 y 6.91 mg/L, tal como se detallan en la TABLA N° 5.3:

TABLA N° 5.3: REMOCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES SIN ACTIVAR

Prueba N°	Código de la Muestra	Descripción	Tiempo (min.)	Resultado de análisis de Arsénico (mg/L)	Remoción (%)
1	As 00	*ZN + Sol.	360	6.54	11.0
2	As 01	*ZN + Sol.	360	6.91	6.0
3	As 02	Patrón	360	7.35	---

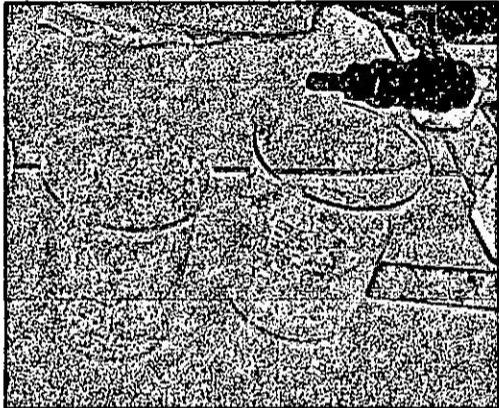
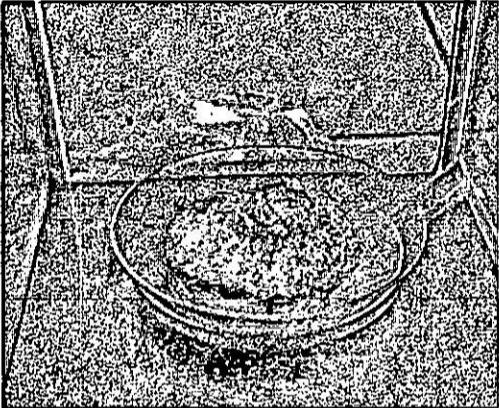
Fuente: Informe de ensayo N° 2693-2698/2017 emitido por el laboratorio H&F Laboratorio S.A.C.

*ZN+Sol: Zeolita natural + Aguas contaminadas sintéticamente con arsénico

5.3.2. Activación de zeolitas naturales con Cloruro Férrico

Los resultados de la activación de las Zeolitas naturales con Cloruro Férrico ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), se detallan en la TABLA N° 5.4, en una comparación antes y después de la activación:

TABLA N° 5.4: ACTIVACIÓN DE LAS ZEOLITAS NATURALES CON CLORURO FÉRRICO

Zeolitas naturales sin activación	Zeolitas naturales con activación con Cloruro Férrico
	
<p>Se realizó la selección de impurezas y molido de las zeolitas naturales hasta el tamaño requerido.</p>	<p>Las zeolitas naturales se remojaron con Cloruro Férrico por 24 horas, secadas a 120° C por 1 hora, lavado hasta un pH=6.40 y secado a 120° C por 10 min.</p>

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Adsorción de arsénico usando zeolitas naturales activadas

Los resultados muestran las concentraciones de arsénico del análisis preliminar de adsorción arsénico con zeolitas naturales activadas a diferentes condiciones, cuyas concentraciones presentan valores desde 0.006 hasta 5.322 mg/L, tal como se detallan en la TABLA N° 5.5:

TABLA N° 5.5: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES ACTIVADAS

Prueba N°	Código de la Muestra	Descripción	Tiempo (min)	Resultado de análisis de Arsénico (mg/L)	Remoción (%)
1	M-As-01	Patrón	00	9.877	---
2	M-As-02	*ZNA (Muestra a) + Sol	360	5.322	46.0
3	M-As-03	**ZNA(Muestra b) + Sol	360	0.041	99.6
4	M-As-04	***ZNA(Muestra c) + Sol	360	0.006	99.9

Fuente: Informe de ensayo N° 1802070 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

* ZNA (Muestra a) + Sol: Zeolita natural según las consideraciones de la muestra a + Aguas contaminadas sintéticamente con arsénico

** ZNA(Muestra b) + Sol: Zeolita natural según las consideraciones de la muestra b + Aguas contaminadas sintéticamente con arsénico

*** ZNA(Muestra c) + Sol: Zeolita natural según las consideraciones de la muestra c + Aguas contaminadas sintéticamente con arsénico

5.3.4. Efectos de los factores que influyen el proceso de adsorción de Arsénico

a. Efecto de la masa de zeolita natural activada en función del tiempo de contacto

Los resultados muestran las concentraciones de arsénico para los tratamientos con masas de 2, 5 y 10 gramos de Zeolita Natural activada en función del tiempo de contacto, tal como se detallan en la TABLA N° 5.6:

TABLA N° 5.6: INFLUENCIA DE LA MASA DE ZEOLITA NATURAL ACTIVADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO

Prueba N°	Tiempo (min)	Masa 5 gramos			Masa 2 gramos			Masa 10 gramos		
		Código de Muestra	Resultado de análisis de arsénico (mg/L)	Remoción (%)	Código de la Muestra	Resultado de análisis de arsénico (mg/L)	Remoción (%)	Código de la Muestra	Resultado de análisis de arsénico (mg/L)	Remoción (%)
1	00	M1-As-00	9.798	----	M2-As-00	10.002	---	M3-As-00	10.067	---
2	5	M1-As-01	3.882	60.4	M2-As-01	8.314	16.9	M3-As-01	3.829	62.0
3	15	M1-As-02	2.548	74.0	M2-As-02	8.144	18.6	M3-As-02	2.117	79.0
4	30	M1-As-03	1.370	86.0	M2-As-03	7.843	21.6	M3-As-03	0.896	91.1
5	180	M1-As-04	0.342	96.5	M2-As-04	6.907	30.9	M3-As-04	0.101	99.0
6	360	M1-As-05	0.153	98.4	M2-As-05	6.187	38.1	M3-As-05	0.056	99.4
7	480	M1-As-06	0.180	98.2	M2-As-06	6.201	38.0	M3-As-06	0.039	99.6

Fuente: Informe de ensayo N° 1803039, 1803027, 1803040 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

b. Efecto del tamaño de la partícula de la zeolita natural activada

Los resultados de las concentraciones de arsénico a diferentes tamaños de partícula de zeolita natural activada, se detallan en la TABLA N° 5.7:

TABLA N° 5.7: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE LA ZEOLITA NATURAL ACTIVADA

Prueba N°	Tiempo (min)	Muestra	Resultado de análisis de arsénico (mg/L)	Remoción (%)
1	00	M4-As-00	9.902	---
Malla # 20 (0.84074 mm)				
2	360	M4-As-01	0.035	99.6
3	360	M4-As-02	0.027	99.7
Malla # 40 (0.4191 mm)				
4	360	M4-As-03	0.017	99.8
5	360	M4-As-04	0.017	99.8

Fuente: Informe de ensayo N° 1803074 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

5.3.5. Adsorción de arsénico en aguas contaminadas sintéticamente

Los resultados muestran concentraciones de arsénico desde 0.034 hasta 0.060 mg/L para el tratamiento de aguas contaminadas sintéticamente con arsénico, tal como se detallan en la TABLA N° 5.8:

TABLA N° 5.8: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SINTÉTICAS

Prueba N°	Código de Muestra	Tiempo (min)	Resultado de análisis de arsénico (mg/L)	Remoción (%)
1	PL-AS-00	00	9.855	-----
2	PL-AS-01	360	0.034	99.65%
3	PL-AS-02	360	0.045	99.54%
4	PL-AS-03	360	0.044	99.55%
5	PL-AS-04	360	0.057	99.42%
6	PL-AS-05	360	0.039	99.60%
7	PL-AS-06	360	0.040	99.59%
8	PL-AS-07	360	0.056	99.43%
9	PL-AS-08	360	0.060	99.39%
10	PL-AS-09	360	0.050	99.49%
11	PL-AS-10	360	0.057	99.42%

Fuente: Informe de ensayo N° 1803077 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

5.3.6. Adsorción de arsénico en aguas superficiales de San Mateo de Huanchor

Los resultados muestran en todas las pruebas, concentraciones de arsénico de <0.001 mg/L para el tratamiento de aguas superficiales de San Mateo de Huanchor, tal como se detallan en la TABLA N° 5.9:

TABLA N° 5.9: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR

Prueba N°	Código de Muestra	Tiempo (min)	Resultado de análisis de arsénico (mg/L)	Remoción (%)
1	PL-SMH-00	00	0.015	-----
2	PL-SMH-01	360	<0.001	>93.33 %
3	PL-SMH-02	360	<0.001	>93.33 %
4	PL-SMH-03	360	<0.001	>93.33 %
5	PL-SMH-04	360	<0.001	>93.33 %
6	PL-SMH-05	360	<0.001	>93.33 %
7	PL-SMH-06	360	<0.001	>93.33 %

Fuente: Informe de ensayo N° 1803078 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

5.3.7. Evaluación de la capacidad de adsorción de Arsénico de la Zeolita Natural Activada

a. Determinación de la Capacidad de Adsorción de arsénico a partir de las isotermas de adsorción

Los resultados obtenidos muestran las concentraciones finales de arsénico del tratamiento con zeolitas naturales activadas para cada concentración inicial de 0.1, 0.446, 4.415, 9.634, 44.52 y 93.52 mg/L de arsénico, tal como se detallan en la TABLA N° 5.10.

A partir de estos resultados se determinó la relación de la diferencia de la concentración de Arsénico inicial y final (masa de arsénico adsorbido) por unidad de masa de zeolita natural activada (masa de adsorbente) y así hallar la capacidad de adsorción máxima experimental de **1.668 mg/g** la cual corresponde a la prueba N°6 que se presenta en la TABLA N° 5.11.

TABLA N° 5.10: CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO ANTES Y DESPUÉS DE LAS PRUEBAS EN LOTES

Prueba N°	Concentración a preparar en laboratorio (mg/L)	Concentraciones antes del tratamiento		Concentraciones después del tratamiento	
		Código de la Muestra	* C_i (mg/L)	Código de la Muestra	** C_e (mg/L)
1	0.1	M5-AS-01	0.1	M5-AS-07	0.001
2	1.0	M5-AS-02	0.446	M5-AS-08	0.001
3	5.0	M5-AS-03	4.415	M5-AS-09	0.007
4	10.0	M5-AS-04	9.634	M5-AS-10	0.076
5	50.0	M5-AS-05	44.52	M5-AS-11	28.36
6	100.0	M5-AS-06	93.52	M5-AS-12	76.84

Fuente: Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

* C_i : Concentración inicial

** C_e : Concentración final de equilibrio

TABLA N° 5.11: MASA DE ARSÉNICO ADSORBIDO POR UNIDAD DE MASA ADSORBENTE (q_e)

Prueba N°	$\frac{x}{m}$ (mg/g)
1	0.010
2	0.045
3	0.441
4	0.956
5	1.616
6	1.668

Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

b. Evaluación del comportamiento de adsorción de arsénico

- Ajuste matemático al modelo de Langmuir.

Con los resultados de las concentraciones de arsénico de las pruebas de determinación de la Capacidad de Adsorción de arsénico a partir de las isothermas de adsorción, se realizó el ajuste matemático al modelo lineal

de Langmuir generando valores experimentales los cuales se muestran en la TABLA N° 5.12.

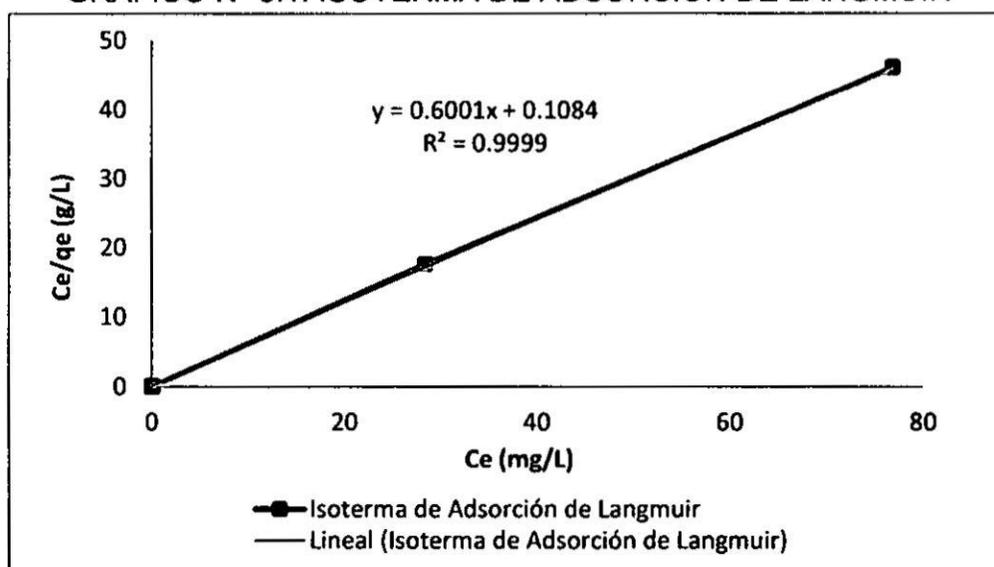
TABLA N° 5.12: VALORES EXPERIMENTALES AJUSTADOS AL MODELO LINEAL DE LANGMUIR

Prueba N°	Abscisa : C_e	Ordenada: $\frac{C_e}{q_e}$
1	0.001	0.101
2	0.001	0.022
3	0.007	0.016
4	0.076	0.080
5	28.360	17.550
6	76.840	46.067

Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

Los valores experimentales ajustados al modelo lineal de Langmuir se representaron en el eje de coordenadas y se aplicó una tendencia lineal, obteniendo un coeficiente de correlación de Pearson (R^2) de 0.9999, tal como se muestra en el GRAFICO N° 5.1:

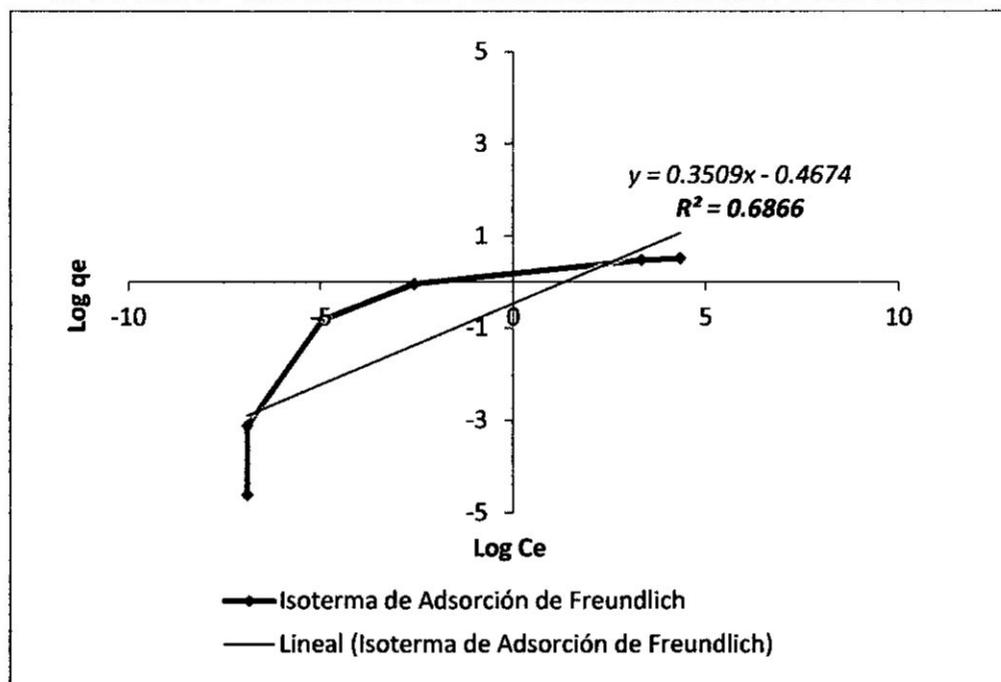
GRÁFICO N° 5.1: ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

obteniendo un coeficiente de correlación de Pearson (R^2) de 0.6866, tal como se muestra en el GRAFICO N° 5.2:

GRAFICO N° 5.2: ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE FREUNDLICH



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

El modelo matemático de Freundlich presenta constantes que ayudan a describir el proceso de adsorción, estas constantes fueron determinadas mediante la ecuación lineal de la recta y se presentan en la TABLA N° 5.15:

TABLA N° 5.15: CONSTANTES DEL MODELO MATEMÁTICO DE FREUNDLICH

Constante	Unidad	Valor
k	-	2.243
n	-	-4.926

Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

5.4. Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en flujo continuo

5.4.1. Adsorción en columna de lecho fijo.

a. Adsorción de arsénico a partir de aguas contaminadas sintéticamente a nivel laboratorio en un filtro de lecho fijo a flujo continuo

Se realizó el tratamiento de las aguas contaminadas sintéticamente con arsénico utilizando el filtro de lecho fijo, obteniendo concentraciones de arsénico después del tratamiento para 9 muestras y una muestra en blanco considerada en el minuto 0, antes del tratamiento, es a partir de esta muestra en blanco que se realizó un reajuste de la cantidad de arsénico inicial utilizando la ecuación (6):

$$M_{adsorbato} = Vol_{sol} \times C_i \dots (6)$$

$$M_{adsorbato} = 10 L \times 10.518 \frac{mg}{L}$$

$$M_{adsorbato} = 105.180 mg$$

Los resultados obtenidos fueron representados en el eje de coordenadas generando así una curva denominada como curva de Ruptura cuya área por encima de la misma con respecto a la ordenada es de **258.397 min.**

De los resultados obtenidos en el tiempo de operación el cual fue de 920 minutos, se logró determinar una adsorción de **29.542 mg de Arsénico.**

La velocidad de alimentación del soluto, por centímetro cuadrado de sección transversal del lecho se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_A = uC_0 \dots (13)$$

$$F_A = 1.551 \text{ cm}/\text{min} \times 10.518 \text{ mg}/\text{L}$$

$$F_A = 0.016 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$$

La masa de adsorbente por unidad de área de la sección transversal del lecho (m_u) es:

$$m_u = h \text{ cm} \times \rho \text{ mg}/\text{L} \dots (14)$$

$$m_u = 17.058 \text{ cm} \times 0.497 \text{ g}/\text{ml}$$

$$m_u = 8.481 \text{ g}/\text{cm}^2$$

Considerando que la saturación fue dada en el minuto 920, se determinó la capacidad de adsorción real del filtro (W_{sat}^*) mediante la siguiente ecuación:

$$W_{sat}^* = \frac{0.016 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min} \times 258.397 \text{ min}}{8.481 \text{ g}/\text{cm}^2}$$

$$W_{sat}^* = 0.497 \text{ mg}/\text{g}$$

De los resultados obtenidos, se tiene que el tiempo de ruptura corresponde a:

$$t_b = 69 \text{ min}$$

El área por encima de la curva hasta el tiempo de ruptura definido con respecto a la ordenada es de **68.995 min**.

Por lo tanto la cantidad adsorbida hasta el punto de ruptura (W_b) es:

$$W_b = \frac{0.016 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min} \times 68.995 \text{ min}}{8.481 \text{ g}/\text{cm}^2}$$

$$W_b = 0.133 \text{ mg}/\text{g}$$

Finalmente se determinó la longitud equivalente de lecho no utilizado en el punto de ruptura (*LUB*) mediante la siguiente ecuación:

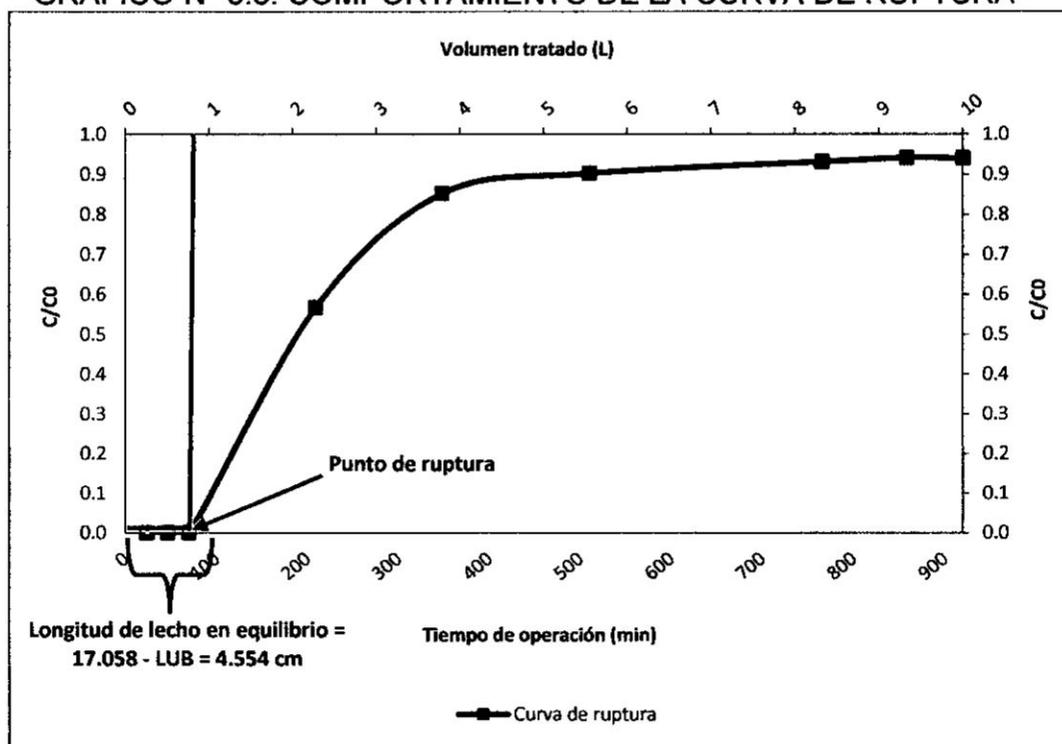
$$LUB = L \left[1 - \frac{W_b}{W_{sat}^*} \right] \dots (15)$$

$$LUB = 17.058 \left[1 - \frac{0.133}{0.497} \right]$$

$$LUB = 12.504 \text{ cm}$$

Los cálculos mostrados así como el punto de ruptura del filtro de adsorción, se representan en el GRAFICO N° 5.3.

GRAFICO N° 5.3: COMPORTAMIENTO DE LA CURVA DE RUPTURA



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

Los resultados obtenidos de la prueba de adsorción de arsénico a partir de aguas contaminadas sintéticamente a nivel laboratorio en un filtro de lecho fijo a flujo continuo, se muestran en la TABLA N° 5.16.

TABLA N° 5.16: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON EL FILTRO DE LECHO FIJO

Prueba N°	Código de la muestra	Tiempo de tratamiento (min)	Resultado del análisis de Arsénico (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	Volumen de solución tratada (L)	Característica
1	RFC-AS-00	0	10.518	---	0.00	Muestra en blanco (C_0)
2	RFC-AS-01	23	0.001	99.99%	0.25	Muestras tratadas con el filtro de zeolitas naturales activadas (C)
3	RFC-AS-02	46	0.001	99.99%	0.50	
4	RFC-AS-03	69	0.001	99.99%	0.76	
5	RFC-AS-04	207	5.964	43.30%	2.27	
6	RFC-AS-05	345	8.965	14.77%	3.78	
7	RFC-AS-06	506	9.498	9.70%	5.55	
8	RFC-AS-07	759	9.801	6.82%	8.32	
9	RFC-AS-08	851	9.905	5.83%	9.33	
10	RFC-AS-09	920	9.890	5.97%	10.00	

Fuente: Informe de ensayo N° 1805014 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

b. Adsorción de arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor-Lima en un filtro de lecho fijo a flujo continuo

Los resultados obtenidos de la prueba de adsorción de arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor-Lima en un filtro de lecho fijo a flujo continuo, se muestran en la TABLA N° 5.17.

TABLA N° 5.17: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DE SAN MATEO DE HUANCHOR, A LA ENTRADA Y SALIDA DEL TRATAMIENTO

Prueba N°	Código de la muestra	Tiempo de tratamiento (min)	Concentración (mg/L)	Característica
1	RFC -00	0	0.016	Entrada
2	RFC -01	23	0.001	Salida

Fuente: Informe de ensayo N° 1805015 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos se demuestra la hipótesis planteada ***“Las zeolitas naturales remueven el arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor provenientes del Rio Rímac”***, mediante el contraste de resultados y pruebas estadísticas, las cuales se describen a continuación:

6.1. Contrastación de la hipótesis con los resultados

6.1.1. Identificación y muestreo de los niveles de Arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor

Las concentraciones de arsénico existentes en las aguas de San Mateo de Huanchor, presenta un valor de 0.010 mg/L, el cual indica la contaminación por arsénico existente en dichas aguas, superan los Estándares de Calidad Ambiental, tal como lo reporta la investigación titulada “Determinación de Arsénico y Cadmio en agua de rio Rímac y Habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huanchor de la Región de Lima” de los autores Basualdo Goannie y Yacila Juan, publicada en el año 2015, los cuales indican una concentración de arsénico promedio de 0.01835 mg/L.

6.1.2. Identificación y muestreo de la Zeolita Natural

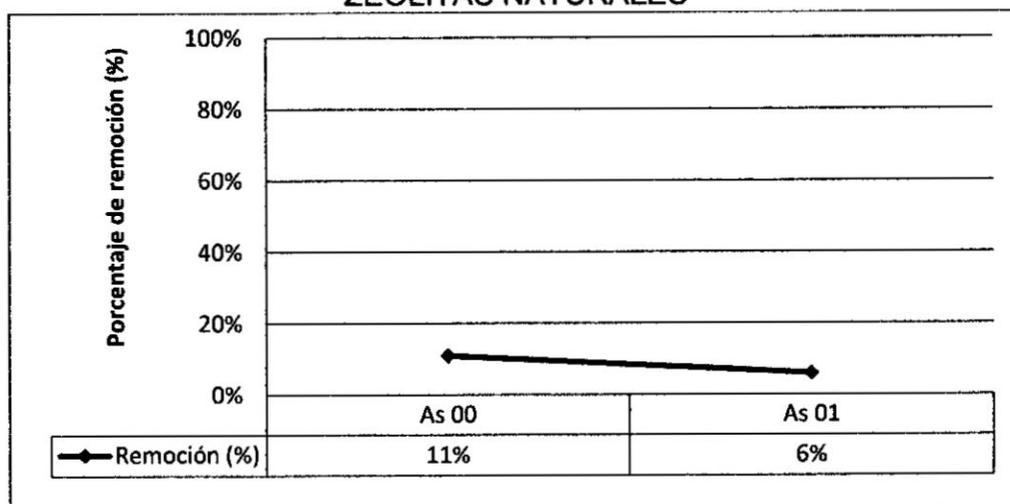
La relación molar de Si/Al para la muestra de Zeolita Natural es de 4.73, característico de los aluminosilicatos y típico de las zeolitas de grupos estructurales como modernita y heulandita; resultados similares se obtuvieron en la investigación titulada “Adsorción de arsénico en Zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio” de los autores “Mejía Flérida; Valenzuela Jesús L.; Aguayo Salvador y Meza Diana, publicada en el año 2009, la cual presento una relación de Si/Al de 3.29.

6.1.3. Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en lotes

a. Análisis preliminar de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales

Los iones intercambiables en la superficie de la zeolita natural no fueron afines con el arsénico existente en la muestra de agua sintética para que pueda generar una adsorción ideal, por ello se dio una remoción de arsénico casi nula, tal como se muestra en el GRAFICO N° 6.1.

GRAFICO N° 6.1: ANÁLISIS PRELIMINAR DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 2693-2698/2017 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

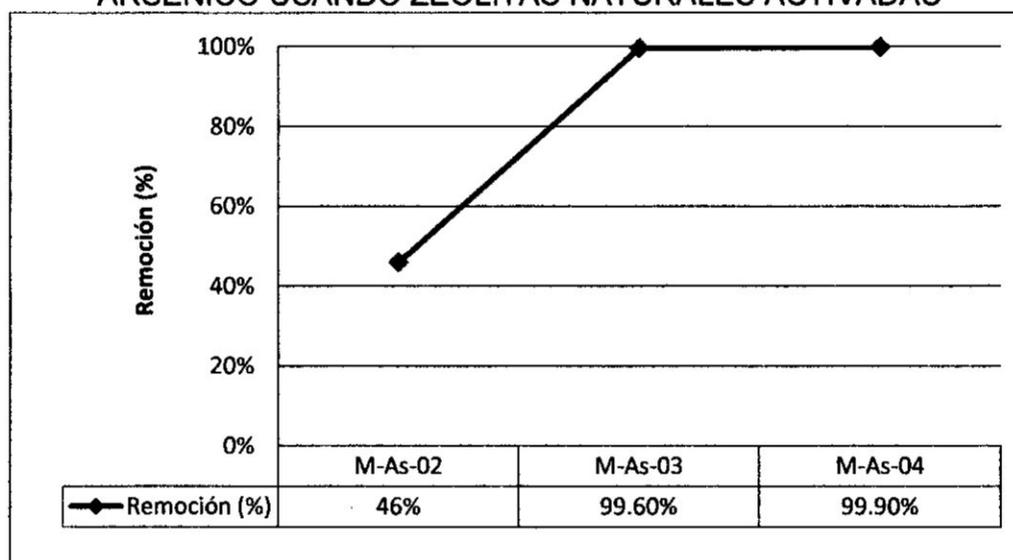
b. Activación de zeolitas naturales con $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

El arsénico tiene mucha afinidad con los átomos de Hierro, por lo que la activación con Cloruro Férrico fue la ideal para la remoción de arsénico, tal como se señala en la investigación "Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada" de los autores Rivera Maria y Piña Martin, publicada en el año 2002, el cual indica que pueden obtenerse una remoción de arsénico desde 90% hasta 100 %.

c. Análisis preliminar de adsorción de arsénico usando zeolitas naturales activadas

La mejor remoción de arsénico fue del 99.9 % considerando una activación mediante cloruro férrico, lavada hasta pH 6.4 y secado a 120 °C por 1 hora, tal como se muestra en el GRAFICO N° 6.2.

GRÁFICO N° 6.2: ANÁLISIS PRELIMINAR DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES ACTIVADAS



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1802070 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

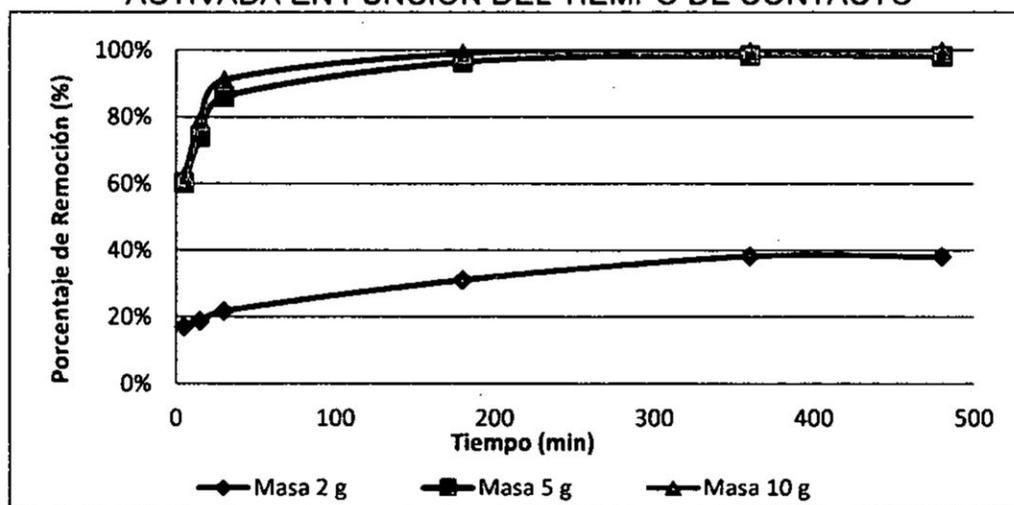
En cuanto al lavado realizado, se obtuvieron mejores resultados con un lavado hasta un pH 6.40 casi a neutro (pH=7), este resultado guarda referencia con lo que indican los autores Petkova Simeonova, entre otros, en su investigación "Evaluación de diversos minerales para Remoción de Arsénico de Agua Para Consumo Humano" publicado en 1997, donde indican que la mayor remoción de Arsénico se dará a un pH de 5, seguido por pH 7, debido a la distribución de especies de arsénico en el agua y a la zona de afinidad del Arsénico (V) con el hierro tal como lo detalla la FIGURA N° 2.1.

d. Efecto de los factores que influyen el proceso de adsorción de Arsénico

- **Efecto de la masa de zeolita natural activada en función del tiempo de contacto**

La prueba con una mayor remoción de arsénico (99.65 %) fue correspondiente a la masa de 10 g de zeolita natural activada; esto debido al aumento de masa ya que proporcionalmente se da un aumento de la superficie de contacto, tal como se representa en el GRÁFICO N° 6.3:

GRÁFICO N° 6.3: INFLUENCIA DE LA MASA DE ZEOLITA NATURAL ACTIVADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO



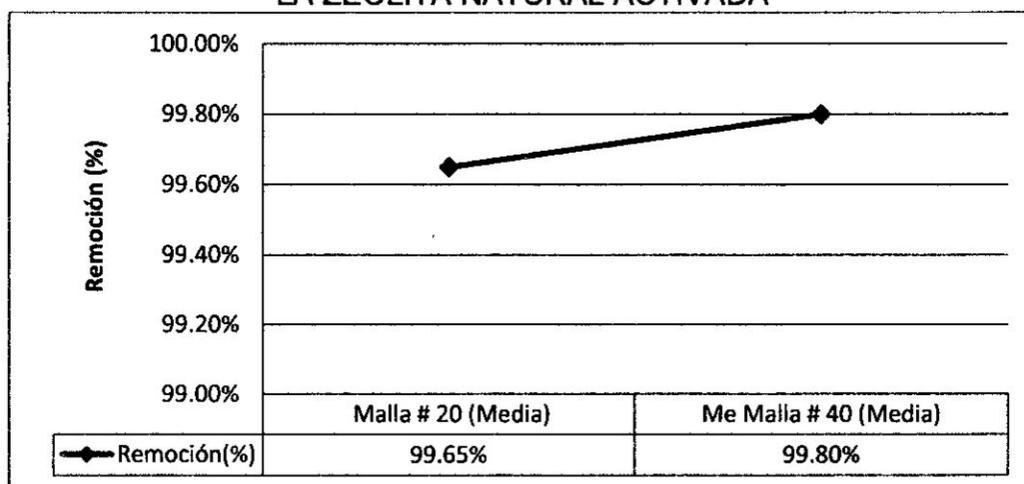
Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803039, 1803027, 1803040 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

Para el tiempo de contacto, se evidenció el aumento del porcentaje de remoción con respecto al aumento del tiempo próximo al equilibrio de adsorción, la gradiente de absorción es mayor en los primeros 30 min la cual va disminuyendo con el transcurso del tiempo hasta llegar al equilibrio, esto sucede en el minuto 360. Resultados similares se obtuvieron en la investigación titulada "Remediation of acid mine drainage using natural Zeolite" del autor "Tafadzwa Motsi" publicada en el año 2010, la cual indica que a mayor masa de adsorbente existe una mayor remoción.

- **Efecto del tamaño de la partícula de la zeolita natural activada**

La mayor remoción de arsénico (99.8%) se da en la prueba correspondiente al tamaño de partícula de malla # 40 (0.4191 mm), esto debido a la disminución de tamaño de partícula generando así una mayor área específica de contacto; resultados similares se obtuvieron en la investigación titulada "Remediation of acid mine drainage using natural Zeolite" del autor "Tafadzwa Motsi" publicada en el año 2010. Los porcentajes de remoción medios se representan en el GRAFICO N° 6.4.

GRÁFICO N° 6.4: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE LA ZEOLITA NATURAL ACTIVADA



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803074 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

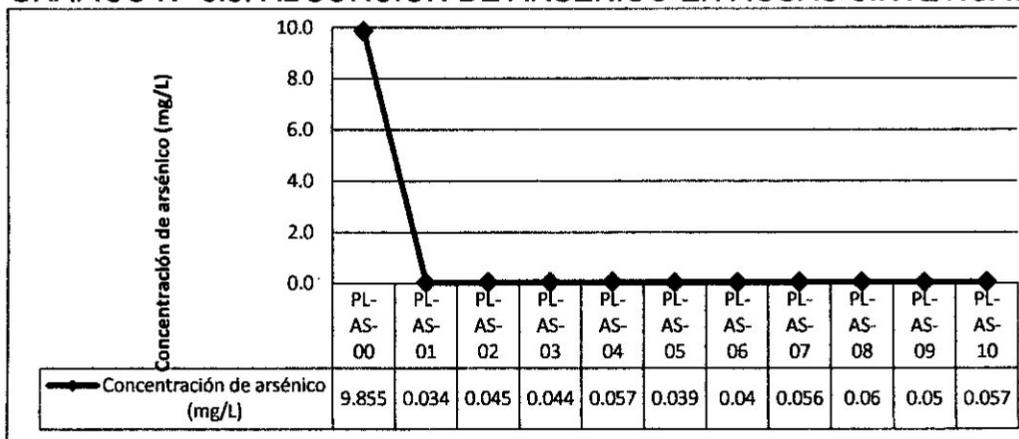
* Me1: Media de la concentración de arsénico de malla # 20 (0.84074 mm)

** Me2: Media de la concentración de arsénico de malla # 40 (0.4191 mm)

e. Adsorción de arsénico en aguas contaminadas sintéticamente

Se obtuvieron concentraciones de arsénico entre 0.034 y 0.060 mg/L con capacidades de remoción desde 99.39 % hasta 99.65 %, esto se debe a que se tomaron en cuenta los mejores resultados de la influencia de masa de zeolita, tiempo de contacto y tamaño de la zeolita que intervienen en la remoción de arsénico empleando zeolitas naturales activadas, tal como se muestran en el GRAFICO N° 6.5.

GRÁFICO N° 6.5: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SINTÉTICAS

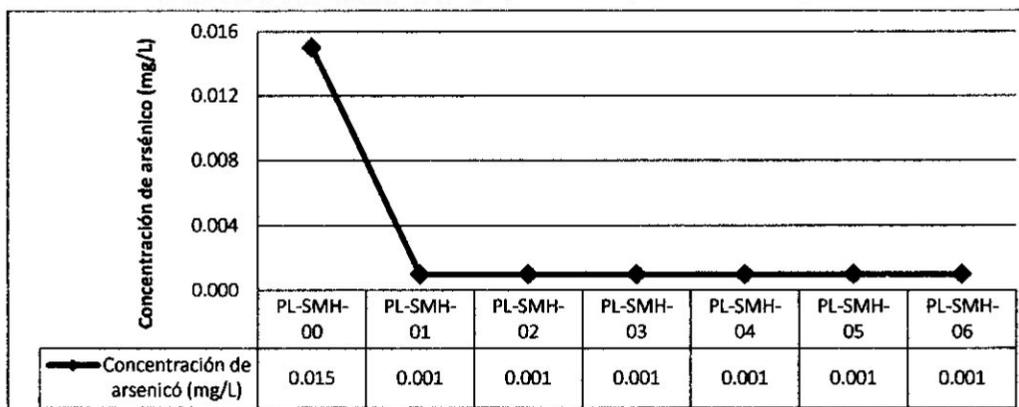


Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803077 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

f. Adsorción de arsénico en aguas superficiales de San Mateo de Huanchor

Se obtuvieron en todos los casos concentraciones menores a 0.001 mg/L de arsénico con una capacidad de remoción mayor a 99.33 %, esto debido a que se tomaron en cuenta los mejores resultados de la influencia de masa de zeolita, tiempo de contacto y tamaño de la zeolita que intervienen en la remoción de arsénico empleando zeolitas naturales activadas, tal como se muestran en el GRAFICO N° 6.6.

GRÁFICO N° 6.6: ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES DE SAN MATEO DE HUANCHOR



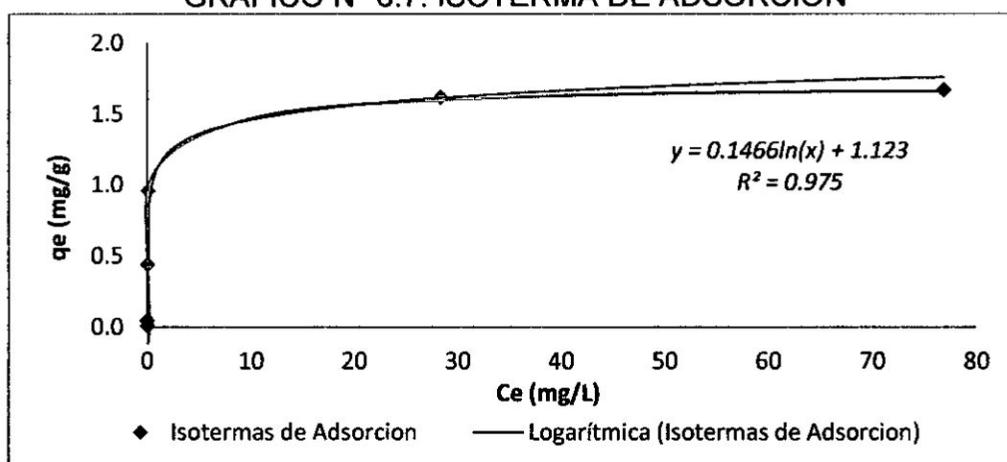
Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803078 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

g. Evaluación de la capacidad de adsorción de arsénico de la Zeolita natural activada

- **Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico a partir de las isotermas de adsorción**

De las diferentes pruebas realizadas a diferentes concentraciones iniciales, se obtuvo una remoción de arsénico constante del 1.668 mg/g, por lo que el adsorbente llegó al equilibrio de adsorción, teniendo en cuenta los mismos tiempos de equilibrio; determinando así la capacidad de adsorción máxima experimental, resultados similares se señalan en la investigación titulada "Removal of arsenic from water using Fe-exchanged natural zeolite" de los autores Zhaohui Li, Jiin-Shuh Jean, Wei-The Jiang, Po-Hsiang Chang, Chun-Jung Chen y Libing Liao, publicada en el año 2011, obteniendo una capacidad de adsorción de Arsénico de 0.04 mg/g. La diferencia de la capacidad de adsorción obtenida con el estudio mencionado, varía debido a que las condiciones de operación para la obtención de las isotermas de adsorción y tipo de zeolita, son propias para cada investigación. La isoterma de adsorción obtenida se representa en el GRÁFICO N° 6.7.

GRÁFICO N° 6.7: ISOTERMA DE ADSORCIÓN



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

- **Evaluación del comportamiento de adsorción de arsénico**

Los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich permiten explicar físicamente la adsorción, los resultados obtenidos en la prueba de isotermas de adsorción se ajustaron mejor al modelo matemático de Langmuir mostrado en el GRÁFICO N° 5.1, dando un coeficiente de correlación de 0.9999, por lo que se afirma lo siguiente:

- La adsorción ocurre solo en la primera capa superficial del adsorbente.
- La superficie del adsorbente es uniforme generando lugares fijos y puntuales para una adsorción homogénea.

6.1.4. Determinación de la capacidad de adsorción de arsénico en flujo continuo

a. Adsorción en columna de lecho fijo.

- **Adsorción de Arsénico a partir de aguas sintéticas a nivel laboratorio en un filtro de lecho fijo a flujo continuo**

La capacidad de adsorción real del filtro (0.497 mg/g) es menor que la capacidad obtenida en pruebas en lote (1.668 mg/g), debido a que en las columnas de adsorción no se tiene una agitación del adsorbente con la solución en contacto, asimismo, en el filtro no se dan condiciones de equilibrio debido al ingreso continuo de solución inicial a tratar.

Robert E. Treybal en su el libro "Operaciones de Transferencia de Masa" indica que el punto de ruptura está en el momento en que la concentración de adsorbato comienza a cambiar abruptamente; por lo que para dicha concentración existe un tiempo determinado siendo este el tiempo de ruptura (t_b) y tuvo lugar en minuto 69, a partir de este momento se afirma que la zona de transferencia de masa está en el fondo del lecho, por lo que la concentración de salida cambia

abruptamente debido a que la zona de transferencia de masa pasa a través del fondo del lecho disminuyendo la remoción de arsénico a partir del minuto 69.

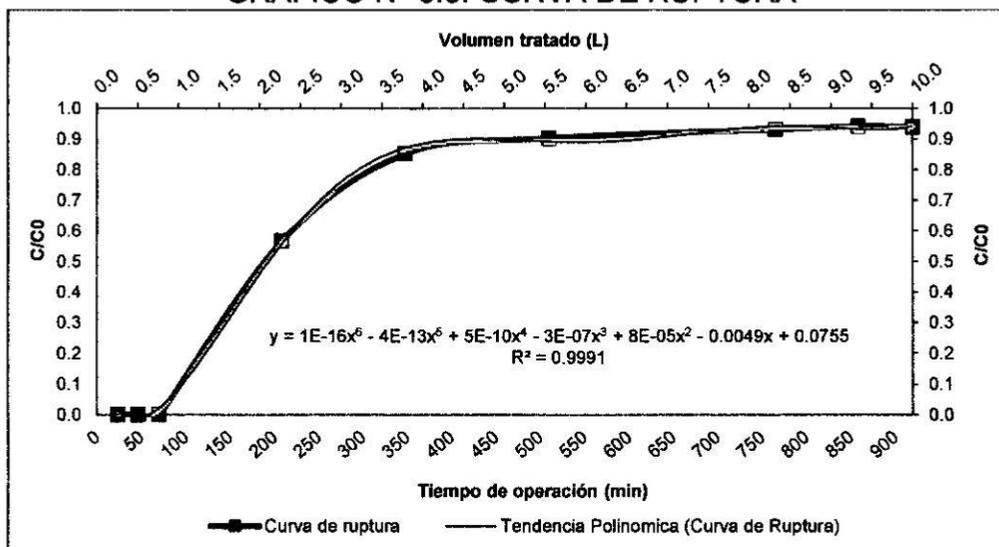
Mediante el tiempo de ruptura obtenido se determinó la longitud de lecho no utilizado (LUB) o la zona de transferencia de masa, permitiendo determinar la masa de zeolita no saturada.

McCabe en su libro "Transferencia de masas" indica que el área limitada por la curva y la ordenada para $C/C_0 = 1$, es proporcional a la cantidad total de soluto adsorbido si todo el lecho alcanza el equilibrio con la alimentación, por lo que el filtro permitió la remoción del 28.1 % de Arsénico durante los 920 minutos de operación, debido a que fue diseñado con una capacidad de Adsorción obtenida por pruebas en lotes, siendo estas condiciones ideales de equilibrio no adecuadas para una adsorción en flujo continuo, sin embargo, se desarrolló de esta manera, con la finalidad de determinar la capacidad de adsorción real en flujo continuo y así evidenciar el comportamiento real del adsorbente en este medio.

Se desprende que la capacidad de adsorción de las zeolitas naturales activadas en pruebas a flujo continuo representa el 29.8 % de la capacidad de adsorción de estas mismas en pruebas en equilibrio.

La curva de ruptura experimental generada de los resultados de las aguas tratadas en el filtro de zeolitas naturales activadas, se muestra en el GRÁFICO N° 6.8.

GRÁFICO N° 6.8: CURVA DE RUPTURA



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1803079 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

- **Adsorción de Arsénico de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor-Lima en un filtro de lecho fijo a flujo continuo**

Los análisis de los resultados anteriores del tratamiento de aguas contaminadas sintéticamente, permitieron operar el filtro con Zeolitas naturales activadas bajo las mismas condiciones para la remoción de arsénico, considerando que la concentración inicial de Arsénico a tratar fue de 0.016 mg/L, se mantuvo las condiciones iniciales debido a que el agua superficial de San Mateo de Huanchor tiene otros elementos que generan competencia de iones con el adsorbente. (Ver TABLA N° 5.1)

6.2. Contratación estadística de la hipótesis con los resultados

6.2.1. Validación y distribución estadística de los resultados

Se empleó la distribución de T –Student, para validar la distribución y valores críticos de los diferentes resultados obtenidos en los diferentes resultados de remoción de arsénico empleando zeolitas, se tomó el

escenario con los datos de la TABLA N° 5.8, por lo que se plantea las siguientes consideraciones estadísticas:

La hipótesis Nula: la media poblacional es igual a 0.056 mg/L de arsénico.

$$H_0: u = 0.056 \text{ mg de Arsenico/L}$$

La Hipótesis alternativa: la media población es diferente a 0.056 mg/L de arsénico.

$$H_1: u \neq 0.056 \text{ mg de Arsenico/L}$$

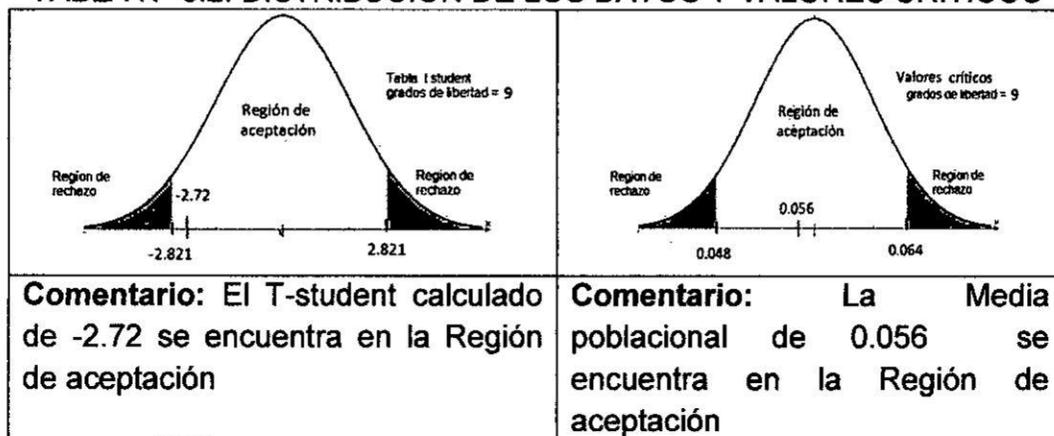
Se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 6.1: RESULTADOS DE LA DISTRIBUCIÓN MEDIANTE EL T-STUDENT

Descripción	Resultados
Media poblacional (u_0)	0.056
T student Calculado (T_{cal})	-2.72
T student teorico Maximo (T_{teoM})	2.821
T student teorico Minimo (T_{teoMin})	-2.821
Valor mínimo critico (x_1)	0.048
Valor máximo critico (x_2)	0.064

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 6.2: DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS Y VALORES CRÍTICOS



Fuente: Elaboración propia

Mediante la TABLA N° 6.2, el T-Student Calculado y los valores críticos se encuentran dentro de la zona de aceptación, por lo que se acepta la media poblacional planteada, por lo tanto también la hipótesis nula.

6.2.2. Validación de la Hipótesis para aguas con arsénico respecto a su tendencia central

Se planteó el siguiente principio estadístico de prueba de hipótesis:

La hipótesis Nula: la media poblacional es menor a 0.015 mg/L de arsénico.

$$H_0: u < 0.015 \text{ mg de Arsenico/L}$$

La Hipótesis alternativa: la media población es mayor o igual a 0.015 mg/L de arsénico.

$$H_1: u \geq 0.015 \text{ mg de Arsenico/L}$$

Se emplearon los datos de la TABLA N° 5.9, para la prueba en lotes de la remoción de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor, obteniendo valores de concentración menores a 0.001 mg/L y remoción mayores a 99.33 % con una desviación estándar de 0 por lo que todos los resultados tienen un margen de error nulo respecto al valor central, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y acepta la hipótesis nula.

6.2.3. Validación de la Hipótesis para aguas de San Mateo de Huanchor en flujo continuo

La toma de decisión sobre la prueba de hipótesis se desarrolló en base al comportamiento de las variables independientes que influyen sobre la variable dependiente. Se determinó la hipótesis nula, siendo la media muestral para el arsénico 0.016 mg/L valor obtenido representativo de las aguas de San Mateo de Huanchor provenientes de río Rímac y un nivel de significancia de 0.01, es decir, de 100 resultados muestrales en α x 100% de veces, se rechazara la hipótesis nula. Siguiendo el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis para determinar la

concentración de arsénico, el valor de la variable dependiente es 0.016 mg/L. Por lo que se plantea lo siguiente:

La hipótesis Nula: la media poblacional es menor a 0.016 mg/L de arsénico.

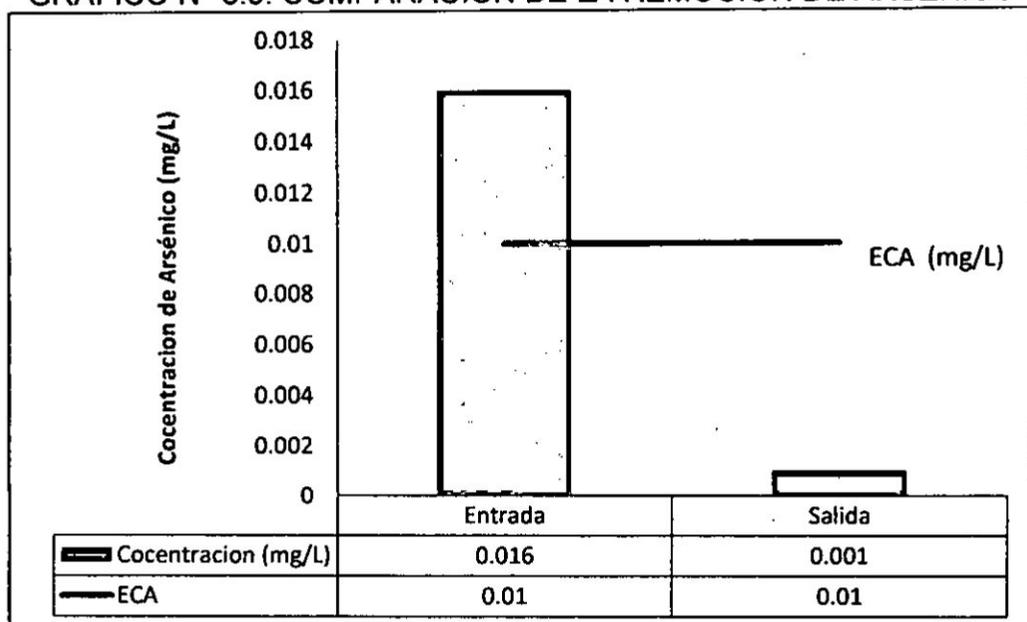
$$H_0: u < 0.016 \text{ mg de Arsenico/L}$$

La Hipótesis alternativa: la media población es mayor o igual a 0.016 mg/L de arsénico.

$$H_1: u \geq 0.016 \text{ mg de Arsenico/L}$$

A continuación se describe los valores obtenidos:

GRÁFICO N° 6.9: COMPARACIÓN DE LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO



Fuente: Recopilada en base a la información del Informe de ensayo N° 1805015 emitido por el laboratorio DELTA LAB S.A.C.

En el GRÁFICO N° 6.9 se muestra que la concentración de arsénico luego de tratamiento con zeolitas naturales es 0.001 mg/L, menor a la media poblacional, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y acepta la hipótesis nula. Por lo tanto, la regla de decisión es la siguiente: Rechazar la hipótesis ALTERNATIVA y aceptar la hipótesis NULA.

Por lo que la Hipótesis planteada ***“Las zeolitas naturales remueven el arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor provenientes del Río Rímac”*** queda demostrada tanto en prueba en lotes y flujo continuo, la remoción de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor.

6.3. Contrastación de la hipótesis con otros estudios similares

La concentración de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor con un valor de 0.016 mg/L fueron removidas por debajo de 0.001 mg/L, mediante un filtro de zeolitas naturales activadas obtenidas del anexo de Yura Viejo en Arequipa, a flujo continuo. Para obtener el comportamiento mediante una curva dicha remoción se simuló a nivel laboratorio a flujo continuo con aguas contaminadas sintéticamente, obteniendo el punto de ruptura (69 min) y zona de transferencia (76.47 % del lecho), para ello se determinó la capacidad de adsorción de la zeolita natural activada ($W^* = 1.668$ mg de arsénico por gramo de zeolita). En las pruebas en lotes con aguas de San Mateo de Huanchor, se obtuvieron valores menores a 0.001 mg/L y remociones mayores a 99.33 %, se determinó la influencia del tamaño de partícula (tamaño malla # 40 (0.4191 mm) con una remoción del 99.80 %), masa de la zeolitas activada (mayor a 10 g con una remoción del 99.65 %) aumentando en las superficies de contacto y en el aumento del tiempo próximo al equilibrio de adsorción, la gradiente de absorción es mayor en los primeros 30 min la cual va disminuyendo con el transcurso del tiempo hasta llegar al equilibrio.

En el año 2007 se publicó la investigación ***“Efecto de la modificación de una zeolita natural mexicana en la sorción de cadmio y 4-clorofenol”***, en el cual se empleó la zeolita natural clinoptilolita y modificada utilizando una sal cuaternaria de amonio, como el bromuro de hexadeciltrimetilamonio (HDTMA-Br), la remoción de cadmio por Zeolita natural y Zeolita modificada presentan una forma caracterizada por un aumento rápido de la retención en los primeros minutos de contacto,

seguido por un aumento lento hasta que se alcanza equilibrio. Además después de 24 horas de contacto con Zeolita Natural se obtiene una remoción mayor de este metal, lo cual representa una mejor eficiencia en el intercambio comparando con la zeolita modificada; además, se puede señalar que se alcanza el equilibrio del sistema ya que no existen cambios significativos en la concentración de cadmio en Zeolita Natural; Para el caso de la sorción del 4- clorofenol, se observó que la zeolita natural no retiene este compuesto, mientras que en la zeolita modificada la sorción es mejor con respecto a otros materiales similares.

La remoción en metales mediante zeolitas naturales presenta un comportamiento de la remoción lenta , por lo tanto se realiza un acondicionamiento, en 2006 en la publicación ***“Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros”*** en dicha investigación se emplearon zeolitas naturales cubanas (70% clinoptilolita), donde la remoción de metales pesados es lenta pero efectiva, presentándose los mejores resultados para el Cu, Zn y Cd con un 99,91% el estudio constató que la remoción de cobre es siempre mayor en soluciones simuladas que en efluentes reales.

La activación de las zeolitas permiten recubrir la superficie específica de contacto para la adsorción de arsénico, permitiendo simular el comportamiento mediante pruebas en lotes con condiciones en equilibrio determinando así su comportamiento mediante un modelo matemático. En el 2009 en la publicación ***“Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio”***, se emplea zeolita natural (chabazita) tratada con óxido de magnesio para remover arsénico (As^{+5}) en agua, la zeolita pretratada tiene resultados muy favorables, superiores a 90 % de arsénico adsorbido, la incorporación de óxido de magnesio sobre la zeolita contribuye a que se obtengan altos porcentajes de adsorción. Los resultados indican que las variables más significativas que afectan la adsorción de As^{+5} son la concentración inicial de Arsénico y la

relación sólido/líquido (S/L). Los datos experimentales se ajustan de mejor forma a la isoterma de Freundlich, con lo que se obtiene una capacidad de adsorción de 20.17 mg/g. El coeficiente de correlación del modelo de Freundlich es significativo, alcanzando una $R^2 = 0.943$.

El medio activante permite obtener diferentes capacidades de remoción así como también influye su tratamiento en equilibrio y flujo continuo, en el 2002 se publicó **TRATAMIENTO DE AGUA PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO MEDIANTE ADSORCIÓN SOBRE ZEOLITA NATURAL ACONDICIONADA**, en dicha investigación se tamizaron las zeolitas hasta diámetros que estuvieran entre 0.86 y 1.3 mm (malla 14x20) utilizaron dos tipos de acondicionamiento combinados con tres sales de hierro (nitrato férrico $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, cloruro férrico $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) para lograr una película de óxidos de hierro sobre la zeolita natural *clinoptilolita*, obteniéndose seis muestras diferentes de zeolita preparada (Rivera Huerta & Piña Soberanis, 2002). Para el Tipo 1 se utilizó las sales mencionadas y para el de tipo 2 se utilizó las mismas con adición de hipoclorito de sodio. Para las pruebas de adsorción se utilizó una solución con una concentración de arsénico de 0.5 mg/L preparada con agua desionizada y arseniato de sodio, $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Con el propósito de evaluar la habilidad para adsorber arsénico de los materiales acondicionados con óxidos de hierro se realizó un plan experimental con cada uno de ellos. Se obtuvieron eficiencias de remoción de arsénico de para las zeolitas de Tipo 1 con nitrato férrico (30-50%), cloruro férrico (0-20%) y sulfato ferroso (0-40%), para el de tipo 2 con nitrato férrico (60-100%), cloruro férrico (90-100%) y sulfato ferroso (0-100%).

Por otro lado en dicha investigación se plantearon condiciones de operación de lecho fijo mediante un filtro teniendo en consideración las pruebas en equilibrio, según (Rivera Huerta & Piña Soberanis, 2002) en las experiencias que realiza las pruebas en línea se realizaron en una columna circular de acrílico de 1 plg de diámetro interno, empacada con

un lecho de 0.40 m de zeolita recubierta de óxidos de hierro. El tamaño de la zeolita empacada varió entre 0.5 y 0.86 mm para evitar los efectos de pared en el flujo a través del lecho. La solución sintética de arsénico fue preparada en un tanque y alimentada a la columna con una bomba peristáltica. Se eligió un tiempo de retención hidráulico de cinco minutos en el lecho. Se tomaron muestras a diferentes horas de operación de la columna a una profundidad de 21 y 40 cm del lecho, los resultados obtenidos muestran que durante las 72 horas de operación se adsorbieron 39.81 mg de Arsénico en todo el lecho. El lecho está compuesto por 202 ml o 190.5 g de zeolita acondicionada. Considerando que en este tiempo no se ha alcanzado la saturación se puede decir que este medio ofrece una capacidad de adsorción de arsénico mayor a $39.81 \text{ mg de arsénico} / 190.5 \text{ g} = 0.21 \text{ mg de As/g}$.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

- Las zeolitas naturales activadas con cloruro férrico, remueven el arsénico existente en las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor.
- La mejor remoción de arsénico con zeolitas naturales activadas, se presenta con un tamaño de partícula malla # 40 (0.4191 mm), masa de 10 g y tiempo de equilibrio de 360 min.
- La capacidad de adsorción de arsénico de la Zeolita natural activada en pruebas en lotes fue de 1.668 mg/g en equilibrio, la isoterma de adsorción se ajusta el modelo matemático de Langmuir en 99.99 %.
- La capacidad de adsorción de arsénico de la Zeolita natural activada en flujo continuo fue de 0.497 mg/g, se obtuvo una longitud equivalente del lecho no utilizado de 12.504 cm.
- En la remoción de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor mediante un filtro de zeolitas naturales activadas en un flujo continuo y pruebas en lotes, se obtuvieron remociones de 93.75 % y 93.33 % respectivamente.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

- Realizar una caracterización detallada de la zeolita natural teniendo en cuenta análisis de quimisorción y fisisorción.
- Continuar con la investigación teniendo en cuenta la competencia de iones por otros metales en pruebas en lote y flujo continuo.
- Con los resultados obtenidos, se recomienda realizar un diseño a mayor escala para el tratamiento continuo de las aguas superficiales de San Mateo de Huanchor y/o para otras actividades económicas.

CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Acido de Mina: Generacion y Tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España - Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (11 de 01 de 2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima, Lima, Lima.
- Basualdo Larrazabal, G. J., & Yacila Frias, J. D. (2015). Determinación de Arsénico y Cadmio en las aguas del Rio Rimac y habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huanchor de la region Lima. *Tesis de Pregrado*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Calla Llontop, H. J. (2010). Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. *Tesis Magistral*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Castellar Ortega, G. C., Cardozo Arrieta, B. M., Suarez Guerrero, J. F., & Vega Taboada, J. E. (2013). Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Revista Prospectiva de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Caribe*, 66-75.
- Chica Toro, F., Londoño Benítez, L. M., & Álvarez Herrera, M. I. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de investigación*, 30-34.
- Córdova Zamora, M. (2009). Estadística descriptiva e inferencial. Lima: MOSHERA S.R.L.
- Costafreda Mustelier, J. L. (2011). Tectosilicatos con características especiales: Las zeolitas naturales. Madrid, España: Fundación Gómez Pardo.
- Curi, A., Granda, W. J., Lima, H. M., & Sousa, W. T. (2006). Las zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros. *Información tecnológico-Medio Ambiente*, 111-118.
- DIGESA. (2005). *MINSA*. Obtenido de Atención de salud en las localidades de San Mateo de Huanchor:
<http://www.minsa.gob.pe/portada/Especiales/Plomo/actividades.htm>
- Galetovic Carabantes, A., & A.G.G. De Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 365-372.

- George, C. M., Checkley, W., Gilman, R. H., Sima, L., Jahuira Arias, M. H., Mihalic, J., y otros. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 565-572.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (2002). Separaciones en Lechos Fijos. En *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERIA QUIMICA* (págs. 875-911). Mexico: McGraw-Hill.
- Mejía Zamudio, F., Valenzuela García, J. L., Aguayo Salinas, S., & Meza Figueroa, D. (2009). Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 217-227.
- Mejia Zamudio, F., Valenzuela Garcia, J., Gomez Alvarez, A., Meza Figueroa, D., & P. Ela, W. (2013). Adsorption of arsenic on pre-treated zeolite at different pH levels. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 280-284.
- Meltem Bilici, B., & Aysegul, P. (2011). Removal of arsenic from drinking water using modified natural zeolite. *Desalination*, 396-403.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (25 de 03 de 2013). Guía para el muestreo de Suelos. Lima, Lima, Lima.
- Montoya Aspilcueta, J. M., & Rivera Choque, S. (2015). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA OBTENCION DE ZEOLITA SINTETICA A PARTIR DE PRECURSORES NATURALES*. Arequipa, Perú.
- Motsi, T. (2010). Remedation of acid mine drainage using natural zeolite. *Tesis Doctoral*. Reino Unido: School of Chemical Engineering of The University of Birmingham.
- Núñez Núñez, Y. E. (2009). Estudio de una zeolita natural de tipo clinoptilolita activada y no activada en la deshidratación de alcoholes. *Tesis de Pregrado*. Cumaná, Venezuela: Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias, departamento de Química.
- Paredes Doig, A. L. (Septiembre de 2011). ESTUDIO DE LA ADSORCION DE COMPUESTOS AROMATICOS MEDIANTE CARBON ACTIVADO PREPARADO A PARTIR DE LA CASCARA DE CASTAÑA. Lima.
- Perry, R. (1994). Adsorción e Intercambio Ionico. En *MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO* (págs. 16-45; 16-9). McGraw-Hill.
- Petkova Simeonova, V., Rivera Huerta, M., Piña Soberanis, M., Avilés Flores, M., & Pérez Castrejón, S. (4,5,6,7 de Noviembre de 1997). EVALUACIÓN DE DIVERSOS MINERALES PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. 1-10. Zacatecas, México: Memorias Tecnicas. 11° Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

- Ramos, W., Galarza, C., De Amat, F., Pichardo, L., Ronceros, G., Juarez, D., y otros. (2006). Queratosis Arsenical en pobladores expuestos a relaves mineros en altura en San Mateo de Huanchor. *Dermatología Peruana*, 41-45.
- Rivera Huerta, M., & Piña Soberanis, M. (2002). Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre natural acondicionada. *Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - AIDIS*, 1-11.
- Rodríguez Fuentes, G., & Rodríguez Iznaga, I. (1997). *Eliminación de metales tóxicos mediante zeolitas naturales*. Cuba: Universidad de la Habana .
- SEDAPAL; DIGESA. (2005 - 2011). *DIGESA*. Obtenido de vigilancia y Monitoreo de los Recursos Hídricos:
http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/vigilancia_recursos_hidricos.asp
- Shevtsova de Vargas, G. (1991). Zeolitas en Catalisis. *Revista de química*, 149-161.
- Treybal, R. (1980). Adsorción e Intercambio Iónico. En *Operaciones de Transferencia de Masa* (págs. 625-675). Mexico: Mc Graw Hill.
- Zhaohui, L., Jiin Shuh, J., Wei Teh, J., Po Hsiang, C., Chun Jung, C., & Libing, L. (2011). Removal of arsenic from water using Fe-exchanged natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 318-323.

ANEXOS:

a. Matriz de Consistencia

“REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE LAS AGUAS DE SAN MATEO DE HUANCHOR-LIMA CON ZEOLITAS NATURALES”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA	VARIABLES	POBLACIÓN				
<p>¿Cuál será nivel de remoción del arsénico de las aguas de San mateo de Huanchor tratadas con zeolitas naturales?</p>	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la capacidad de remoción de las zeolitas naturales en aguas contaminadas con Arsénico. <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Examinar la capacidad de remoción de las zeolitas naturales en aguas contaminadas con arsénico a nivel laboratorio en lecho fijo. • Examinar la remoción de arsénico de las aguas de San Mateo de Huanchor a nivel laboratorio utilizando las zeolitas naturales en flujo continuo 	<p>Las zeolitas naturales permiten la remoción de arsénico de las aguas de la localidad de San Mateo de Huanchor provenientes del río Rímac.</p>	<p>Tipo De acuerdo al propósito de la investigación, naturaleza de los problemas y objetivos formulados, el presente estudio reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una Investigación Análítico - Correlacional.</p> <p>Método Durante el proceso de investigación para desarrollar la metodología y demostrar la hipótesis se aplicaran métodos cuantitativos.</p> <p>Diseño de la investigación El tipo de diseño que se empleara será un Diseño Analítico - correlacional!</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">MUESTRA</p> <p style="text-align: center;"> X \xrightarrow{R} Y </p> <p style="text-align: center;">Dónde: Y: Variable dependiente X: Variable independiente R: Relación</p> </div> <p>También un diseño grupo de control, pre-prueba y post-prueba</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0; text-align: center;"> <p>MUESTRA</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px;">O₁</td> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">O₂</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Dónde:</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">[</div> <div style="margin-right: 5px;">G: Grupo de control O₁: Medición sin tratamiento T: Tratamiento O₂: Medición con tratamiento</div> <div style="font-size: 2em; margin-left: 5px;">]</div> </div> </div>	G	O ₁	T	O ₂	<p style="text-align: center;">Y=(x)</p> <p>Y:Variable dependiente Remoción de Arsénico de las aguas de la localidad de San Mateo de Huanchor</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>.Dimensión Y₁ = Remoción de Arsénico</p> <p>.Indicador Miligramos de Arsénico por litro de agua (mg/L)</p> </div> <p>X :Variable independiente Zeolitas Naturales</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>.Dimensión X₁ = Tamaño de Partícula X₂ = Masa de Zeolita X₃ = Tiempo de Contacto</p> <p>.Indicador X₁ = # mallas (mm) X₂ = gramos (g) X₃ = Minutos (min)</p> </div>	<p>Población Está constituida por las aguas superficiales del Río colindante al distrito de San Mateo de Huanchor.</p> <p>Muestra Los puntos de muestreo se ubicaran en la superficie del río colindante a San Mateo de Huanchor.</p>
G	O ₁	T	O ₂						

b. Anexos

FIGURA N° 4.3: PUNTO DE MONITOREO – SAN MATEO DE HUANCHOR

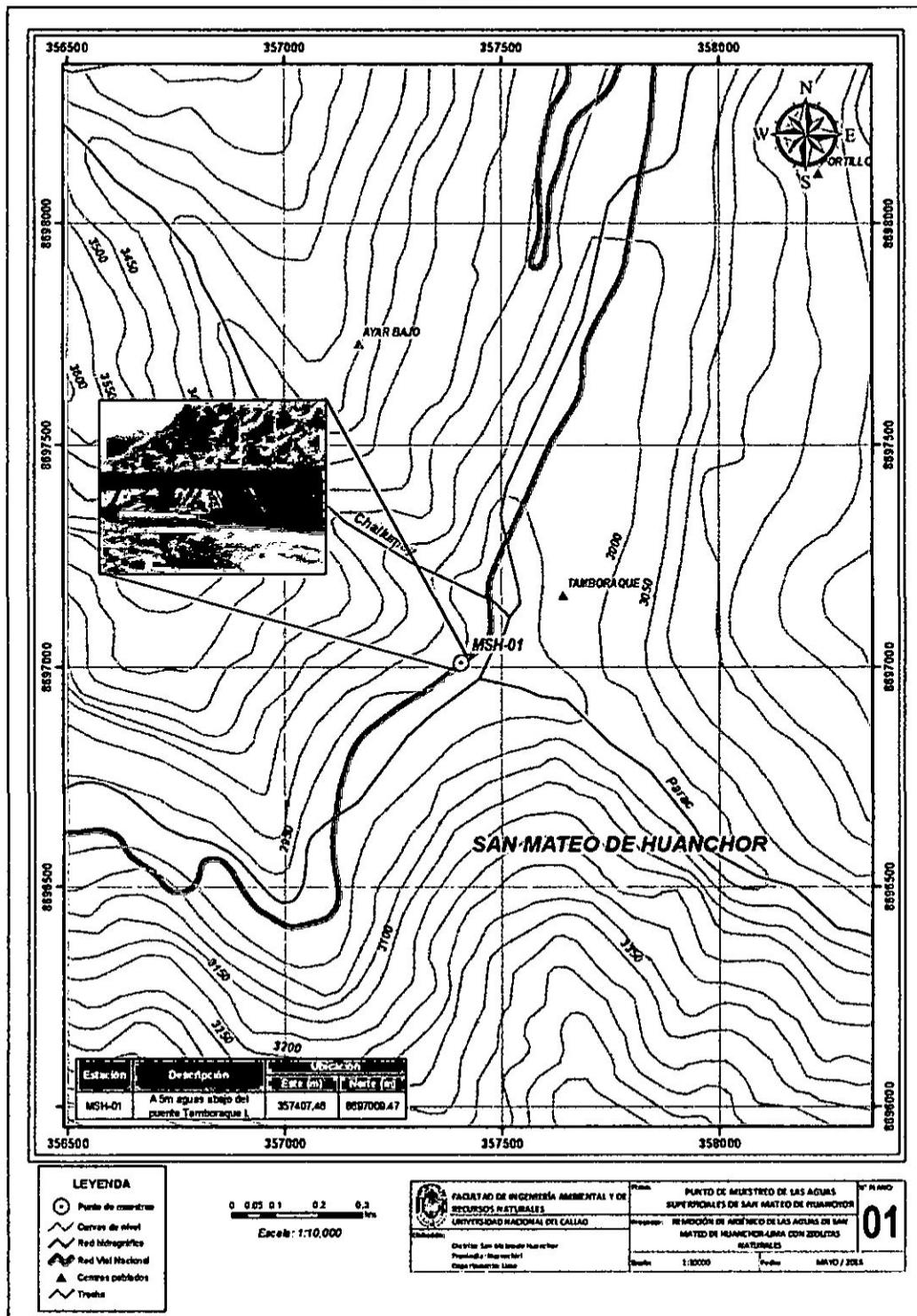


FIGURA N° 4.5: PUNTO DE MONITOREO – YURA VIEJO

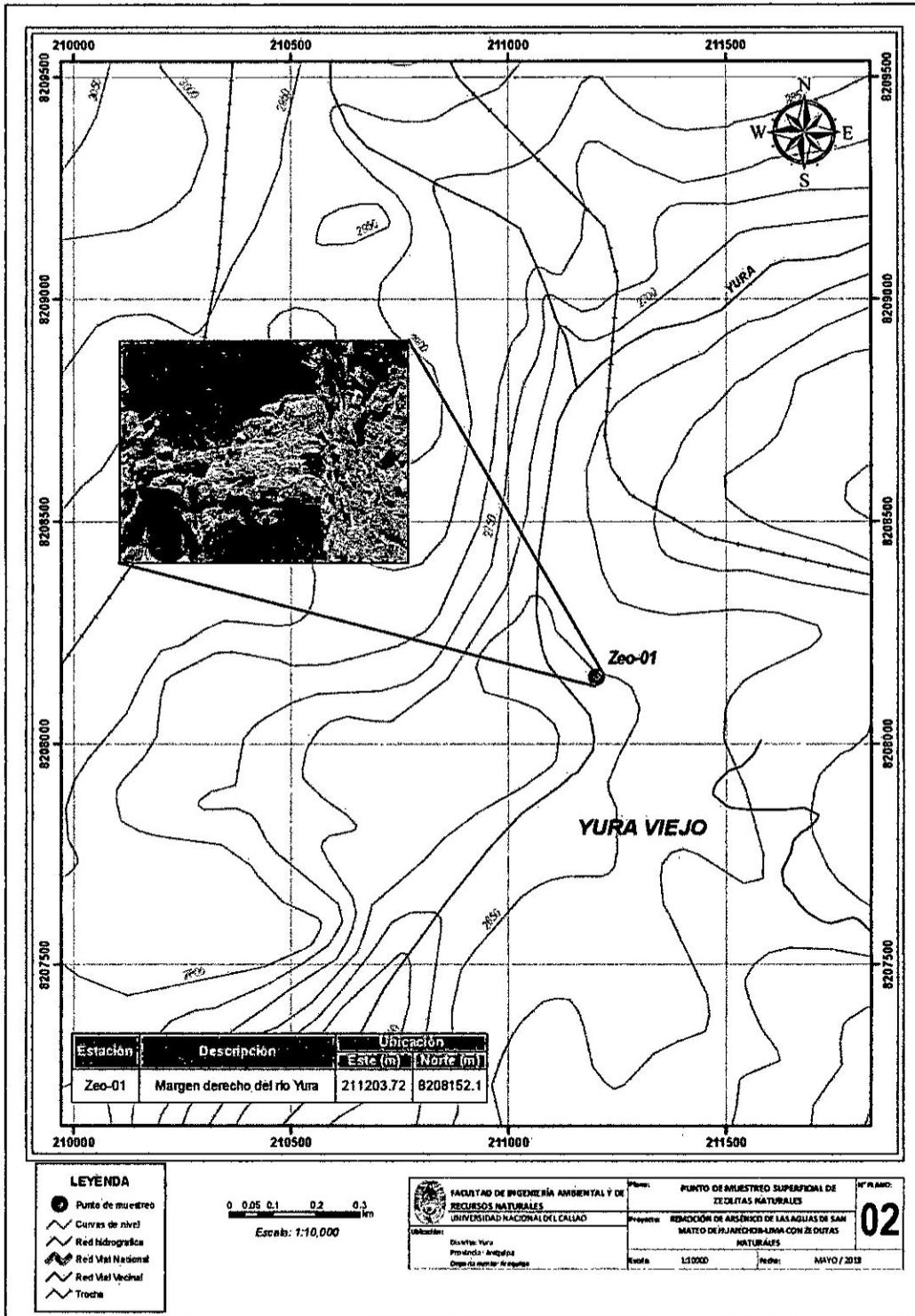
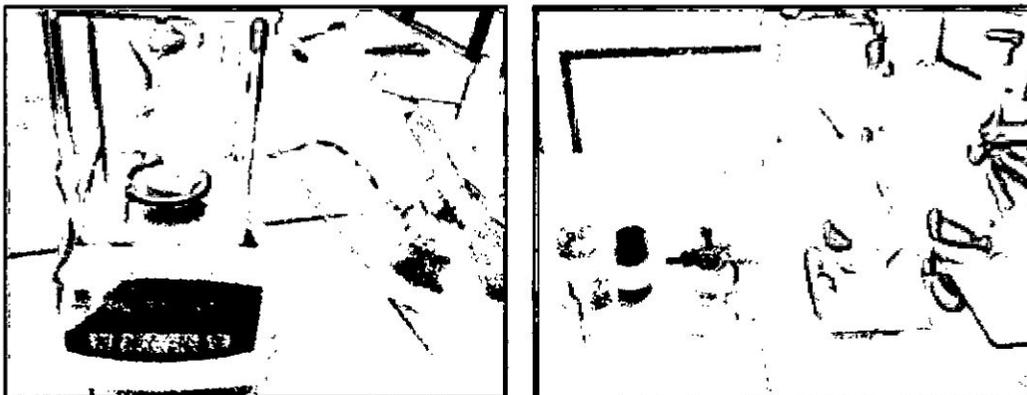
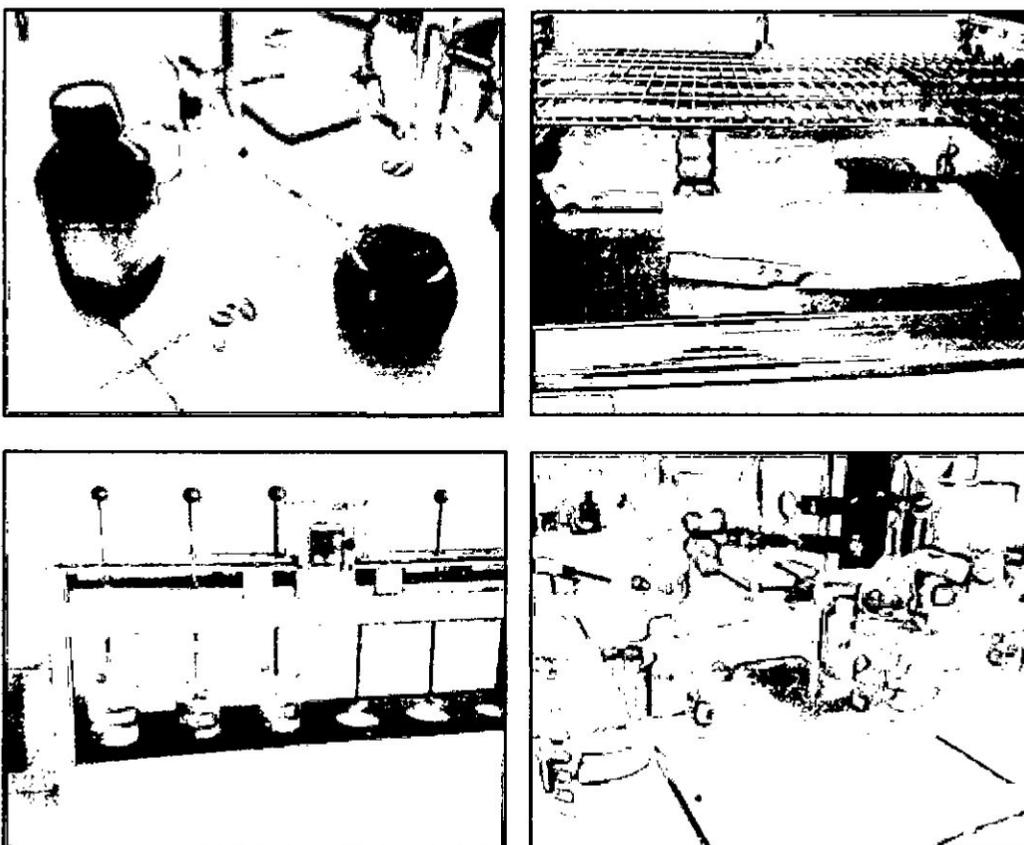


FIGURA N° 5.1: ANÁLISIS PRELIMINAR DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO USANDO ZEOLITAS NATURALES



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 5.2: ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO CON ZEOLITAS NATURALES ACTIVADAS



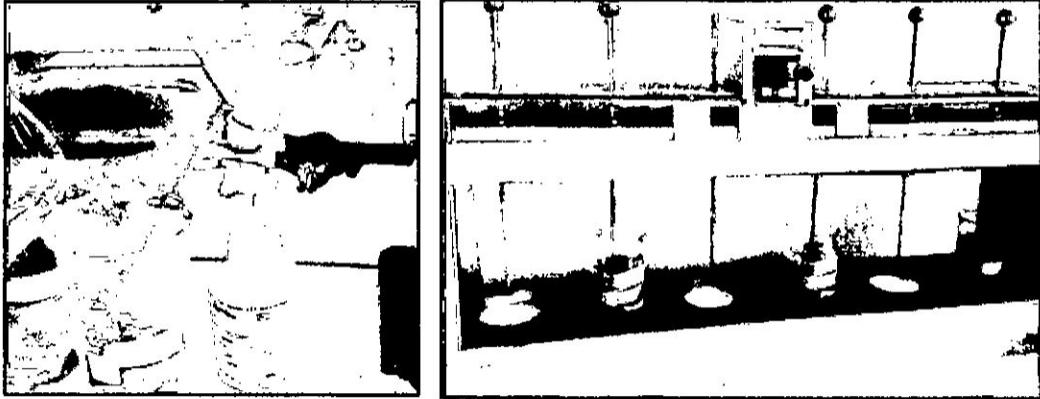
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 5.3: INFLUENCIA DE LA MASA DE ZEOLITA NATURAL ACTIVADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 5.4: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE LA ZEOLITA NATURAL ACTIVADA



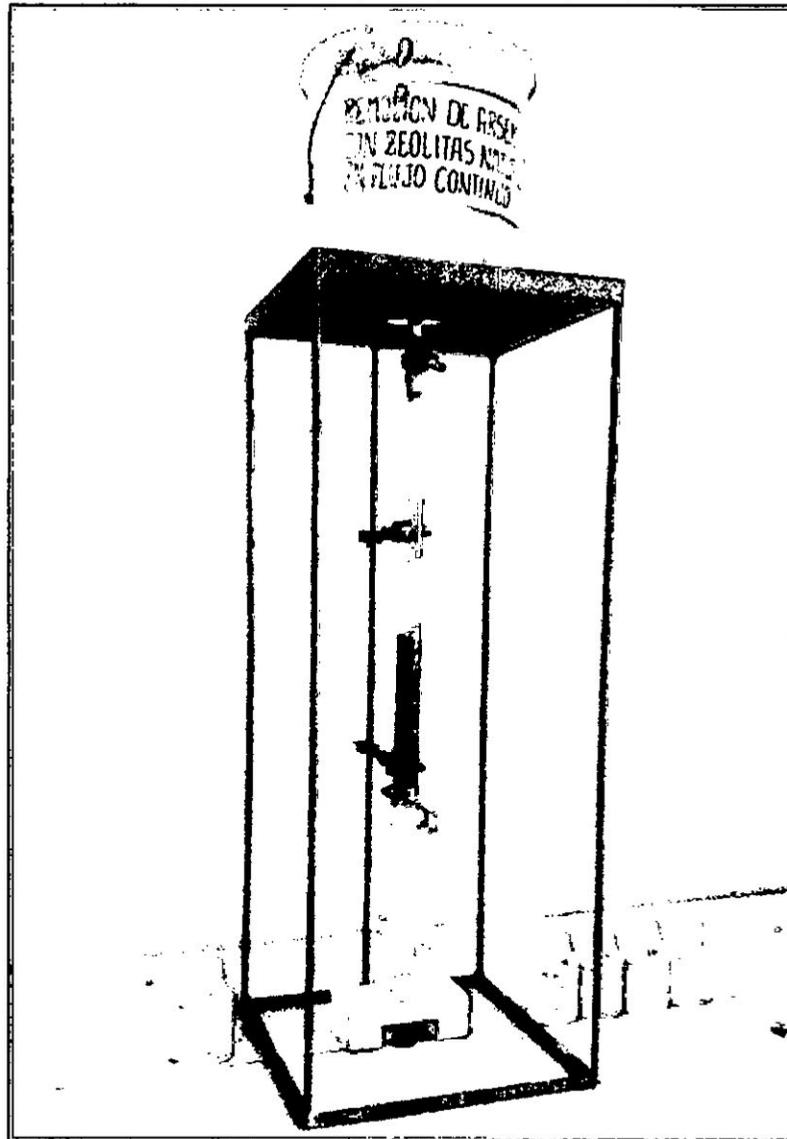
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 5.5: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 5.6: OPERACIÓN DEL FILTRO DE LECHO FIJO



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 1. INFORME DE ENSAYO CAM-MAY-053/2018

CAM
CENTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES



CAM-MAY-053/2018

INFORME TÉCNICO

Número Total de Páginas: 2

SOLICITADO POR : FAC. DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RR.NN – UNAC.
MUESTRA : Mineral en Polvo.
REALIZADO POR : Dr. José Fernandes.
FECHA DE EMISIÓN : 31.05.2018.



I. INTRODUCCIÓN

Se ha realizado el análisis químico por fluorescencia de rayos X (FRX), a una muestra de Mineral en Polvo, para identificar su composición química. Se reportan todos los óxidos presentes en la muestra.

II. RESULTADOS

El resultado del análisis químico por fluorescencia de rayos X se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico de la Muestra Mineral.

Fórmula	(%) en peso
SiO ₂	73.30
Al ₂ O ₃	13.70
Na ₂ O	4.45
K ₂ O	3.57
CaO	1.83
Fe ₂ O ₃	1.67
MgO	0.62
SO ₃	0.40
Cl	0.25
MnO	0.10
SrO	0.05
CuO	0.04
ZnO	0.02
Total	100.00

Este informe no es un certificado. Prohíbida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización del CAM/PUCP.

Pabellón O - Campus PUCP
Av. Universitaria N° 1801 - San Miguel.

T: (511) 626-2000 Anexo: 7740
M: cam@puqp.edu.pe codicen@puqp.edu.pe

II. CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS

- Equipo : Espectrómetro modelo S8 Tiger marca Bruker.
- Tiempo de análisis : 10 minutos.
- Preparación de la muestra : Perla de fusión.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

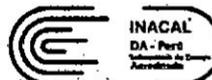
Dr. Francisco Rumicote
Jefe

Este informe no es un certificado. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización del CAM/PUCP.

Pabellón O - Campus PUCP
Av. Universitaria N° 1801 - San Miguel.

T: (511) 626-2000 Anexo: 7740
M: cam@pucp.edu.pe eoliden@pucp.edu.pe

ANEXO 2. INFORME DE ENSAYO N° 170455



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Regimen N° 12 - 077

Pág. 1/2

INFORME DE ENSAYO N° 1704055

Cliete : FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
 Domicilio legal : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
 Producto : Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao.
 Referencia del cliente : Agua Natural
 Procedencia de las muestras : No Indica
 Referencia del plan de muestreo : Muestrado por el cliente indicando lugar de muestreo: A 5m. Agua abajo del puente
 Procedimiento de muestreo : No Aplica. Tamboraque I, San Mateo de Huanchico - Huanchichri - Lima.
 Fecha de recepción de las muestras : 2017/11/12
 Fecha de inicio del ensayo : 2017/11/12
 Fecha de término del ensayo : 2017/11/22

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
	Mezclas Totales				
	Aluminio	0,0077	---	< 0,0077	mg/L
	Antimonio	0,0015	---	< 0,0015	mg/L
	Arsénico	0,001	---	0,010	mg/L
	Bario	0,0004	---	0,0495	mg/L
	Berilio	0,0002	---	< 0,0002	mg/L
	Boro	0,0012	---	< 0,0012	mg/L
	Cadmio	0,00005	---	0,0005	mg/L
	Calcio	0,0015	---	85,16	mg/L
	Cerio	0,0096	---	< 0,0096	mg/L
	Cobalto	0,0007	---	< 0,0007	mg/L
	Cobre	0,0005	---	0,1916	mg/L
	Cromo	0,0023	---	< 0,0023	mg/L
	Estadío	0,0026	---	< 0,0026	mg/L
	Estroncio	0,0002	---	0,9140	mg/L
EPA 200.7 Rev. 4.4 (1994) (*)	Fósforo	0,0237	---	< 0,0237	mg/L
	Hierro	0,0052	---	1,147	mg/L
	Litio	0,0006	---	< 0,0006	mg/L
	Magnesio	0,0107	---	7,660	mg/L
	Manganeso	0,0004	---	0,3476	mg/L
	Molibdeno	0,0018	---	< 0,0018	mg/L
	Níquel	0,0015	---	< 0,0015	mg/L
	Plata	0,0014	---	< 0,0014	mg/L
	Plomo	0,0004	---	0,010	mg/L
	Potasio	0,0463	---	2,529	mg/L
	Selenio	0,001	---	< 0,001	mg/L
	Silicio	0,0051	---	5,211	mg/L
	Sodio	0,0074	---	11,40	mg/L
	Talio	0,0002	---	< 0,0002	mg/L
	Titanio	0,0021	---	< 0,0021	mg/L
	Uranio (*)	0,007	---	< 0,007	mg/L
	Vanadio	0,0005	---	< 0,0005	mg/L
	Zinc	0,0009	---	1,948	mg/L
EPA 245.1 Rev.3 (1994) (*)	Mercurio total (Hg)	0,0001	---	< 0,0001	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C. Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947145233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1704055

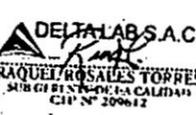
Ensayo: Descripción del Método de Referencia:
EPA Method 200.7; Rev. 4A., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by
Metales Totales por ICP-AES: Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr,
Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sh, Se, Si, Sn, Sr, Tl, Ti, U, V and Zn)
Mercurio: EPA Method 245.1; Rev.3, 1994. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption
spectrometry

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno para ensayos fisicoquímicos.
- Las muestras se mantendrán por un período de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (*) Los Métodos indicados han sido acreditados por el INACAL-DA, para el Laboratorio Subcontratado.
- (?) Los Métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA, para el Laboratorio Subcontratado.
- La toma de muestras no ha sido acreditado por el INACAL-DA.



DELTA LAB S.A.C.
VILDER
JEFE DE LABORATORIO



DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL ROSALES TORRES
SUB GERENTE DE CALIDAD
CIP N° 209642

Lima, 22 de Noviembre del 2017.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Ll. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced : Ate - Lima 03 - PERÚ
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1704055

Cliente Domicilio legal Producto Referencia del cliente Procedencia de las muestras Referencia del plan de muestreo Procedimiento de muestreo Fecha de recepción de las muestras	: FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO : Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao. : Agua Natural : No Indica : Muestreado por el cliente indicando lugar de muestreo: A 5m. Aguas abajo del puente : Tamborque I. San Mateo de Huacapor - Huacochiri - Lima. : No Aplica. : No Aplica. : 2017/11/22
---	--

DATOS DE LA ESTACIÓN DE MUESTREO				
Estación	Hora	COORDENADAS		
		ESTE	NORTE	ALTITUD
MSII-01	13:00	80357407.46	8697009.47	—

Nota:

- Fecha de medición: 2017/11/12
- Datos proporcionados por el cliente.


DELTA LAB S.A.C.
RAQUEL RONALD TORRES
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD
 CIP N° 209012

Lima, 22 de Noviembre del 2017.



Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefavo: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO 3. INFORME DE ENSAYO N° 2693-2698/2017



Análisis químico de minerales, concentrados,
aleaciones, agua, aire.
Control ambiental
Fabricación y venta de reactivos químicos

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitante : UNAC
Tipo de Muestra : SOLUCIÓN
Procedencia : FIARN - UNAC
Fecha de Recepción : 27 de noviembre del 2017
Referencia : H&F 2693-2698/2017

Denominación de muestra:	RESULTADOS DE ANÁLISIS	
	As	mg/L
As 00		6.54
As 01		6.91
As 02		7.35

H&F LABORATORIOS S.A.C.

H&F LABORATORIOS SAC
SERVICIOS ANALITICOS

ALBINO HUAYTALLA H.
GERENTE GENERAL

Lima, 27 de noviembre del 2017

ANEXO 4. INFORME DE ENSAYO N° 1802070



Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1802070

Cliente: : FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Domicilio legal: : Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao.
Producto: : Agua de Proceso.
Referencia del cliente: : No Indica.
Procedencia de las muestras: : Muestreado por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio FIARN - UNAC, Bellavista - Callao - Callao.
Referencia del plan de muestreo: : No Aplica.
Procedimiento de muestreo: : No Aplica.
Fecha de recepción de las muestras: : 2018/02/22
Fecha de inicio del ensayo: : 2018/02/22
Fecha de término del ensayo: : 2018/02/28

Método de Referencia:		Ensayo: Analítico		Fecha de Muestreo: 2018/02/22		
APHA 3114 B,C				Tipo de muestra: Agua de Proceso		
Código de Laboratorio	Hora de Muestreo	Etiquetas de Muestra	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
1802070-1	18:00	M-AS-01	0,001	0,003	9,877	mg/L
1802070-2	18:00	M-AS-02	0,001	0,003	5,332	mg/L
1802070-3	18:00	M-AS-03	0,001	0,003	8,641	mg/L
1802070-4	18:00	M-AS-04	0,001	0,003	8,696	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:
Analítico: SMOEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 3114 B y C, 23rd Ed. 2017. Arsenic and Selenium by Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometry; Continuous Hydride Generation

- Notas:**
- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
 - Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
 - Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el Informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
 - Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo"
 - Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 - Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
 - El Informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
 - La toma de muestra no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Lima, 28 de Febrero del 2018.



Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO 5. INFORME DE ENSAYO N° 1803027



Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1803027

Cliente : FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Domicilio legal : Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao.
Producto : Agua de Proceso.
Referencia del cliente : No Indica.
Procedencia de las muestras : Muestreado por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio FIARN - UNAC, Bellavista - Callao - Callao.
Referencia del plan de muestreo : No Aplica.
Procedimiento de muestreo : No Aplica.
Fecha de recepción de las muestras : 2018/03/07
Fecha de inicio del ensayo : 2018/03/07
Fecha de término del ensayo : 2018/03/09

Método de Referencia:		Ensayo: Arsénico		Fecha de Muestreo: 2018/03/06		
APHA 3114 B.C				Tipo de muestra: Agua de Proceso		
Código de Laboratorio	Hora de Muestreo	Etiqueta de Muestra	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
1803027-1	11:00	M1-AS-00	0,001	0,003	9,798	mg/L
1803027-2	11:05	M1-AS-01	0,001	0,003	3,832	mg/L
1803027-3	11:15	M1-AS-02	0,001	0,003	2,548	mg/L
1803027-4	11:30	M1-AS-03	0,001	0,003	1,578	mg/L
1803027-5	14:00	M1-AS-04	0,001	0,003	0,342	mg/L
1803027-6	17:00	M1-AS-05	0,001	0,003	8,133	mg/L
1803027-7	19:00	M1-AS-06	0,001	0,003	8,188	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:
Arsénico: SMEW/W - APHA-AWWA-WEF Part. 3114 B y C, 23rd Ed. 2017. Arsenic and Selenium by Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometry; Continuous Hydride Generation

- Notas:**
- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
 - Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
 - Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
 - Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo".
 - Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 - Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
 - El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
 - La toma de muestra no ha sido acreditado por el INACAL-DA.



Lima, 09 de Marzo del 2018.

Este informe no podrá ser reproducido total y parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C. Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO 8. INFORME DE ENSAYO N° 1803074



Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1803074

Cliente: FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Domicilio legal: Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao.
Producto: Agua de Proceso.
Referencia del cliente: No aplica.
Procedencia de las muestras: Muestreado por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio FIARN - UNAC, Bellavista - Callao - Callao.
Referencia del plan de muestreo: No aplica.
Procedimiento de muestreo: No aplica.
Fecha de recepción de las muestras: 2018/03/20
Fecha de inicio del ensayo: 2018/03/20
Fecha de término del ensayo: 2018/03/23

Método de Referencia:		Ensayo:	Fecha de Muestreo:			
APHA 3114 B.C		Arsénico	2018/03/19			
			Tipo de muestra: Agua de Proceso			
Código de Laboratorio	Hora de Muestras	Etiqueta de Muestra	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
1803074-1	18:00	M4-AS-00	0,001	0,003	9,902	mg/L
1803074-2	18:00	M4-AS-01	0,001	0,003	6,035	mg/L
1803074-3	18:00	M4-AS-02	0,001	0,003	6,017	mg/L
1803074-4	18:00	M4-AS-03	0,001	0,003	6,017	mg/L
1803074-5	18:00	M4-AS-04	0,001	0,003	6,017	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Arsénico: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 3114 B y C, 23rd Ed. 2017. Arsenic and Selenium by Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometry; Continuous Hydride Generation

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- La toma de muestra no ha sido acreditado por el INACAL-DA.



Lima, 23 de Marzo del 2018.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO 9. INFORME DE ENSAYO N° 1803080



Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1803080

Cliente : FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
Domicilio legal : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Producto : Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao.
Referencia del cliente : Agua de Proceso.
Procedencia de las muestras : No aplica.
Referencia del plan de muestreo : Muestreado por el cliente indicando lugar de muestreo: Laboratorio FIARN - UNAC, Bellavista - Callao - Callao.
Procedimiento de muestreo : No aplica.
Fecha de recepción de las muestras : 2018/03/22
Fecha de inicio del ensayo : 2018/03/22
Fecha de término del ensayo : 2018/03/26

Código de Laboratorio	Hora de Muestreo	Etiqueta de Muestra	Límite de Detección del Método	Límite de Certificación del Método	Resultado	Unidad
1803080-1	11:00	PL-SMH-00	0,001	0,003	0,015	mg/L
1803080-2	19:00	PL-SMH-01	0,001	0,003	< 0,001	mg/L
1803080-3	19:00	PL-SMH-02	0,001	0,003	< 0,001	mg/L
1803080-4	19:00	PL-SMH-03	0,001	0,003	< 0,001	mg/L
1803080-5	19:00	PL-SMH-04	0,001	0,003	< 0,001	mg/L
1803080-6	19:00	PL-SMH-05	0,001	0,003	< 0,001	mg/L
1803080-7	19:00	PL-SMH-06	0,001	0,003	< 0,001	mg/L

Método de Referencia: APHA 3114 B,C
Ensayo: Arsenico
Fecha de Muestreo: 2018/03/21
Tipo de muestra: Agua de Proceso

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:
 SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 3114 B y C, 23rd Ed. 2017, Arsenic and Selenium by Hydride Generation / Atomic Absorption Spectrometry; Continuous Hydride Generation

- Notas:**
- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
 - Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
 - Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
 - Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo"
 - Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 - Resultados por debajo del límite de certificación del método son referenciales.
 - El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
 - La toma de muestra no ha sido acreditado por el INACAL-DA.



Lima, 26 de Marzo del 2018.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO 13. CERTIFICADO DE CALIBRACION ESPECTROFOTOMETRO



MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y VERIFICACIÓN OPERACIONAL

Bellavista, Lunes 04 de Diciembre del 2017

ST2017-428

Señores:
DELTALAB

Presento.-
Att: Ing. Wilder Condori C.

Equipamiento Instalado:	Modelo	Numero de serie
Espectrofotómetro AA	ICE 3300	AA01142907
Software de Control SOLAAR	Versión 11.03	

- I.- Acciones Generales:**
- 1.- Verificación del voltaje de entrada al equipo:
- | | | |
|------------------------------|--------|-------------------------------------|
| línea- neutro (220v +/- 10%) | 219V | <input checked="" type="checkbox"/> |
| línea -tierra (220v +/- 10%) | 218.5V | <input checked="" type="checkbox"/> |
| neutro-tierra (entre 0 a 1v) | 212mV | <input checked="" type="checkbox"/> |
- 2.- El equipo utiliza:
- | | | |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Estabilizador | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| UPS | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
- 3.- Verificación de las condiciones Ambientales en el área de trabajo:
- | | | |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Temperatura (entre 5 y 40 °C) | 23°C (< 2 °C/ hora) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Humedad (entre 20 y 80%) | 55% | <input checked="" type="checkbox"/> |
- 4.- Sistema de extracción operativo.
- 5.- Suministros de gases en buenas condiciones:
- | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Compresor de aire (presión de salida de 30 psi) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Balón de Acetileno (presión de salida de 9 psi) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Balón de Oxido Nitroso (presión de salida de 40 psi) | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

OK

Observaciones:

Lavar periódicamente el spray chamber, así se verificara el estado de los componentes internos del mismo.



II.- Acciones de Mantenimiento Preventivo del Equipo:

- 1.- Se enciende el equipo para verificar el self-test de inicialización, encendido de la flama y comunicación entre el equipo y la estación de trabajo.
- 2.- Se apaga el equipo y se procede a realizar las acciones de mantenimiento.
- 3.- Se realiza los test de fugas a las líneas de gases de aire y acetileno.
- 4.- Se desensambla las cubiertas del equipo y se realiza una limpieza interna.
- 5.- Se verifica el estado de las partes de la óptica interna del equipo.
- 6.- Se verifica los voltajes de salida de la tarjeta de la fuente de poder.
- 7.- Se retira y se realiza la limpieza del quemador.
- 8.- Se desensambla el Spray Chamber y se realiza una limpieza interna.
- 9.- Se limpia el nebulizador.
- 10.- Se rearma el equipo y se realiza una limpieza externa del equipo.
- 11.- Se enciende el equipo y se verifica que realice su self-test de inicialización.
- 12.- Se verifica y alinea la lámpara de deuterio del equipo.
- 13.- Se optimiza la altura y posición del quemador y flujo de gas.



Observaciones:

Se recomienda proteger el compresor de aire de polvo y de las condiciones ambientales.

III.- Acciones de la Verificación Operacional y Validación del equipo:

Se procede a realizar una calibración óptica y electrónica del equipo utilizando una lámpara de Ca/Mg y Ni/Cr/Mn.

1.- Se procede a realizar el OQ Test (Operación Qualification Test):

- Test de fugas de gases.
- Test de exactitud de ubicación de longitud de onda.
- Test de estabilidad fotométrica.
- Test de exactitud precisión fotométrica.

**2.- Se procede a realizar el PQ1 Test
(Performance Qualification Test for Acetylene/Air Flame)**

Configuración de método:

- Tiempo de Análisis : 4 seg.
- Longitud de onda : 232.0 nm
- Ancho de banda (slit) : 0.2 nm
- Lámpara de deuterio : ON
- Repeticiones : 10
- Flujo de acetileno : Por software

El PQ1 Test se realiza utilizando un estándar de Ni de 10 ppm usando estándares certificados y blanco (agua de calidad).





**Reactivos para
Análisis S.A.C.**

Observaciones:

Verificar las presiones de los gases antes del uso del sistema a flama.
Dejar calentar la lámpara de cátodo hueco por un periodo de 10 min. Antes de su uso.

Resultados del PQ1 Test según especificaciones técnica de fábrica:

- 1.- Verificación de la absorbancia mínima.
- 2.- Factor de sensibilidad analítica
- 3.- Precisión analítica
- 4.- Absorbancia del blanco.
- 5.- Recuperación del analito.

Nota:

Se adjuntan hojas de resultados de test de verificación operacional del equipo.

- 3.- Se procede a realizar el PQ2 Test
(Performance Qualification Test for Acetylene/Nitrous Oxide Flame)
Se realiza con estándar de Cromo de 3 ppm usando estándares certificados y blanco (segua de calidad).

Configuración de método:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| - Tiempo de Análisis: | 4 seg. |
| - Longitud de onda: | 357.9 nm |
| - Ancho de banda (slit): | 0.5 nm |
| - Lámpara de deuterio: | OFF |
| - Repeticiones: | 10 |
| - Flujo de acetileno: | Por software |

Resultados del PQ2 Test según especificaciones técnicas de fábrica:

- 1.- Verificación de la absorbancia mínima.
- 2.- Factor de sensibilidad analítica.
- 3.- Precisión analítica.

Nota:

Se adjuntan hojas de resultados de test de verificación operacional del equipo.



**Reactivos para
Análisis S.A.C.**

IV - Conclusión:

Instrumento operativo y validado.

V.- Observaciones y/o recomendaciones:

Ing. de Servicio: Alejandro Villarreal Landauro.

Responsable: Ing. Wilder Condori C.

Reactivos para Análisis SAC

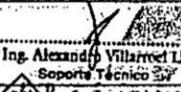
Ing. Alejandro Villarreal L.
Soporte Técnico
Reactivos Para Análisis S.A.C.

Detenido



**Reactivos para
Análisis S.A.C.**

HOJA DEL OQ TEST DEL SISTEMA ICE 3300							
Detalles del Cliente							
Cliente	DELTA LAB						
Fecha	05 de Diciembre del 2017						
Detalles del Instrumento							
Modelo del Equipo	ICE 3300	No Serie	AA01142967				
Intelligent Qualification	CVU	No Serie	ISQ2083				
Horno de Grafito	NO APLICA	No Serie	NO APLICA				
Automuestreador de Horno	NO APLICA	No Serie	NO APLICA				
Lámparas de Cátodo Hueco							
Ca/Mg	No Serie	15101264					
Cr/Ni/Mn	No Serie	15302261					
Resultados de la Validación OQ: Se adjunta Resultados							
Test	Descripción				PASAFALLA	Incidencias del test	
OO1	Test de Exactitud de Longitud de Onda					Pasa	NA
	Longitud de Onda Nominal	Valor leído	Diferencia	Tolerancia			
	285.21 nm	285.16nm	0.05nm	± 0.1 nm			
	422.67 nm	422.66nm	0.01nm	± 0.1 nm			
OO2	Test Resolución Monocromador					Pasa	NA
	Anchura Pico a Pico Media		Lim. Inf	Lim. Sup			
	0.21 nm		0.17nm	0.23nm			
	Test de Exactitud Fotométrica (ABS)						
OO3	Filter No 0					Pasa	NA
	0	-0.0002	-0.0050	0.0050			
	Filter No 3	0.4399	0.4489	0.4249	0.4549		
	Filter No 4	0.9947	1.0025	0.9747	1.0147		
OO4	Filter No 6					Pasa	NA
	2.1804	2.1698	2.1204	2.2404			
	Test de Estabilidad Fotométrica						
	422.7 nm	Sup. Abs	Inf Abs	Abs Diferen	Max Diferen		
OO5	D2 Test Corrección Fondo					Pasa	NA
	Valor leído	Lim. Inf	Lim. Sup				
	-0.0044	-0.0100	0.0100				
	0.0013	-0.0050	0.0050				
OO6	Test Picos Lamp					Pasa	NA
OO7	Test Movimiento Selector Radiac.					Pasa	NA
OO8	Test de fuga de gases					Pasa	NA
Conclusión							
OO TEST DEL SISTEMA (PASAFALLA) <u>Pasa</u>							
Ingeniero de Servicio	Alexandro Villarreal Landauro				Firma	 Ing. Alexandro Villarreal L. Soporte Técnico Reactivos para Análisis S.A.C.	
Responsable (Cliente)	Wilder Condori C.				Firma		

HOJA DEL PQ1 TEST DEL SISTEMA				
Detalles del Cliente				
Cliente	DELTA LAB			
Fecha	03 de Diciembre del 2017			
Detalles del Instrumento				
Modelo del equipo	ICE 3300	No Serie	AA01142807	
Lámparas de cátodo hueco (Cr/Ni/Mn)		No Serie	15302261	
Detalles de la Muestra				
Estándar de validación de Ni	Lote	J2-NI02097		
Resultados de la validación PQ1				
Versión del Software de Control	PC	3.11.03	Local	NA
Blanco	Absorbancia [Abs]	-0.0004		
Estándar	Absorbancia [Abs]	0.5421	RSD (%)	0.24
Muestra 1	Absorbancia [Abs]	0.5422	RSD (%)	0.36
Test 1: Factor de Sensibilidad Analítica		0.0543	PASAFALLA	Pass
Test 2: Precisión Analítica	Std (%RSD)	0.24	PASAFALLA	Pass
	Mstra (%RSD)	0.36		
Test 3: Absorbancia del Blanco		-0.0004	PASAFALLA	Pass
Test 4: Recuperación del Análito		10.0016	PASAFALLA	Pass
Conclusión				
PQ1 TEST DEL SISTEMA (PASAFALLA)	Pass			
Ingeniero de Servicio	Alexandro Villarreal Landero	Firma	 Ing. Alexandro Villarreal Landero Soporte Técnico Reactivos para Análisis S.A.C.	
Responsable (Cliente)	Wilder Condori C.	Firma		



**Reactivos para
Análisis S.A.C.**

HOJA DEL PQ2 TEST DEL SISTEMA			
Detalles del Cliente			
Cliente	DELTA LAB		
Fecha	05 de Diciembre del 2017		
Detalles del Instrumento			
Modelo del equipo	ICE3300	No Serie	AA01142807
Lámparas de cátodo hueco (Cr/Ni/Mn)	Cr	No Serie	15302261
Detalles de la Muestra			
Estándar de validación de Cr	Lote		K2-CR03121
Resultados de la validación PQ2			
Versión del Software de Control	PC	11.03	1.3
Blanco	Absorbancia [Abs]	-0.0006	
Estándar	Absorbancia [Abs]	0.2193	RSD%STU 2.65
Test 1: Factor de Sensibilidad Analítica		0.0733	PAS/FALI Pasa
Test 2: Precisión Analítica	Std	-2.65	PAS/FALI Pasa
Conclusión			
PQ2 TEST DEL SISTEMA (PASA/FALLA)	PASA		
Ingeniero de Servicio	Alexandro Villarreal Landauro		Firma Ing. Alexandro Villarreal L. Soporte Técnico Reactivos Para Analisis S.A.C.
Responsable (Cliente)	Wilder Condoni C.		Firma



CERTIFICATE OF ANALYSIS

1.0 ACCREDITATION / REGISTRATION

INORGANIC VENTURES is accredited to ISO Guide 34, "General Requirements for the Competence of Reference Material Producers" and ISO/IEC 17025, "General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories". Inorganic Ventures is also an ISO 9001 registered manufacturer (SAI Global File Number 010105).

2.0 PRODUCT DESCRIPTION

Product Code: Single Analyte Atomic Absorption Solution
Catalog Number: AACR1
Lot Number: K2-CR03121
Matrix: 2% (v/v) HNO₃
Value / Analyte(s): 1 000 µg/mL ea:
Chromium-3

3.0 CERTIFIED VALUES AND UNCERTAINTIES

Certified Value: 1000 ± 10 µg/mL
Certified Density: 1.013 g/mL (measured at 20 ± 1 °C)

4.0 TRACEABILITY TO NIST

The concentration of this solution standard has been verified by Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP) and is traceable to NIST SRM 3112a

4.1 Thermometer Calibration

- All thermometers are NIST traceable through thermometers that are calibrated by an accredited calibration laboratory.

4.2 Balance Calibration

- All analytical balances are calibrated by an accredited calibration laboratory and procedure. The weights used for testing are annually compared to master weights and are traceable to NIST.

4.3 Glassware Calibration

- An in-house procedure is used to calibrate all Class A glassware used in the manufacturing and quality control of CRM/RMs.

5.0 TRACE METALLIC IMPURITIES (TMI) DETERMINED BY ICP-MS AND ICP-OES (µg/mL)

N/A

6.0 INTENDED USE

- For the calibration of analytical instruments and validation of analytical methods as appropriate.

7.0 INSTRUCTIONS FOR THE CORRECT USE OF THIS REFERENCE MATERIAL

7.1 Storage and Handling Recommendations

- Store between approximately 4° - 30° C while in sealed TCT bag.

- While stored in the sealed TCT bag, transpiration of this CRM/RM is negligible. After opening the sealed TCT bag transpiration of the CRM/RM will occur, resulting in a gradual increase in the analyte concentration(s). It is the responsibility of the user to account for this effect. When the bottle is weighed both before and after being placed in storage, the mass difference observed will be a measure of transpiration mass loss.

- After opening the sealed TCT bag keep cap tightly sealed when not in use. Store and use at 20° ± 4° C. Do not pipette from the container. Do not return removed aliquots to container.

- For more information, visit www.inorganicventures.com/TCT

Atomic Weight; Valence; Coordination Number; Chemical Form in Solution - $52.00 \pm 3.6 \text{ Cr}(H_2O)_6^{3+}$
Chemical Compatibility - Stable in HCl, HNO₃, H₂SO₄, HF, H₃PO₄. Avoid basic media. Stable with most metals and inorganic anions in acidic media.

Stability - 2-100 ppb levels stable for months in 1% HNO₃ / LDPE container. 1-10,000 ppm solutions chemically stable for years in 1-5% HNO₃ / LDPE container.

Cr3 Containing Samples (Preparation and Solution) - Metal (soluble in HCl). Oxides/Ores (Chromite and chromates) are very difficult to dissolve. The following procedures [A-D] are commonly used: A. Fusion with KHSO₄ and extraction with hot KCl. The residue fused with Na₂CO₃ and KClO₃, 3:1. B. Fusion with NaHSO₄ and NaF 2:1. C. Fusion with magnesite or lime and sodium or potassium carbonates, 4:1. D. Fusion with Na₂O₂ or NaOH and KNO₃ or NaOH and Na₂O₂. Nickel, iron, copper, or other crucibles should be used for D. Platinum may be used for A, B, C). Organic Matrices (ash at 450°C followed by one of the fusion methods above or sulfuric/hydrogen peroxide acid digestions may be applicable to non oxide containing samples).

Atomic Spectroscopic Information (ICP-OES D.L.s are given as relative view):

Technique/Line	Estimated D.L.	Order	Interferences (underlined indicates severe)
ICP-MS 52 amu	40 ppt	N/A	36S16O, 38Ar16O - The 50Cr, 53Cr, 54Cr lines suffer from many more potential interferences from sulfur, chlorine and argon compounds of oxygen, nitrogen and carbon.
ICP-OES 205.552 nm	0.008/0.0008 µg/mL	1	Os
ICP-OES 278.654 nm	0.01/0.001 µg/mL	1	Cu, Ta, V
ICP-OES 284.325 nm	0.008/0.0007 µg/mL	1	

8.0 HAZARDOUS INFORMATION

- Please refer to the Safety Data Sheet for information regarding this CRM/RM.

9.0 HOMOGENEITY

- This solution was mixed according to an in-house procedure and is guaranteed to be homogeneous. Homogeneity data indicate that the end user should take a minimum sample size of 0.2 mL to assure homogeneity.

10.0 QUALITY STANDARD DOCUMENTATION

10.1 10CFR50 Appendix B - Nuclear Regulatory Commission

- Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities

10.2 10CFR21 - Nuclear Regulatory Commission

- Reporting defects and Non-Compliance

10.3 ISO 9001 Quality Management System Registration

- SAI Global File Number 010105

11.0 CERTIFICATION, LOT EXPIRATION AND PERIOD OF VALIDITY

11.1 Certification Issue Date

March 24, 2016

- The certification is valid within the measurement uncertainty specified provided the CRM/RM is stored and handled in accordance with instructions given in Sec 7.1. This certification is nullified if instructions in Sec 7.1 are not followed or if the CRM/RM is damaged, contaminated, or otherwise modified.

11.2 Lot Expiration Date

- March 24, 2020

- The date after which this CRM/RM should not be used.

- The lot expiration date reflects the period of time that the stability of a CRM/RM can be supported by long term stability studies conducted on properly stored and handled CRM/RMs. Lot expiration is limited primarily by transpiration (loss of water from the solution) and infrequently by chemical stability.

11.3 Period of Validity

- Sealed TCT Bag Open Date: _____

- This CRM/RM should not be used longer than one year from the date of removal from the sterilized bag or after the date given in Sec. 11.2, whichever comes first. This is contingent upon the CRM/RM being handled and stored in accordance with the instructions given in Sec 7.1.

12.0 NAMES AND SIGNATURES OF CERTIFYING OFFICERS

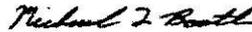
Certificate Prepared By:

James King Jr
Product Documentation Supervisor



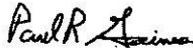
Certificate Approved By:

Michael Booth
QC Supervisor



Certifying Officer:

Paul Gaines
PhD., Senior Technical Director



CERTIFICATE OF CALIBRATION

Issued by **TIHERMO FISHER SCIENTIFIC**
 Date of issue **27 May 2017**

PAGE 1 OF 1 PAGE
 APPROVED SIGNATORY



Thermo Fisher Scientific
 771-G, No.211, Qin Chao Road,
 Jinglan Export Processing Zone,
 Pudong, Shanghai 201206, P.R.China
 Tel: +86 21 6260 4688
 Fax: +86 21 6260 4689

For all enquires and recalibration contact your local
 Thermo Fisher Scientific sales office (www.thermo.com)

Calibration Validation Certificate 9423 VAI, 00004
 Serial Number ISQ2055

Order Number 181516100
 Date of receipt 27/05/2017
 Calibration date 27/05/2017

Customer Address

NEW TRANSPORT USA
 PILAR HURTADO
 TEL: 305 992 4304
 NW 20TH TERRACE 10435
 MIAMI-DADE

Calibration Conditions

Ambient temperature $25 \pm 1.0^\circ\text{C}$
 Beam perpendicular to filter ± 1 Deg

Wavelength Accuracy $\pm 0.3\text{nm}$
 Wavelength Reproducibility $\pm 0.1\text{nm}$

Absorbance Calibration Method & Values

The filters were calibrated for absorbance (optical density) values at 422.7nm, using a spectral bandwidth of 1nm against a NPL calibrated filters of similar value. The measurements apply for a Calibrated Validation Unit installed in a Thermo Fisher Scientific SOLAAR Atomic Absorption Instrument. The relative absorbance is the value of the filter after the value of the zero filter has been subtracted from it. The value, together with the assigned uncertainties, were found to be:

Filter value	Relative Absorbance	Measured Absorbance	Uncertainty of Measurement
0.0 A	0.0000	0.0552	0.0009
0.5 A	0.4399	0.5281	0.0014
1.0 A	0.9947	1.0529	0.0021
2.0 A	2.1804	2.1686	0.0033

Measured by Ma Shi Wang
 (initials) 2017.5.27

Wenjuan 2017.5.27
 APPROVED SIGNATORY



**Reactivos para
Análisis S.A.C.**

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN OPERACIONAL

Declaración obtenida del resultado de la verificación operacional del Espectrofotómetro de Absorción Atómica Solaar ICE 3300 de Thermo Scientific (antes Thermo Electrón).

Cliente: DELTALAB S.A.C
Dirección: Av. Carretera Central Km. 9.2 Sta. Clara.
Dirigido a: Ing. Wilder Condon Castro.

Equipamiento Instalado:

	Modelo	Número de serie
Espectrofotómetro AA	ICE 3300	AA01142907
Software de Control Solaar	Versión	11.03

La Verificación Operacional del espectrofotómetro AA Solaar ICE 3300 Thermo Scientific fue superada satisfactoriamente.

Se concluye entonces que el Espectrofotómetro AA Solaar ICE 3300 de Thermo Scientific cumple con las especificaciones técnicas de fabricante.

Fecha de la Verificación Operacional: Diciembre 04 del 2017

Próxima Validación (o después de una reparación mayor): Diciembre 2018

REACTIVOS PARA ANALISIS SAC



RESPONSABLE

Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA la presente constancia de Renovación de la Acreditación a:

DELTA LAB S.A.C.

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025.2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

Sede Acreditada: Av. Nicolás Ayllón (Carretera Central Km 9.3), S/N. Mz. A Lote 06 Asoc. Nuestra Señora de la Merced, distrito de Ate, provincia de Lima y departamento de Lima

Fecha de Renovación: 26 de febrero de 2017
Fecha de Vencimiento: 26 de febrero de 2021

Registro N° LE-077
Fecha de emisión: 02 de mayo de 2017
DA-acr-01P-02M Ver. 01



Jeanne Hidalgo Murrieta
Directora
Dirección de Acreditación

ANEXO 14. CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN DE DELTA LAB S.A.C.
ANTE INACAL