



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUAS NATURALES POR
PROCESO DE OXIDACIÓN CON HIERRO Y RADIACIÓN SOLAR
DEL SECTOR RURAL CARACOTO PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CRISH LUCERO COAQUIRA JIHUALLANCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada:

A Dios, por darme fortaleza cada día de mi vida donde hubo fracasos, tristezas y llantos pude ser capaz de levantarme y seguir adelante.

A mi familia, mis padres Percy y Elsa que resguardan siempre mis pasos por el sendero del bien con su ejemplo para tener éxito en la vida y a mi hermano Jhosep que sé que sigue mis pasos y tengo fe de que será una persona dichosa.

A mis familiares, tios, primos, abuelos y en especial a mi abuelita Victoria que desde que se fue dejó un vacío en mi corazón ya que ella fue una parte vital en mi formación académica, sin embargo, sé que ella me guiará desde el cielo, la quiero mucho.

A mis amigos de facultad en especial a Zulma y Vicky que estuvieron conmigo en cada situación que me pasaba entre risas y llantos tengo gratos recuerdos en mi memoria las quiero mucho y saben que pueden contar siempre conmigo.

A mi facultad de Ingeniería Química junto con todos los docentes que me enseñaron para forjarme y dejar huellas en mi camino profesional.

Lucero Coaquira



AGRADECIMIENTOS

Agradezco en especial a mis padres porque me inculcaron que la educación es la base para poder salir adelante, apoyarme e impulsarme a ser cada día mejor.

A mis padrinos, en especial a mi padrino Lucho Galindo por apoyarme en mis épocas universitarias brindándome el calor de su hogar mientras estudiaba en la ciudad de Puno y que ahora resguarda mis pasos desde el cielo.

A mi querida Universidad Nacional del Altiplano del cual me siento orgullosa por cobijarme durante 5 años en las aulas de la Facultad de Ingeniería Química donde fui formada como profesional para servir al pueblo con los conocimientos adquiridos.

Agradezco a mi asesor de tesis Dr. Norberto Miranda Zea por apoyarme hasta la culminación de mi proyecto de tesis así mismo al director de tesis Dr. Roger Huanqui Perez, a los ingenieros M.sc. Janette Rosario Ramos Pineda y M.sc. Rene Justo Quispe Flores por haberme dado las pautas y conocimientos necesarios para la realización de este trabajo de investigación.

A mis amistades y ahora colegas que me ayudaron a seguir adelante y culminar con éxito mi carrera profesional con el fin de servir a la sociedad.

Lucero Coaquira.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 11

ABSTRACT 12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 13

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.2.1. Problema General. 14

1.2.2. Problema Específico. 15

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 15

1.3.1. Hipótesis General 15

1.3.2. Hipótesis Específicas..... 15

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 15

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

1.5.1. Objetivo General 17



1.5.2. Objetivos Específicos 17

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO	18
2.1.1. Metales Pesados.....	18
2.1.2. Propiedades Químicas del Arsénico	18
2.1.3. Procesos de Remoción de Arsénico	19
2.1.4. Aplicaciones de Tratamiento con Fotocatálisis Heterogénea.....	27
2.1.5. Cinética de Oxidación del Hierro.....	30
2.1.6. Ley de Beer.....	32
2.1.7. Absorbancia.....	33
2.1.8. Transmitancia.....	34
2.2. MARCO CONCEPTUAL	35
2.2.1. Agua Natural	35
2.2.2. Agua Subterránea	36
2.2.3. Arsénico.....	36
2.2.4. Arsénico en Aguas Subterráneas.....	36
2.2.5. Química del Arsénico en Soluciones Acuosas	38
2.2.6. Radiación Solar	39
2.2.7. Radiación Ultra Violeta.....	40



2.3. ANTECEDENTES 40

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO..... 46

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO. 46

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO..... 47

3.3.1. Recolección de Muestras de Aguas Naturales..... 47

3.3.2. Análisis de Laboratorio. 48

3.3.3. Materiales De Laboratorio..... 48

3.3.4. Equipos de Laboratorio 49

3.3.5. Insumos..... 49

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO 50

3.4.1. Diseño de la Investigación..... 50

3.4.2. Caracterización Inicial de Aguas Naturales Subterráneas..... 50

3.4.3. Desarrollo del Proceso de Remoción de Arsénico por Oxidación
con Hierro y Radiación Solar 51

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO 52

3.5.1. Modelo Matemático para la Investigación 52

3.5.2. Diseño Factorial Experimental 53

3.5.3. Rendimiento de Porcentaje de Absorbancia..... 54



3.6. PROCEDIMIENTO.....	54
3.6.1. Determinación de cantidades óptimas para pruebas experimentales	54
3.6.2. Pruebas Experimentales.....	55
3.6.3. Diagrama de Flujo:Remoción de Arsénico Aguas Naturales De Pozos.....	57
3.7. VARIABLES	59
3.7.1. Determinación de Tiempo Óptimo para remoción de Arsénico (As).....	59
3.7.2. Determinación de Hierro Óptimo para remoción de Arsénico (As).....	60
3.7.3. Determinación de pH óptimo para remoción de Arsénico (As).....	60
3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	61
3.8.1. Análisis físico-químico del agua natural de pozos subterráneos con contenido Arsénico procedentes del distrito de Caracoto.....	61

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TIEMPO ÓPTIMO.....	62
4.1.1. Análisis de Varianza Para Tiempo Óptimo de Remoción de Arsénico.....	63
4.1.2. Superficie de Respuesta.....	64



4.2. RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO ÓPTIMO.....	65
4.2.1. Análisis de Varianza Para Concentración de Hierro	67
4.2.2. Superficie de Respuesta.....	67
4.3. RESULTADOS DE PH ÓPTIMO	68
4.3.1. Análisis De Varianza Para pH.....	70
4.3.2. Superficie de Respuesta.....	72
4.4. RESULTADOS DE EXPERIMENTACIONES REACTOR DE FOTOCATÁLISIS SOLAR.....	72
4.4.1. Experimentación N° 1 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.....	73
4.4.2. Experimentación N°2 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.....	74
4.4.3. Experimentación N°3 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.....	75
4.4.4. Experimentación N°4 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.....	76
4.4.5. Experimentación N°5 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.....	77
4.4.6. Experimentación N°6 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.....	78
4.5. RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	79
4.5.1. Tratamiento Estadístico y Análisis de Varianza.....	80
4.5.2. Estimación Del Modelo Matemático.....	80
4.5.3. Respuestas de Optimización.....	81
4.5.4. Diagrama de Pareto	82



4.5.5. Superficie de Respuesta.....	83
4.6. RESULTADOS REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL DISTRITO DE CARACOTO.....	83
4.7. DISCUSIÓN.....	84
V. CONCLUSIONES	86
VI. RECOMENDACIONES	87
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	88
ANEXOS.....	92

Área : TECNOLOGIAS AMBIENTALES Y RECURSOS NATURALES
Tema : TRATAMIENTO DE AGUAS NATURALES

Fecha de Sustentación: 13 de enero del 2020.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curvas de dependencia de As en óxidos de Fe, en función del pH (Lillo, 2003) .	24
Figura 2: Ubicación geográfica del distrito de Caracoto (Fuente: web).....	46
Figura 3: Mapa satelital del distrito de Caracoto (Fuente: Google Maps).....	47
Figura 4: Muestras de hierro metálico en dilución	55
Figura 5: Diagrama de flujo: Proceso de oxidación avanzada para remoción de arsénico... 57	
Figura 6: Equipo para proceso de oxidación avanzada (POA)-fotocatálisis solar.	58
Figura 7: Porcentaje de remoción de Arsénico en función al tiempo.....	63
Figura 8: Grafico de porcentaje de absorbancia y remoción de Arsénico.	63
Figura 9: Superficie de respuesta estimada para tiempo óptimo.	64
Figura 10: Porcentaje de remoción de As en función al hierro óptimo.	66
Figura 11: Grafico de porcentaje de absorbancia y remoción de Arsénico.	66
Figura 12. Superficie de respuesta estimada para hierro óptimo.	67
Figura 13: Porcentaje de remoción de As en función al pH óptimo.....	69
Figura 14. Gráfico de porcentaje de absorbancia y remoción de Arsénico.	69
Figura 15: Diagrama entre medias y nivel de confianza.	71
Figura 16: Superficie de respuesta estimada para NaClO óptimo.	72
Figura 17: Diagrama de pareto estandarizado para remoción de arsénico.	82
Figura 18: Efectos principales para remoción de arsénico.	82
Figura 19: Contornos de la superficie de la respuesta estimada.	83



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores límite de las aguas para el metal Arsénico.....	51
Tabla 2: Cantidades de Insumos para Experimentación para fotocátalisis solar.....	59
Tabla 3: Reactivos Químicos para determinar el Tiempo Optimo.....	59
Tabla 4: Reactivos Químicos para Determinar la Cantidad óptimo de hierro.....	60
Tabla 5. Reactivos Químicos para Determinar la Cantidad Optimo de Hipoclorito de Sodio.....	60
Tabla 6: Análisis fisicoquímico de muestras de agua natural de pozos subterráneos del Distrito de Caracoto	61
Tabla 7: Variables con Cantidades optimas de insumos.....	61
Tabla 8: Pruebas experimentales con variable Tiempo.....	62
Tabla 9: Análisis de varianza para tiempo óptimo	64
Tabla 10: Pruebas experimentales con variable de hierro	65
Tabla 11. Análisis de varianza para Oxidante Hierro Óptimo.....	67
Tabla 12: Pruebas experimentales para obtener pH óptimo.....	68
Tabla 13: Análisis de varianza para pH óptimo.....	70
Tabla 14. Tabla de pruebas múltiples para rangos de pH.....	70
Tabla 15: Comparación múltiple para la media significativa.....	71
Tabla 16: Resultados insitu de experimentación N°1	73
Tabla 17. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°1.....	73
Tabla 18: Resultados insitu de experimentación N°2.....	74
Tabla 19: Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°2.....	74
Tabla 20. Resultados insitu de experimentación N°3	75



Tabla 21: Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°3.....	76
Tabla 22. Resultados insitu de experimentación N°4.....	76
Tabla 23. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°4.....	77
Tabla 24: Resultados insitu de experimentación N°5.....	77
Tabla 25. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°5.....	78
Tabla 26. Resultados insitu de experimentación N°6.....	78
Tabla 27. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°6.....	79
Tabla 28: Matriz de diseño experimental.	79
Tabla 29: Efectos significativos del valor de las Variables.	80
Tabla 30. Coeficientes estimados por STATGRAPHICS	81
Tabla 31: Optimización-respuesta de remoción de arsénico.	81
Tabla 32: Cantidades óptimas de remoción de arsénico en agua natural de pozos subterráneos	83
Tabla 33: Resultados de remoción de arsénico en la ciudad Caracoto.....	84



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

As	: Arsénico
As (III)	: Arsenito
As (V)	: Arsenato
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
EPA	: Environmental Protection Agency- Agencia de Protección Ambiental
Fe	: Hierro
ICP OES	: Espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente
LMP	: Límite Máximo Permisible.
NaClO	: Hipoclorito de Sodio.
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
pH	: Potencial de hidrogeno
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
UV	: Ultravioleta
VMA	: Valores Máximos Admisibles



RESUMEN

Se caracterizaron aguas naturales de pozos subterráneos de dos puntos de muestreo, provenientes del distrito de Caracoto Provincia de San Román-Puno, con el objetivo de remover arsénico (As); la muestra M-I corresponde a la zona urbana, con contenido de As, de 0.1803 mg/L y la muestra M-II del sector Rural con contenido de 0.1524 mg/L de As; estas concentraciones exceden a los límites máximos permisibles de 0.010 mg/L de As, del D.S. 004-2017 MINAM. El estudio de la remoción del As, se realizó en el laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno. La remoción de arsénico del agua se realizó en el equipo de Oxidación Avanzada por radiación solar; se oxidó las muestras de agua con concentraciones óptimas de 1,7 g/L de sulfato de hierro, con 6,6 mL/L de hipoclorito de sodio del 7%, para un tiempo de adsorción óptimo de radiación solar de 180 minutos, en flujo continuo de recirculación de 75 L de agua; obteniéndose para muestra: M-I, una remoción de arsénico del 94.95% a pH óptimo de 7,67 y para la M-II, con una remoción de arsénico del 90.85% a pH óptimo de 7.70, el estudio se desarrolló con una categoría de exposición de índice de radiación solar de 8 a 12.5; del reporte diario del SENAMHI-Puno.

PALABRAS CLAVES:

Arsénico, Hierro metálico, Oxidación, Radiación solar, Remoción



ABSTRACT

Natural waters from underground wells from two sampling points were characterized, coming from the district of Caracoto Province of San Roman-Puno; with the objective of removing arsenic (As); sample M-I. corresponds to the urban area, with As content of 0.1803 mg / L and the sample M-II of the Rural sector with content of 0.1524 mg / L of As; These concentrations exceed the maximum permissible limits of 0.010 mg / L of As, of the S.D. 004-2017 MINAM. The research of the removal of As was made in the Water Technology laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the UNA-Puno. The removal of arsenic from the water was performed in the Advanced Oxidation equipment by solar radiation; The water samples were oxidized with optimal concentrations of 1.7 g / L of iron sulfate, with 6.6 mL / L of 7% sodium hypochlorite, for an optimal time adsorption of solar radiation of 180 minutes, in continuous flow of recirculation of 75 L of water; obtaining for sample: M-I, a removal of arsenic of 94.95% at optimum pH of 7.67 and for M-II, with a removal of arsenic of 90.85% at optimum pH of 7.70, the research was developed with an index of solar radiation of exposure category of 8 to 12.5.; of the daily report of SENAMHI-Puno

KEYWORDS:

Arsenic, Metallic iron, Oxidation, Solar radiation, Removal.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global el agua es de vital importancia para el consumo humano, sin embargo, presenta problemas por la presencia de arsénico (As) en las diferentes fuentes de agua natural, debido a procesos naturales de meteorización química, la erosión de rocas y por disolución de minerales que así mismo también pueden estar presentes por actividades antropogénicas debido a actividades como la refinería de metales, la minería y el uso de agroquímicos como las plaguicidas. El agua de bebida en fuentes subterráneas, por lo general el arsénico se encuentra en forma de arsenito As (III) y en forma de arseniato As (V), que son fáciles de ser absorbidos en el tracto gastrointestinal en proporciones de 40 a 100%; así mismo el arsénico inorgánico es absorbido por los tejidos y luego eliminados en la orina progresivamente por metilación de los riñones (Frederick, P. et al, 1994). Frente a este problema se han desarrollado estudios toxicológicos y epidemiológicos debido al consumo prolongado de agua con arsénico que han sido relacionados con el cáncer de piel, pulmones, riñones e hígado y de problemas de piel y vejiga (Smith et al. 2000); el consumo de agua con niveles de arsénico a largo plazo conlleva a efectos crónicos y a la generación de arsenicismo que pone en riesgo a la salud de las personas expuestas al consumo de agua con concentraciones de arsénico.

La toxicidad del As (III) es 10 veces mayor que la del As (V) y la dosis letal para el adulto es de 1-4 mg As/kg (The national Academy of Sciences, 1999), se han demostrado que los niños son más sensibles que los adultos a la toxicidad por el (As) y afectados por el arsenicismo, por problemas de desnutrición y precario saneamiento en zonas rurales



dispersas; en estas poblaciones se consume agua sin ningún tratamiento, por lo que se requiere desarrollar trabajos de investigación para remocionar (As) de las aguas para consumo humano con niveles de (As) menores a los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por Normas Nacionales de Estándares de Calidad del Agua (ECA), D.S. 004 – 2017 MINAM con valor de límite máximo permisible (LMP) de 0.01 mg/L de (As) en agua para consumo humano. Así mismo en la Región geográfica Puno, contamos con energía no convencional de alta radiación solar el cual debe aprovecharse como fuente de energía para aplicaciones de procesos de tratamiento de aguas naturales. Los problemas expuestos y el cumplimiento de las normas de calidad del agua, nos encaminan a estudiar la remoción de (As), por procesos de oxidación con (Fe) metálico y radiación solar en aguas naturales de pozo subterráneo con flujo continuo.

En este proyecto de investigación se evaluará la remoción de arsénico de aguas naturales de pozo subterráneos en flujo continuo, por proceso de oxidación con hierro y radiación solar, en muestras de agua del sector urbano y rural del Distrito de Caracoto de la Provincia de San Román de la Región Puno, a su vez se evaluará las variables cantidad de viruta de hierro metálico, pH y el tiempo de radiación solar óptimas para la remoción de arsénico de aguas naturales de pozos subterráneos; posterior a ello se evaluará la remoción de arsénico en aguas naturales de pozo, por proceso de desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO), oxidación con virutas de hierro metálico (Fe) y tiempo de radiación solar

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General.

- ¿Cuál será la capacidad de remoción de arsénico (As), contenido en aguas naturales de pozo, mediante procesos de oxidación con hierro metálico y radiación solar?



1.2.2. Problema Específico.

- ¿Cómo determinar la cantidad adecuada para la remoción de arsénico de aguas naturales por proceso oxidación con viruta de hierro metálico (Fe), pH y el tiempo de radiación solar?
- ¿En qué porcentaje podrá ser removido el arsénico en agua naturales en pozos en flujo continuo, por proceso de oxidación con virutas de hierro metálico (Fe), pH y radiación solar?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

- El proceso de oxidación de fierro metálico y radiación solar, son adecuados para la remoción de arsénico de aguas naturales de pozo subterráneo en flujo continuo para el distrito de Caracoto de la provincia de San Román de la región de Puno.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- Conocer las variables óptimas de pH, cantidad de viruta de hierro metálico y el tiempo de radiación solar óptimas para la remoción de arsénico de aguas naturales de pozos subterráneos.
- Son procesos adecuados para la remoción de arsénico en aguas naturales de pozo subterráneo en flujo continuo; la desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO), oxidación con virutas de hierro metálico (Fe) y radiación solar.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano con presencia de arsénico son comprometedoras por sus efectos negativos a la salud del hombre, en diversas regiones del país en especial en la región sur del Perú, en el sistema rural la provisión de agua



para consumo humano en su mayor parte cuentan con la extracción de agua subterránea con elevado contenido de arsénico As, lo que hace tóxica para su consumo debido a que este elemento metal pesado interfiere con diferentes actividades fisiológicas esenciales del consumidor de agua, así tenemos las alteraciones cardíacas, vasculares y neurológicas, lesiones hepáticas, renales y lesiones cutáneas que avanzan progresivamente hasta las neoplasias (Rodríguez, et al 2008). También está relacionado con el cáncer a los riñones, hígado, pulmones (Konstantinos, et al. 2006). La Organización Mundial de Salud (OMS) en la última década ha recomendado el límite de concentración de As, para agua de bebida en 0.01 mg/L (OMS 2011).

Los procesos y tecnologías conocidas para la remoción de arsénico del agua son convencionales y variados, es así que el tratamiento en plantas potabilizadoras tiene alto costo. Tenemos procesos de remediación y de tratamiento del agua para remoción de metales pesados por oxidación, precipitación, coagulación y ablandamiento y de osmosis inversa, micro filtración, nano filtración, adsorción y tratamientos biológicos, Fito remediación y electrocinética; si bien es cierto que estas técnicas en cada proceso presentan mejoras, desventajas y limitaciones según condiciones locales lo que no aseguran es un resultado técnico, económico y ambiental adecuado.

Para el estudio de la presente investigación se planteó en particular, utilizar desechos de chatarra de hierro para la pre oxidación y energía no convencional de radiación solar ultra violeta UV por fotocatalisis para la remoción del arsénico, proceso que implica la eficiencia de esta nueva tecnología propuesto para el presente trabajo de investigación. El tratamiento de pre oxidación del Arsénico incluye la adición del oxidante químico hipoclorito de sodio NaClO, que a su vez este desinfecte el agua y oxide el Arsénico (III) a Arsénico (V) para su fácil remoción, para lo cual se desarrolla evaluaciones de concentraciones adecuadas del



oxidante hipoclorito de sodio, fierro metálico, con control de pH y control del tiempo de intensidad de la radiación solar ultra violeta UV por fotocatalisis.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar la remoción de arsénico de aguas naturales de pozos subterráneos, por proceso de oxidación con hierro y radiación solar, en muestras de agua del sector urbano y rural del Distrito de Caracoto de la Provincia de San Román de la Región Puno.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las variables, cantidad de viruta de fierro metálico, pH y el tiempo de radiación solar óptimas para la remoción de arsénico de aguas naturales de pozos subterráneos.
- Evaluar la remoción de arsénico en aguas naturales de pozo, por proceso de desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO), oxidación con virutas de hierro metálico (Fe) y radiación solar.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Metales Pesados

Los metales pesados en cantidades pequeñas son nutricionalmente esenciales para una vida sana. Pero en cantidades excesivas llegan a ser tóxicos cuando no son metabolizados por el cuerpo y se acumulan en los tejidos. Los metales pesados pueden incorporarse en el cuerpo humano a través de los alimentos, el agua, el aire o la absorción a través de la piel cuando entran en contacto con los seres humanos, en agricultura, en procesos de fabricación industrial. Los metales pueden provenir de fuentes naturales o antropogénicos. (Anawar, et al. 2007)

La solubilidad de los metales traza en las aguas superficiales, está controlada predominantemente por el pH del agua, la concentración de los ligandos en los cuales el metal podría fijarse por adsorción, el estado de oxidación de los componentes minerales y de las condiciones redox del sistema. (Anawar, et al. 2007)

2.1.2. Propiedades Químicas del Arsénico

El arsénico es un elemento químico no metálico del Grupo V del Sistema Periódico de color gris y apariencia metálica y brillante, el arsénico posee escasas propiedades metálicas y se encuentra ampliamente distribuido en el universo. Su comportamiento químico es complejo y forma numerosos compuestos arsenicales, tanto orgánicos como inorgánicos.

Los estados de oxidación en que el arsénico se encuentra comúnmente en el agua son los estados +5 y +3. El arsenito, o arsénico trivalente As(III) se encuentra en solución como H_3AsO_3 , H_2AsO_3^- , H_2AsO_4^- y H_2SO_4 en aguas naturales con pH entre 5 a 9, y el arsenato, o



arsénico pentavalente As(V) se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno en forma de H_3AsO_4 , en un rango de pH de 2 a 13. Su principal vía de dispersión en el ambiente es el agua. Aun si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos.

La concentración del arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local. En el agua natural de pH de 5 a 9, el arsénico se encuentra fundamentalmente como arsenito (As_2O_4)⁻ o arseniato (AsO_4)⁻³. Los compuestos arsenicales metilados se encuentran naturalmente en el ambiente como resultado de la actividad biológica del suelo. El compuesto arsenical de mayor importancia económica es el óxido de arsénico (+3) (As_2O_3).

La toxicidad de un arsenical se relaciona con su índice que es la depuración o eliminación de un elemento en el organismo por unidad de tiempo y, por consiguiente, por su grado de acumulación en los tejidos. En general la toxicidad aumenta en la secuencia de los arsenicales orgánicos, es decir: $\text{As}^{+5} < \text{As}^{+3} < \text{As}^{-3}$

Los compuestos arsenicales inorgánicos solubles en agua como el arsenito de sodio ($\text{Na}_2\text{As}_2\text{O}_4$) y ácido arsenioso ($\text{H}_2\text{As}_2\text{O}_4$) son compuestos que presentan una conocida y elevada toxicidad de arsénico y se encuentran presentes en más de 200 especies minerales, siendo: (Bournod, L. 2010).

- ❖ La arsenopirita (FeAsS),
- ❖ La enargita (Cu_3AsS_4),
- ❖ La tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) las más comunes.

2.1.3. Procesos de Remoción de Arsénico

A nivel mundial, las concentraciones de arsénico en los suelos y en los mantos acuíferos, dependen de la forma en la que éste se integra al medioambiente ya sea de forma



natural, a través de procesos geológicos, o de forma antropogénica. La geoquímica del arsénico es compleja, por lo que se han generado importantes procesos para el control de la separación del arsénico entre las fases sólidas y líquidas, pero existen algunas que llegan a contaminar mantos acuíferos.

Se han propuesto numerosos métodos para remover arsénico de efluentes industriales, dentro de los que destacan los procesos de precipitación, adsorción, biológicos, entre otros. Varias industrias minero-metalúrgicas optan por métodos que no remueven el arsénico de sus efluentes, sino que optimizan los procesos utilizando la oxidación o reducción de este y así evitan emplear otros métodos para su tratamiento. (Castro de Esparza. 2006)

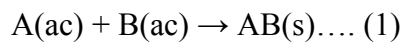
En la mayoría de los casos la eficiencia del proceso de remoción elegido depende de la concentración inicial, estado de oxidación del arsénico y el pH. Sin embargo, hay aspectos que son particulares de cada proceso y que deben ser tomados en cuenta al evaluar dicha eficiencia. A continuación, se presenta una breve descripción de los mismos.

a) Proceso de precipitación.

La precipitación es un proceso que consiste en la formación de una fase sólida en el seno de una solución saturada. El estado de la solución sobresaturada no es necesariamente la misma que en una solución iónica diluida, ya que en esta se tienen las especies iónicas libres solvatadas con agua. A medida que la concentración del soluto aumenta, la asociación se produce y esto da paso a la formación de pares iónicos neutros.

Existen 3 etapas en el proceso de precipitación que ocurren sucesivamente: nucleación, crecimiento y añejamiento.

Durante la nucleación se forman cristales pequeños, los cuales no modifican la concentración de la solución. Para el caso de una cristalización reactiva; es decir, la que cumple con la siguiente reacción:



El coeficiente de saturación se define como

$$S = [A] [B]/K_{ps} \quad (2)$$

Donde

K_{ps} : Constante del producto de solubilidad.

Es expresado por:

$$K_{ps} = [A]_{eq}[B]_{eq} = \exp(-\Delta G^\circ/RT) \quad (3)$$

En el caso del arsénico en solución, se pueden formar arseniatos metálicos de baja solubilidad al promover su interacción con productos químicos, como el sulfato de aluminio, sulfato de cobre, sales de hierro como el cloruro férrico y sulfato férrico, entre otros; que son adecuados para la formación de precipitados.

Algunos de los factores que controlan el proceso de precipitación son: la composición de la solución, la cristalinidad, el tamaño de la partícula, la morfología y las impurezas presentes. La correlación de las condiciones de los procesos de precipitación con las propiedades del producto, se determinan mediante el estudio y el control de los siguientes aspectos: los equilibrios sólido-líquido, la cinética de la cristalización (sobresaturación, nucleación y crecimiento), la química de superficie (la adición de partículas y la adsorción de impurezas) y por último, aunque no menos importante, la selección y diseño del reactor. Para la precipitación de un compuesto se tiene que estudiar el equilibrio de fases del sistema desde un punto de vista termodinámico, es decir, para definir las condiciones de temperatura y concentración que favorecen la formación de una o varias fases. Si bien la solubilidad de un precipitado es descrita por su constante de producto de solubilidad (K_{ps}), también puede ser descrita por diagramas de solubilidad de la especie en los cuales se pueden encontrar los



diferentes complejos precipitados que se forman, a diferentes concentraciones y diferente pH (Demopoulos, 2009)

En este contexto, la coprecipitación ocurre cuando constituyentes menores o accesorios se incorporan a la estructura mineral que se forma. El proceso inverso a la coprecipitación es la codisolución, que en el caso del arsénico daría lugar a su movilización hacia el agua.

Así, la movilización de arsénico estará condicionada por la estabilidad del mineral con el que ha precipitado o coprecipitado. Si tiene lugar la disolución de la fase mineral con arsénico (por ejemplo, óxidos), este mecanismo puede ser más efectivo que la desorción en términos de arsénico movilizado (Who. 2005)

b) Proceso de adsorción.

La adsorción es un proceso de transferencia de masa donde una sustancia es transportada desde la fase líquida a la superficie de un sólido y queda retenida por fuerzas físicas o químicas. El mecanismo de adsorción depende del carácter del vínculo entre la molécula a adsorber y la superficie sólida, lo que resulta en la formación de un complejo de superficie identificable. La adsorción física es en gran parte impulsada por efectos electrostáticos, que promueven la adsorción de los iones en las superficies de carga opuesta, y el factor principal es el control de la carga superficial. El resultado de este mecanismo suele ser una debilidad en la esfera externa de coordinación, que es cuando la capa de hidratación que rodea al ión y la superficie (sólida) se mantiene intacta (hidrólisis de iones). Estos complejos son en general más débiles que los complejos de esfera interna, que unen directamente a la superficie de metal o grupos de oxígeno (Davis & Kent. 1990)

Algunos sólidos, incluyendo óxidos de hierro y el aluminio tienen una fuerte afinidad para adsorber al arsénico, el arsénico tiene una gran atracción por los sitios de adsorción



localizados en las superficies de estos sólidos, por lo que son materiales efectivos para removerlo de la solución. Algunos de los adsorbentes reportados en la literatura como adecuados para remover arsénico (V), son la alúmina activada, gránulos de carbón activado y metales recubiertos con óxido de hierro. El criterio de selección del adsorbente depende de varios factores entre ellos: su desempeño, su costo, capacidad de adsorción, potencial de reúso, facilidad de operación entre otros. (Robinson, et al. 2001)

La adsorción de arseniato por oxihidróxidos de hierro es particularmente fuerte y las cantidades adsorbidas pueden ser apreciables, incluso a bajas concentraciones de arsénico en la solución Manning & Goldberg, (1996). La adsorción de arsénico en oxihidróxidos de Al y Mn también puede ser importante si estos óxidos están presentes en concentraciones altas.

La fuerza de adsorción de las especies de As (V) por las superficies de la fase sólida, dependerá en parte de las diferencias de carga entre las especies acuosas y la fase sólida, ya que determinan el carácter de las interacciones electrostáticas entre las especies y la fase sólida. Las reacciones de adsorción-desorción son descritas mediante isothermas de adsorción (o desorción). Una isoterma de adsorción o intercambio iónico relaciona la concentración de un determinado componente en solución con su concentración en la superficie de la partícula en equilibrio. Esa concentración en la superficie no solo depende del componente implicado y de la carga de superficie, también depende de otros iones en solución y de su concentración, ya que competirán a su vez para ocupar lugares (sedes de intercambio) en la superficie. Este fenómeno, está ligado a los procesos de adsorción-desorción, y es lo que se conoce como intercambio iónico. La principal consecuencia es que, a determinadas condiciones de concentración de una especie iónica, esta puede provocar la desorción de otra especie previamente adsorbida. Dada la cantidad de especies iónicas que pueden estar en solución,

y por tanto compitiendo por ocupar las sedes de intercambio, es muy complejo describir las reacciones de superficie para un caso dado (Lillo. 2003)

Las isothermas de adsorción son representaciones gráficas de las situaciones de equilibrio entre la concentración del soluto de la fase líquida y la cantidad del mismo que es o no adsorbida por el sólido, a una temperatura dada (Gómez & Valcárcel. 1998). Estas isothermas de adsorción pueden ser “lineales” o “no lineales”. Una isoterma “lineal” significa que la cantidad adsorbida de una especie es directamente proporcional a su concentración en la solución. Una consecuencia de la isoterma de adsorción no lineal del arseniato es que, incluso a concentraciones del orden de $\mu\text{g/L}$, la adsorción de arsénico sobre el óxido puede corresponder a miles de ppm en el caso de oxihidróxidos férricos. En general, aunque depende de las fases presentes como se muestra en la Figura 1, la máxima adsorción de As (III) se produce a $\text{pH} < 8$, mientras que la máxima adsorción de As (V) se produce a $\text{pH} < 7$ pero mayores a 4. (Lillo. 2003)

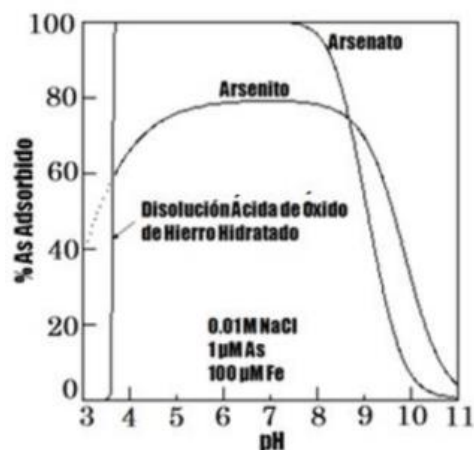


Figura 1: Curvas de dependencia de As en óxidos de Fe, en función del pH (Lillo, 2003)

Según Ayala Mendez, (2014). Las reacciones de adsorción y desorción entre arseniato y superficies de óxidos de hierro son particularmente importantes, ya que las fases



de óxido de hierro son muy comunes como recubrimiento de otras fases sólidas, y porque el arseniato se adsorbe fuertemente sobre las superficies de estos óxidos en condiciones ácidas o con pH próximo a valores neutros. En general, el As (V) es más fuertemente adsorbido en fases sólidas como la goethita (Sun & Doner. 1998), mientras que el sólido tipo ferrihidrita adsorbe mayores cantidades de As (III), aunque en este caso hay una fuerte dependencia de la concentración de arsénico en solución y del pH, de tal forma que la adsorción de arseniato puede ser mayor que la de arsenito a valores de pH bajos y a bajas concentraciones de arsénico en solución Loeppert, Jain, Raven, & Wang, (1997)

De cualquiera forma, los óxidos amorfos presentan una mayor capacidad adsorbente que la goethita, tanto para As (V) como para As (III) debido a que estos presentan una mayor densidad de lugares de intercambio, como consecuencia de una mayor superficie específica y mayor reactividad de grupos funcionales de superficie con respecto a la goethita. Jackson & Miller, (2000)

De esta manera, los cambios de pH en el agua pueden determinar la adsorción o desorción de arsénico. Debido a que los procesos de diagénesis normalmente consumen iones H^+ , el pH del agua subterránea tiende a ser mayor con el tiempo de residencia, el cual, a su vez, se incrementa a lo largo del recorrido del flujo subterráneo. Por este proceso, la propia evolución geoquímica del agua subterránea hacia condiciones alcalinas puede causar la desorción de una cantidad apreciable de arsénico en el agua.

c) *Proceso biológico.*

Las bacterias pueden jugar un papel importante en la catalización de varios procesos. Recientemente se han obtenido avances en la biorremediación de arsénico en mantos acuíferos utilizando bacterias o plantas. Existen microorganismos capaces de efectuar reacciones de reducción o de oxidación del arsénico en el medioambiente. Estas reacciones



redox se llevan a cabo por microorganismos, ya sea para desintoxicación o para la generación de energía para apoyar el crecimiento celular. Actualmente se están desarrollando estudios de nuevos mecanismos micro bacterianos, en donde el microorganismo pueda mantener el arsénico en su interior, esto por modificación de los mecanismos metabólicos de ciertas bacterias como la *C. glutamicum* o *E. Coli* que tienen un operón (el cual es un grupo de genes estructurales que codifican la síntesis de proteínas, generalmente enzimas, que participan en el metabolismo) que proporciona una resistencia a la expulsión del arsénico (Mateos y col, 2006). En las plantas esto es un proceso biológico que es conocido como rizo filtración en el cual se hiperacumula el arsénico en las raíces de la planta ya que éstas son las que entran en contacto con la solución contenedora del arsénico y éste es removido y distribuido por la planta. Algunas de las plantas utilizadas son chopo, álamo, girasol, mostaza de la India, maíz, gramíneas como centeno y hierbas de la pradera. (Raskin & Ensley. 2000).

Aunque muchos de estos métodos pueden remover arsénico efectivamente a muy bajos niveles, sólo unos pocos han sido aplicados a gran escala. Por razones prácticas y económicas, los procesos que generan directamente un arsénico que puede ser confinado son los más atractivos, pero algunos materiales no son apropiados para una disposición final a largo plazo, es por esto que las técnicas de precipitación dominan el campo de remoción de arsénico en solución.

d) Proceso de fotocatalisis solar.

El proceso de fotocatalisis, permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie provocando la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la presencia de un catalizador (sensibilizador), que da lugar a la eliminación de materia orgánica y metales pesados disueltos en las aguas residuales. El contaminante por sí mismo no es capaz de capturar fotones, se requiere el sensibilizador como absorbente de la energía radiante y



catalizador de la oxidación del contaminante. La aplicación de radiación solar para la realización de procesos fotoquímicos, sólo es posible mediante catálisis homogénea o heterogénea. Usando cationes hierro o dióxido de titanio respectivamente. Estos catalizadores absorben a longitudes de onda del espectro solar mientras que el ozono y el peróxido de hidrógeno no absorben por encima de 300 nm. Indica. (Mills & Le Hunte. 1997)

Una tecnología simple y económica para reducir el arsénico en aguas para consumo humano es el método de Remoción de Arsénico por Oxidación Solar, RAOS. Este método tiene como antecedente el proyecto desarrollado por el Instituto Suizo EAWAG de Zurich con el objetivo de combatir el envenenamiento masivo por el consumo de aguas subterráneas con arsénico en Bangladesh; los ensayos consistieron en la incorporación de citrato (jugo de limón) en aguas depositadas en botellas transparentes, observándose, luego de un periodo de exposición solar, la formación de flóculos de hidróxido de hierro (las aguas contenían suficiente hierro) producto de las reacciones fotoquímicas en el agua

Las reacciones fotoquímicas permiten la oxidación del arsénico y también del hierro (en cualquiera de sus estados), así como la formación simultánea de especies muy activas que aceleran este proceso como los complejos de citrato de hierro y especies oxidadas del oxígeno, como el superóxido.

2.1.4. Aplicaciones de Tratamiento con Fotocatálisis Heterogénea

Castillo Lopez, (2006). Indica que la fotocatálisis heterogénea tiene su campo de aplicación en el tratamiento de aguas residuales que contienen contaminantes altamente persistentes, elevada estabilidad química o no biodegradables, donde los tratamientos biológicos obviamente no son viables. El proceso de fotocatálisis es capaz, en la mayoría de los casos, de conseguir una mineralización completa del carbono orgánico existente en el medio. La capacidad de tratamiento de esta tecnología es el aprovechamiento de la energía



solar, se considera que normalmente el tratamiento de aguas, por fotocátalisis puede estar en el rango de varias decenas hasta varios cientos de m³ por día.

A continuación, se mencionan contaminantes que estando presentes en el agua pueden ser tratados por fotocátalisis heterogénea:

- ❖ Plaguicidas: Esta familia comprende un amplio rango de productos químicos, utilizados en la agricultura. La destrucción de plaguicidas es una de las aplicaciones más adecuadas de la tecnología de fotocátalisis porque generalmente, se deben tratar soluciones o suspensiones multicomponentes muy diluidas (concentración típica inferior al 1000 mg/L), en pequeños volúmenes que pueden recircularse. Se han obtenido muy buenos resultados con plaguicidas organohalogenados y organofosforados, carbamatos, tiocarbamatos, triacinas, etc. Además de la gran cantidad de residuos de plaguicidas generados en la agricultura, también hay una gran cantidad de residuos industriales de fábricas que producen ingredientes activos y, especialmente, de fábricas que almacenan ingredientes activos y otros aditivos para ser fraccionados, mezclados o envasados. (Blanco & Malato. 2001).
- ❖ Fenoles: Los fenoles son compuestos muy tóxicos y una concentración elevada de estos compuestos inhibe e incluso elimina la actividad de los lechos activados de las plantas de tratamiento municipales. (Borja *et al.* 1996). La presencia de fenoles en el agua potable, incluso en concentraciones muy bajas (1-10 mg /L), genera clorofenoles durante el proceso de cloración, lo que produce un fuerte olor y sabor desagradable. Los fenoles son degradados fácilmente mediante fotocátalisis, alcanzándose prácticamente el 100% de su mineralización. (Blanco & Malato. 2001)
- ❖ Compuestos orgánicos clorados: El proceso de detoxificación solar ha demostrado su eficacia en la degradación de solventes halogenados, que pertenecen al grupo los



llamados compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Estos compuestos son difíciles de tratar y, dada su peligrosidad, las distintas normativas son muy estrictas respecto a ellos. Una aplicación interesante de este caso es el tratamiento del agua procedente de las torres de lavado que controlan e impiden la emisión de COVs a la atmósfera, indica. (Blanco & Malato. 2001)

- ❖ Productos farmacéuticos: La producción de antibióticos y otros fármacos genera residuos intrínsecamente biocidas que no pueden ser tratados mediante sistemas biológicos. Tanto los procesos de limpieza periódica. O los residuos de los propios procesos de fabricación pueden generar aguas contaminadas. (Blanco & Malato. 2001)
- ❖ Compuestos preservadores de la madera: El compuesto más tóxico y persistente entre los usados para el tratamiento de la madera es el pentaclorofenol. Aunque el uso de este compuesto se encuentra ya prohibido en muchos países, todavía es ampliamente usado. La madera, en bruto o en piezas cortadas, se trata normalmente en baños que contienen este u otro productos. Estos baños pierden su actividad cada cierto número de procesos por lo que deben ser regenerados. El proceso fotocatalítico, en sus diversas variantes, se ha mostrado altamente eficiente para el tratamiento de este tipo de aguas con residuos de este tipo de procesos. (Blanco & Malato. 2001)
- ❖ Residuos de la limpieza de tanques portuarios: Un gran porcentaje del transporte internacional de productos químicos se realiza por mar y, normalmente existe multitud de tanques portuarios para la recepción, almacenamiento y distribución de productos químicos básicos para la industria química. Estos depósitos portuarios deben ser limpiados periódicamente o cuando van a ser llenados con una sustancia diferente de la contenían anteriormente. Estos procesos de limpieza grandes



cantidades de agua contaminada con bajas concentraciones de este tipo de productos que podrían ser tratados mediante fotocátalisis solar. (Blanco & Malato. 2001)

- ❖ Eliminación de iones metálicos: Mediante fotocátalisis también es posible reducir iones metálicos tóxicos, llevándolos en algunos casos al estado metálico, lo que facilita la remoción de la solución acuosa. Es más, es posible acoplar la reducción de iones metálicos COMA oxidación de contaminantes orgánicos, para la remoción simultánea de ambos. En general, cuanto más alta es la concentración de compuestos orgánicos, más rápida es la velocidad de reducción de metales y un aumento en la concentración de metales aumenta la velocidad de oxidación de los orgánicos. (Blanco & Malato. 2001)

2.1.5. Cinética de Oxidación del Hierro.

La cinética de la reacción que involucra al hierro, se basa en la velocidad a la que ocurre la reacción de óxido-reducción, dependiendo de las condiciones de pH, temperatura y presencia de sustancias que induzcan un efecto iónico o un efecto complejante y respectivamente, acelere o retarde el proceso (Barrera & Campo, 2005). (Stumm & Lee, 1961) encontraron que la tasa de oxigenación del hierro ferroso en las soluciones de bicarbonato es de primer orden con respecto a las concentraciones de Fe^{2+} y al oxígeno disuelto y de segundo orden con respecto al ion OH^- ; teniéndose la siguiente reacción química:

$$\frac{-d[Fe^{2+}]}{dt} = k_0 pO_2 [Fe^{2+}] [OH^-]^2$$

Donde:



$$\frac{-d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = \text{Tasa de oxidación del Fe}^{+2} \text{ (mol 1L}^{-1} \text{ min}^{-1}\text{)}$$

$$k_0 = \text{Constante tasa de reacción (L}^2 \text{ mol}^{-2} \text{ atm}^{-1} \text{ min}^{-1}\text{)}$$

$$p\text{O}_2 = \text{Presión parcial de oxígeno (atm)}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = \text{Concentración molar de hierro ferroso (mol l}^{-1}\text{)}$$

$$[\text{OH}^-]^2 = \text{Concentración molar de ion hidróxido (mol l}^{-1}\text{)}$$

La tasa de oxigenación depende fuertemente del pH, aumentando 100 veces por cada aumento de unidad del pH. Por lo tanto, la velocidad de oxidación de Fe^{+2} es lenta a pH bajo. Los estudios de Stumm & Lee, (1961) también demostraron que se debe esperar que la oxidación del hierro ferroso se produzca rápidamente en aguas bien oxigenadas con valores de pH superiores a 7,2. Además del pH, otros parámetros del agua también han sido considerados por tener un efecto significativo sobre la velocidad de oxidación del Fe^{+2} . A continuación se describe cada uno de ellos:

- a) Alcalinidad: es importante en la eliminación de hierro ya que proporciona la capacidad de amortiguación para evitar la caída en exceso del pH durante la oxidación del hierro e influye en las características del precipitado. En aguas de baja alcalinidad, la oxidación de hierro es lenta y se forman precipitados difíciles de filtrar.
- b) Temperatura: Stumm & Lee, (1961) observaron que, a pH y concentraciones de oxígeno constante, puesto que se normalizaron los datos experimentales con respecto a los cambios en K_w (constante de reacción del agua) y el oxígeno disuelto, la tasa de velocidad varió ligeramente con el aumento de temperatura.



- c) **Materia orgánica:** El complejo de hierro se puede formar por ácidos húmicos, fúlvicos y sustancias orgánicas similares presentes en el agua. Algunas sustancias, como, silicatos, fosfatos o polifosfatos, desempeñan un papel inhibitor en la precipitación y la filtración del hidrato férrico (Degremont. 1989)

Efectos catalíticos de algunos elementos: Diferentes iones presentes en el agua puede alterar la tasa de oxigenación de Fe^{+2} . Los catalizadores (sobre todo Cu^{+2}) en cantidades de traza, así como los aniones que forman complejos con el hierro férrico (H_2PO_4^-), aumentan la velocidad de reacción considerablemente. (Stumm & Lee. 1961)

2.1.6. Ley de Beer.

Esta ley expresa la relación entre absorbancia de luz monocromática (de longitud de onda fija) y concentración de un cromóforo en solución:

$$A = \log I/I_0 = \epsilon \cdot c \cdot l$$

La absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración –a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas-; también depende de la distancia que recorre la luz por la solución –a igual concentración, cuanto mayor distancia recorre la luz por la muestra más moléculas se encontrará-; y por último, depende de ϵ , una constante de proporcionalidad -denominada coeficiente de extinción- que es específica de cada cromóforo. Como A es adimensional, las dimensiones de ϵ dependen de las de c y l. La segunda magnitud (l) se expresa siempre en cm mientras que la primera (c) se hace, siempre que sea posible, en M, con lo que las dimensiones de ϵ resultan ser $\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Este coeficiente así expresado, en términos de unidades de concentración molar (o un submúltiplo apropiado), se denomina coeficiente de extinción molar (ϵ_M). Cuando, por desconocerse el peso molecular del soluto, la concentración de la disolución se expresa en otras unidades

distintas de M , por ejemplo $g \cdot L^{-1}$, las dimensiones de ϵ resultan ser distintas, por ejemplo $g^{-1} \cdot L \cdot cm^{-1}$, y al coeficiente así expresado se denomina coeficiente de extinción específico (ϵ). La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para valores de c altos, ϵ varía con la concentración, debido a fenómenos de dispersión de la luz, agregación de moléculas, cambios del medio, etc.

2.1.7. Absorbancia.

Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo traslúcido, una parte de esta luz es absorbida por el cuerpo, y el haz de luz restante atraviesa dicho cuerpo. A mayor cantidad de luz absorbida, mayor será la absorbancia del cuerpo, y menor cantidad de luz será transmitida por dicho cuerpo. Como se ve, la absorbancia y la transmitancia son dos aspectos del mismo fenómeno. La absorbancia, a una determinada longitud de onda λ , se define como:

$$A_{\lambda} = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Donde I es la intensidad de la luz que pasa por la muestra (luz transmitida) y I_0 es la intensidad de la luz incidente.

La medida de la absorbancia de una solución es usada con mucha frecuencia en laboratorio clínico, para determinar la concentración de analitos tales como colesterol, glucosa, creatinina y triglicéridos en sangre. Cada uno de estos analitos se hace reaccionar químicamente con determinados compuestos, a fin de obtener una solución coloreada. A mayor intensidad de color, mayor será la absorbancia de la solución en una determinada longitud de onda. La absorbancia es entonces directamente proporcional a la concentración del analito en sangre.



Para medir esta absorbancia, se hace incidir un haz de luz con determinada intensidad y longitud de onda, sobre la solución, y se mide la luz transmitida al otro lado de la cubeta que contiene dicha solución. Estas técnicas están comprendidas en el área de la espectrofotometría.

2.1.8. Transmitancia.

La transmitancia se define como la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en determinada cantidad de tiempo.

Existen varios tipos de transmitancia, dependiendo de qué tipo de energía consideremos.

La transmitancia óptica se refiere a la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo, en una determinada longitud de onda. Cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo traslúcido, una parte de esa luz es absorbida por el mismo, y otra fracción de ese haz de luz atravesará el cuerpo, según su transmitancia. El valor de la transmitancia óptica de un objeto se puede determinar según la siguiente expresión:

I es la cantidad de luz transmitida por la muestra e I_0 es la cantidad total de luz incidente.

Muchas veces encontraremos la transmitancia expresada en porcentaje, según la fórmula:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Podemos hablar de transmitancia térmica como la cantidad de energía en forma de calor que atraviesa un cuerpo, en cierta unidad de tiempo. Si tenemos en cuenta un cuerpo con caras planas y paralelas, y entre sus caras hay una diferencia térmica, esta diferencia



constituye la transmitancia térmica del cuerpo. La transmitancia térmica es el inverso de la resistencia térmica. Se puede definir según la siguiente fórmula:

$$T\% = \frac{I}{I_0} \cdot 100\%$$

En esta expresión tenemos que

U = transmitancia en W/m². Kelvin

S = superficie del cuerpo en m².

K = diferencia de temperaturas en grados Kelvin.

El concepto de este tipo de transmitancia es aplicado en los cálculos para construir aislamientos térmicos y para calcular pérdidas de energía en forma de calor.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Agua Natural

El agua es un compuesto con características importantes para la existencia de la vida biótica, además de ser el más abundante en la naturaleza y ser un disolvente universal en procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan al medio natural; tiene una capacidad calorífica alta y calor latente gracias a ello el vapor de agua tiene una gran importancia como regulador del clima del planeta. En la vida cotidiana la percepción directa de las sustancias disueltas en el agua lleva a clasificarla en agua dulce y agua salada. Al agua natural con una baja concentración de sales (menos de 1.000 mg/L) se le llama agua dulce y generalmente, previo tratamiento, se usa para producir agua potable (García et al, 2001)

Se estima que el volumen total de agua contenido en la hidrosfera es 1.386 millones de km³. De este volumen, 96.5% se encuentra en los océanos como agua salada y el 3.5% restante, como agua dulce proveniente del continente. De este último porcentaje el 69% se



encuentra en forma sólida en los glaciares y el 30% como agua subterránea, quedando solamente el 1% que conforma los ríos y cuerpos de agua (Christopherson, 1997)

2.2.2. Agua Subterránea

Las aguas que se alojan y circulan en el subsuelo, son los que conforman los acuíferos, su fuente de aporte principal son las aguas de lluvia mediante el proceso de infiltración. Otras fuentes de alimentación localizada pueden ser los ríos, arroyos, lagos y lagunas. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y debido a la saturación incompletamente de los poros y/o fisuras del terreno estas fluyen a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales. (Smedley & Kinniburgh. 2002)

2.2.3. Arsénico

Baur & Onishi , (1969), indican que el arsénico es un elemento químico que pertenece al grupo V-A de la tabla periódica, de número atómico 33 y peso atómico 74,92; se presenta en estado sólido principalmente en forma de sulfuros. Por su posición en dicho grupo, muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales (metaloide), aunque por su electronegatividad y energía de ionización predominan las características de no metal y forma con más facilidad aniones que cationes. Por su posición en la tabla periódica, este elemento presenta un comportamiento químico similar al del fósforo, hecho que conlleva múltiples implicancias tanto a nivel edáfico como sobre la toxicidad del arsénico para las plantas y animales que las consumen.

2.2.4. Arsénico en Aguas Subterráneas.

Welch et al, (2000). Indican que en general, los valores de fondo de concentración de arsénico en aguas subterráneas son, para la mayoría de los casos, inferiores a 0.01 mg/L. Las concentraciones altas no se restringen a determinadas condiciones o ámbitos, apareciendo en acuíferos en condiciones oxidantes y de pH alto, acuíferos en condiciones reductoras,



acuíferos con circulación geotermal, acuíferos afectados por procesos ligados a la actividad minera o relacionados con depósitos minerales, y acuíferos ligados a otros procesos antropogénicos (actividad industrial, asentamientos urbanos, actividad agropecuaria, etc). La mayor parte de los acuíferos con contenidos altos de arsénico tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales. A diferencia de la contaminación antropogénica, la cual genera una afección de carácter local, la ocurrencia de concentraciones altas de arsénico de origen natural afecta a grandes áreas. Es así que la contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico que existen en el mundo están relacionados con ambientes geológicos muy diferentes: meta sedimentos con filones mineralizados, formaciones volcánicas, formaciones volcano-sedimentarias, distritos mineros, sistemas hidrotermales actuales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias. Disolución de óxidos y oxi-hidróxidos de Fe y Mn.

Los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn se disuelven en condiciones fuertemente ácidas. El arsénico presente en ellos, tanto adsorbido como coprecipitado, será movilizado durante la disolución. La disolución es eficaz en la movilización de arsénico no lábil, incorporado en la red estructural del mineral. Esto explica, al menos en parte, las concentraciones altas de arsénico en el drenaje ácido de minas. Smedley & Kinniburgh, (2002). Indican que el arsénico forma parte de más de 245 minerales en forma de arseniatos (60%), sulfuros y sulfosales (20%) y otras formas como arseniuros, arsenitos, óxidos y silicatos (20%). Smedley & Kinniburgh, (2002), explican que los mayores depósitos de As de la corteza terrestre se encuentran en forma de pirita, galena, calcopirita, y esfalerita. Existen altas concentraciones en depósitos de azufre como por ejemplo As_2S_3 , AsS , $FeAsS$, $FeAs_2$, razón por la que la arsenopirita ha sido utilizada para la obtención de arsénico a lo largo de la historia, al ser el mineral de (As) más abundante en la naturaleza. El arsénico se suele unir



covalentemente con la mayoría de metales y no metales y puede formar parte de moléculas orgánicas estables.

2.2.5. Química del Arsénico en Soluciones Acuosas

El arsénico soluble se encuentra en los estados de oxidación de -3 , $+3$ y $+5$, con mayor frecuencia los estados de oxidación de arsénico trivalente As (III) o arsenito, y arsénico pentavalente As (V) o arseniato. El arseniato As (V), es la forma de arsénico oxidada más común en el medio ambiente, principalmente en agua y suelo. El arsenito As (III) es la forma inorgánica reducida más común y está presente en forma minoritaria en agua, suelo y medio ambiente.

El arsénico pentavalente As (V) aparece como ácido arsénico H_3AsO_4 , el cual predomina en condiciones oxidante. El arsénico trivalente As (III) está presente como ácido arsenioso H_3AsO_3 y predomina en condiciones reductoras al igual que sus productos de disociación. El ácido arsénico en sus diferentes productos de disociación es de 4 a 10 veces más soluble en agua que los diferentes compuestos del ácido arsenioso (McLean & Bledsoe, 1992); no obstante, la mayoría de los metales de arseniato son menos solubles en agua que sus correspondientes arsenitos, por ello los métodos de remoción de arsénico están diseñados para arsénico pentavalente. El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados por las condiciones redox y el pH, aunque también depende de su interacción con otros elementos disueltos; como, por ejemplo, el azufre, nitrógeno, oxígeno, entre otros; tanto el As (V) como el As (III) son móviles en el medio, aunque este último es el estado más móvil y de mayor toxicidad.

El arsénico no forma generalmente complejos con aniones simples, como cloruros y sulfatos, como en el caso de los metales catiónicos. El arsénico forma uniones con azufre, nitrógeno y carbono orgánico. El As (III) puede provenir de la reducción biológica de As



(V), y predomina en zonas cercanas a industrias con efluentes ricos en As (III), aguas geotermales y ambientes reductores. En general, en aguas superficiales el As (V) predomina sobre el As (III). En aguas subterráneas pueden encontrarse ambos estados de oxidación ya que las concentraciones de As (III) y As (V) dependen de factores como: la entrada de As al medio, las condiciones redox y la actividad biológica.

Las formas orgánicas de As (V) suelen aparecer en concentraciones menores que las especies inorgánicas, aunque pueden incrementar su proporción como resultado de reacciones de metilación catalizadas por actividad microbiana (bacterias, algas). Las formas orgánicas dominantes son el ácido dimetil arsénico y el ácido metano arsénico. (Hasegawa y col. 1999)

2.2.6. Radiación Solar

Mills & Le Hunte, (1997). Explican que el proceso de radiación solar o fotocatalisis, como se esquematiza, permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie, provocando la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la presencia de un catalizador (sensibilizador), que da lugar a la eliminación de materia orgánica y metales pesados disueltos en las aguas residuales. El contaminante por sí mismo no es capaz de capturar fotones se requiere el sensibilizador como absorbedor de la energía radiante y catalizador de la oxidación del contaminante. La aplicación de radiación solar para la realización de procesos fotoquímicos, sólo es posible mediante catálisis homogénea o heterogénea. Usando cationes hierro o dióxido de titanio respectivamente. Estos catalizadores absorben a longitudes de onda del espectro solar mientras que el ozono y el peróxido de hidrógeno no absorben por encima de 300 nm.



2.2.7. Radiación Ultra Violeta

Legrine & Oliveros, (1998), indican que el espectro ultravioleta (UV) se puede dividir en cuatro bandas: UV- A (315 a 400nm); UV-B (280 a 315nm), UV-C (200 a 280nm) y UV vacío (40 a 200nm). Las más utilizadas con fines ambientales son UV-A y UV-C. La luz ultravioleta actúa mediante la interacción con las moléculas presentes en el medio líquido provocando en la mayoría de los casos, una ruptura de los enlaces químicos. Para que la fotólisis ocurra (disociación) es necesario de un fotón por la molécula y además que la energía del fotón exceda la energía del enlace que se quiere destruir. Debido a la propiedad intrínseca de promover disociación entre las moléculas, la aplicación de la radiación UV individualmente se prueba en algunos trabajos. Sin embargo, hay poca mineralización de los compuestos químicos estudiados, incluye cuando se tienen tiempos de aplicación de radiación relativamente largos. De esta forma, se están estudiando combinación entre agentes oxidantes químicos y radiación UV, debido a que algunos procesos oxidativos se consideran lentos en la generación de radicales OH^\cdot . Con estas combinaciones generalmente; se obtienen mejores eficiencias de reducción cuando se compara con tratamientos individuales, estos se verifican en diferentes trabajos citados por (Benitez & Acero. 2002)

2.3. ANTECEDENTES

Franco M & Carro Perez, (2014). Dan a conocer que el arsénico y sus compuestos son considerados como cancerígenos para los humanos con evidencia epidemiológica de alteraciones a la salud ante el consumo prolongado de aguas arsenicales. El trabajo se realiza de ensayos de laboratorio con floculación coagulación con el objeto de evaluar la eficiencia en la eliminación del arsénico en el agua para consumo humano. Buscan identificar y evaluar los principales factores que controlan la remoción del arsénico en agua. En los ensayos se sometió a pre oxidación del arsénico As, mediante cloración-oxidación con NaClO , de 2.2



mg/L, así mismo se varió la dosis de coagulantes de 5 a 500 mg/L, la partícula coloidal desde 0 a 6 000 mg/L y la concentración inicial de arsénico desde 0. A 5 mg/L. Con estas variables se realizaron más de 100 experimentos. Los resultados remocionaron al 95% con cloruro férrico y del 80% con sulfato de aluminio en soluciones con arsénico. Para dosis de cloruro férrico mayores a 50 mg/L la eficiencia de la remediación disminuyó. Las mayores remociones se lograron a pH de 3 a 5, en soluciones oxidadas.

Ghurye & Clifford, (2001) Plantean que para diferentes técnicas de remoción de arsénico en la interacción fluido-partícula, y radica que el arsénico debe pre oxidarse de As (III) a As (V) para lograr mayores eficiencias en el proceso de coagulación-floculación.

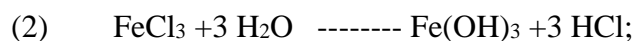
Henke, (2009), explica que por “Oxidación y Co-precipitación con hierro natural seguidas de filtración es una manera económica para remover arsénico y hierro, la proporción de hierro a arsénico es de 20:1; y los oxidantes utilizado pueden ser el cloro, ozono y permanganato de potasio, el oxígeno por si solo a pesar de ser suficiente para el hierro por sí solo no puede oxidar al arsénico”

Martín Domínguez, Rivera Huerta, Piña Soberanis, & Pérez Castrejón, (2008), expresan que la presencia del arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua es indeseable por sus efectos negativos a la salud. En el trabajo presentan el empleo de la adsorbente zeolita natural (clinoptilolita) recubierta con óxido de hierro a partir de cloruro férrico para remover arsénico de aguas naturales, que en contacto con material filtrante resulta un medio de contacto efectivo para remover arsénico para tratamiento en continuo. En el laboratorio utilizaron agua con arsénico As, de 0.5 mg/L, obteniéndose una concentración final inferior al límite máximo permisible a 0,045 mg/L Norma Mexicana. A si mismo indican que el As (V) prevalece en aguas superficiales, mientras que es más probable encontrar As (III) en aguas subterráneas anaerobias; también indican que cuando hay presencia de As (III) es

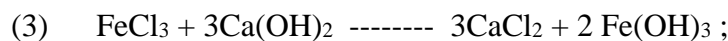


necesario su pre oxidación a As (V), lo que se logra con aplicación de cloro o de permanganato de potasio KMnO_4 u Ozono O_3 . Para adsorber el As, se debe estudiar tres factores: pH de 6 a 8; Masa de zeolita acondicionada de 5 a 15 g/L; y tiempo de contacto del agua con el sorbente de 0.16 a 1 hr; con dos niveles $2^3 = 8$ experimentos.

Rodríguez & Echeverría, (2008) Indican que para remoción del As se utilizan como oxidante cloro o hipocloritos con fierro, para obtener hidróxido férrico porque aseguran la completa oxidación y simultáneamente ayudan la desinfección del agua; teniéndose las reacciones de:



Si al mismo tiempo se añade cal tenemos



A medida que se aumenta el pH del agua, la adsorción del As disminuye.

Rojas Chaves, (2015), indica que el estudio de la remoción de arsénico As, se presenta en dos soluciones a nivel domiciliario: Uno por Oxidación Solar (SORAS) y otro por Coagulación Floculación. En ambos casos, el As, es removido por adsorción o coprecipitación sobre los óxidos hidróxidos de hierro (III) formados. En el sistema SORAS se encontró que para reducir el As, de 200 ug/L a menos de la norma (10 ug/L), se necesita entre 2 y 4 horas de exposición en un día soleado o nublado; consiste en colocar el agua contaminada en botellas PET transparentes e inclinadas, con adición de jugo de limón y hierro, poniéndose posteriormente las botellas a radiación solar para oxidar el As (III) y formar compuestos de coordinación entre el hierro y el citrato (proceso foto-frentón), el As(V) coprecipita con los hidróxidos de hierro formados; el sistema consiste en agregar As (V) de 200 ug/L, dosificándose posteriormente con 0,6 g/L de Fe^0 hilos de hierro, las botellas



se expusieron a radiación solar tomando cada hora una muestra por 6 horas, luego se filtran las muestras de agua (papel filtro) y se acidificaron con ácido nítrico (1+1), se compararon con blancos del proceso con radiación solar y el blanco sin radiación solar. En el sistema de coagulación-floculación las condiciones óptimas para obtener niveles de As, por debajo de la norma fue: Con floculante sintético, a pH 6 con 1mg/L de Polímero de cloruro de polidialil-dimetil amonio, con dosis de FeCl_3 de 12mg/L. Con floculante natural, a pH 6, con 250 mg/L de mazote (*Triumfetta semitriloba*) con dosis de FeCl_3 de 14mg/L. Se utilizó un prototipo de recipiente de coagulación-floculación y otro de filtración en arena, capaz de tratar 15 L, de agua sintética con 200 ug/L de As, y agua natural con 10 y 50 ug/L.

Hwang, (2002), explica que el tratamiento de remoción de arsénico As; consiste en tratar en un cubo de 20 L, al que se le añade una mezcla de cloruro férrico FeCl_3 ; carbón en polvo e hipoclorito de sodio NaClO , logrando una eficiencia de remoción del 91% con concentraciones desde los 91 – 274 ug/L, llegando a valores entre 9 y 22 ug/L de As.

Diario Oficial El Peruano, (2017). Publica el D.S. 004-2017 MINAM, dando a conocer los valores de remoción de Arsénico del agua deben ser controlados según Normas Nacionales de Estándares de Calidad del Agua (ECA), D.S. 004 – 2017 MINAM con valor de límite máximo permisible (LMP) de 0.01 mg/L de Arsénico en agua para consumo humano.

Echevarría & Rodríguez, (2010). Explican que el As, existe en la naturaleza en forma inorgánica, siendo esta la forma en que se encuentran en las aguas naturales, a su vez presentan cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo los más comunes sus estados de As (III) (arsenitos) y As (V) (arsenatos). En aguas superficiales con condiciones aeróbicas, es más frecuente encontrar el As (V) y en aguas profundas de pozo en condición anaeróbica es más común encontrar el As (III). La capacidad de disociación del



arsenato es más alta que la del arsenito ya que sus constantes de disociación son menores, esto hace que el arsenato As (V) en su remoción sea más eficiente.

Chávez Quijada & Toledo, (2011). Se evaluó una alternativa de tratamiento de simple. El método de Remoción de Arsénico por oxidación Solar RAOS, utilizando alambres de hierro N° 16 y jugo de limón variedad sutil. Se realizó pruebas experimentales con aguas sintéticas de un pH promedio de 6,7 y 0,2 mg/L de arsénico, obteniéndose una reducción de hasta un 98,5 % de arsénico total bajo una irradiación solar promedio de 612,1 W-h/m² en seis horas. Para un tratamiento de un litro de agua se empleó seis gramos de alambre N° 16 y 1,3 mL, de jugo de limón sutil. La experimentación en campo se realizó en la Región Apurímac en aguas del río Iscahuaca - Colcabamba que contiene 0,05 mg/L de arsénico, lográndose reducir el 88% de arsénico total bajo una irradiación solar promedio de 586 W-h/m². Los resultados indican que el método RAOS propuesto puede aplicarse para descontaminar aguas de consumo humano en zonas rurales.

Castro de Esparza, (2006). Indica que en la zona sur del Perú existen áreas semidesérticas cuya población bebe agua de los ríos que se originan en los andes y que fluyen hacia el Océano Pacífico, en algunos de estos ríos se han detectado arsénico, por ejemplo, el río Locumba con contenido de 0,5 mg As/L, que atraviesa Puno y Moquegua. En la localidad sur de la Región Puno se han reportado niveles de arsénico de 0,8 mg As/L, en pozos recientemente instalados en el que se realizan estudios de evaluación de alternativas para la remoción de arsénico.

Triszcz, (2005). En el estudio de remoción de arsénico en aguas de consumo domiciliario mediante técnica de ZVI (hierro cero Valente Fe⁰), oxidan el arsénico As (III) contenido en el agua con hierro, con flujo de aire de 0.2 a 0.8 L /min, obteniendo arsénico



(V) y Fe (III), por adsorción y coprecipitación con un tiempo de agitación de 25 a 40 minutos, a pH de 6 a 8.5, en el que es removido el arsénico.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.

El presente trabajo de investigación se realizó considerando las actividades de:

- Toma de muestras para corridas experimentales en laboratorio; las muestras de aguas naturales de pozo, fueron tomados en el distrito de Caracoto, provincia de San Román de la Región Puno, codificadas como muestra M-I. zona urbana sector Estadio deportivo Caracoto; muestra M-II. zona rural del distrito Caracoto. En la figura 2 se observa la ubicación geográfica



Figura 2: Ubicación geográfica del distrito de Caracoto (Fuente: web)

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.

El estudio se realizó en el laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Altiplano-Puno en el equipo de Proceso de Oxidación Avanzada, de mayo hasta septiembre del 2019.

Ubicación:

Provincia : Puno
Departamento : Puno
Dirección : Av. Sesquicentenario Ciudad Universitaria.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.

Aguas de pozo de distintos puntos del distrito de Caracoto de la provincia de San Román del departamento de Puno.



Figura 3: Mapa satelital del distrito de Caracoto (Fuente: Google Maps)

3.3.1. Recolección de Muestras de Aguas Naturales.

Se recogieron muestras de agua natural de pozos de la ciudad de Caracoto, utilizando frascos PET (1 L de capacidad) para determinar los parámetros fisicoquímicos y estas muestras fueron acondicionados con preservantes para su almacenamiento en Kuler y refrigerados a 4°C antes del análisis de laboratorio se adjunta los protocolos para toma de muestra en anexos en los informes de cada ensayo de laboratorio.



3.3.2. Análisis de Laboratorio.

Los métodos de ensayo utilizados para la determinación de arsénico en laboratorio fueron:

- EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por Espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP – OES), Revisión 4,4. Arsénico (Método de Ensayo Acreditado)

Los análisis fisicoquímicos de las experimentaciones realizadas de muestras de aguas naturales fueron evaluados en los “Laboratorios Analíticos del Sur -Arequipa” (LAS) con la certificación y acreditación de Instituto Nacional de Calidad (INACAL)

Ubicación:

Provincia	: Arequipa
Departamento	: Arequipa
Dirección	: Parque Industrial Rio Seco C-1 –Cerro Colorado.

Llegando a realizar un total de 6 números de ensayo con el método ya mencionado.

3.3.3. Materiales De Laboratorio

Las experimentaciones se realizaron en el laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Altiplano-Puno inicialmente se realizó 8 muestras experimentales para la determinación de insumos de Fe y NaClO a su vez encontrar el tiempo óptimo, para la ejecución del trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales:

- ❖ Vasos de precipitados
- ❖ Envases para muestras de 100 mL
- ❖ Matraz Erlenmeyer: 250 mL
- ❖ Probetas de 100mL, 250mL



- ❖ Embudo de vidrio
- ❖ Soporte de embudo.
- ❖ Espátula
- ❖ Una varilla
- ❖ Vaso precipitado de 1000 mL.
- ❖ Pipeta de 10 mL.
- ❖ Pissetas

3.3.4. Equipos de Laboratorio

Las experimentaciones se realizaron en el laboratorio de Tecnología de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Altiplano-Puno posterior a la cantidad óptima de Fe, NaClO y tiempo óptimo estimado se realizó 8 corridas experimentales controlando el tiempo y pH y se utilizaron los siguientes equipos:

- ❖ Equipo para proceso de Oxidación avanzada (POA) y fotocatalisis solar.
- ❖ Agitador magnético Marca CAT M6.1 (0-1600) rpm
- ❖ Balanza graduada Marca METTLER TOLEDO AB2 04 Max. 210g Min. 10 mg
- ❖ pH-metro FISHER SCIENCE EDUCATION
- ❖ Conductímetro HACH Sension 5

3.3.5. Insumos

- ❖ Agua destilada.
- ❖ Hipoclorito de sodio al 75% marca Daryza
- ❖ Hierro metálico en viruta.
- ❖ Papel Whatman N°10



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Diseño de la Investigación.

El estudio es de Investigación Tecnológica; Miranda, F. Medina, E. (2015), indican que el estudio de investigación tecnológica es el proceso ordenado, sistemático, riguroso, controlado y crítico, que, apoyado en la ciencia y experiencia previa, persigue transformar la realidad, creando nuevas formas de hacer las cosas; resolviendo problemas concretos de la sociedad.

En el presente trabajo de investigación se inicia con el análisis de aguas subterráneas dando énfasis al parámetro de arsénico, luego se procederá en laboratorio remocionar con el equipo de destilación avanzada y determinar la cantidad optima de hipoclorito de sodio, hierro en agua y la exposición de radiación UV al equipo de destilación a fin de tener un agua tratada y poder disminuir la cantidad de arsénico que inicialmente tuvo el agua subterránea a analizar.

3.4.2. Caracterización Inicial de Aguas Naturales Subterráneas

La metodología se basó en caracterizar las muestras de aguas naturales de pozo subterráneas de sector urbano y rural, ubicadas en el Distrito de Caracoto, Provincia de San Román, Región Puno, cuyas determinaciones físico químicos se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano; de acuerdo a la normatividad siguiente:

- ❖ Ley De Recursos Hídricos N°29338 y Su Reglamento
- ❖ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. D.S. 004-2017-MINAM
- ❖ Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.
- ❖ Ministerio de Salud (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

- ❖ Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 1: Valores límite de las aguas para el metal Arsénico.

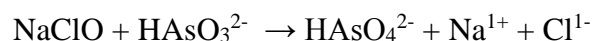
Metal	DS N° 031-2010-SA	D.S. N° 004-2017-MINAM
Arsénico	0.010 mg/L	0.010 mg/L

Fuente: Datos comparativos con normativas vigentes.

3.4.3. Desarrollo del Proceso de Remoción de Arsénico por Oxidación con Hierro y Radiación Solar

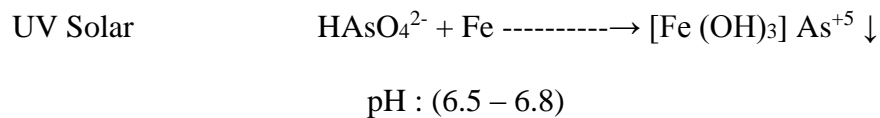
Para la remoción de arsénico As, contenido en aguas de pozo se considerarán las siguientes etapas de proceso:

1. ***Etapas de desinfección y de pre oxidación del agua:*** Preparar solución acuosa en un vaso precipitado de 1000 ml con concentración de 0,08 mg/L de As^{+3} y hacer reaccionar con hipoclorito de sodio (NaClO) con concentración de 2,2 ml/L. Simultáneamente, tomar agua contaminada con arsénico y enrasar. Las soluciones acuosas y de agua deben ser agitados para una mezcla completa.



2. ***Etapas de Oxidación con Hierro metálico:*** Preparar hierro metálico en viruta a partir de alambre de hierro con una concentración de 2 g/L; el cual debe reaccionar con la solución acuosa que contiene arsénico y en muestra de agua contaminada con arsénico, ambos de la etapa de desinfección. El tratamiento será a pH de 6-8, con agitación por 25 a 40 minutos y con recirculación del fluido en flujo continuo. (Triszcz. 2005)

3. ***Etapas de Oxidación con radiación solar:*** Las muestras de la solución acuosa y del agua de la etapa de Oxidación con Hierro metálico, manteniendo un flujo continuo de caudal se debe hacer circular por el circuito de tubos de adsorción de radiación solar, con control del flujo de caudal, tanto para la solución acuosa y agua contaminada con arsénico, fluidos que serán oxidados por exposición a radiación UV solar, que recircularan por un tiempo determinado según remoción de arsénico para llegar a los límites máximo permisibles de 0.01 mg de As/L, y la evaluación de radiación solar por un radiómetro.



3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1. Modelo Matemático para la Investigación

El diseño factorial de experimentos nos permite planificar eficientemente la experimentación con el número mínimo de ensayos para obtener la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, que constituye la base para un proceso posterior de optimización.

El número total de experimentos a realizarse viene definido por la relación:

$$N = 2^k$$

Siendo:

N = Número total de experimentos

k = Número de variables

Para la siguiente experimentación se realiza de tres factores y se plantea dos niveles, por lo que se requerirán:

$$\text{Número de experimentos} = 2^3 = 8 \text{ experimentos.}$$



El porcentaje de adsorción de arsénico es la variable respuesta para el siguiente trabajo de investigación.

Se han tomado tres variables independientes que son:

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Exposición del equipo a la radiación solar
- Porcentaje de remoción de arsénico en agua de pozos subterráneos de la ciudad de Caracoto

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Hierro, pH, tiempo

3.5.2. Diseño Factorial Experimental

Para un diseño factorial 2^3 para tres factores o variables originales (cantidad de Fe, pH y tiempo) y cada factor con tres niveles ($N = 2k$), donde $k = 3$, se tiene el siguiente modelo matemático:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

Dónde:

Y = Variable respuesta Rendimiento

X_1, X_2, X_3 = Variables codificadas de entrada.

$X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3, X_1X_2X_3$ = Interacciones entre las tres variables principales

Se debe determinar primeramente los valores de X_1, X_2 y X_3 en función a las variables de entrada del proceso y luego los valores $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_7$ (coeficientes de regresión) en función a la variable respuesta Rendimiento de extracción (Y)

3.5.3. Rendimiento de Porcentaje de Absorbancia

La variable respuesta del diseño factorial se cuantifica en el porcentaje de rendimiento de arsénico recuperado, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$\%Remocion = \left(\frac{[C]_{inicial} - [C]_{final}}{[C]_{inicial}} * 100\% \right) \quad (4)$$

Dónde:

%Remoción= Absorbancia de remoción de arsénico

[C] inicial = Concentración inicial de As en el agua sin tratamiento (mg/L)

[C] final = Concentración final del As en agua después de experimentación de tratamiento (mg/L)

3.6. PROCEDIMIENTO

3.6.1. Determinación de cantidades óptimas para pruebas experimentales

Las pruebas experimentales en laboratorio se trabajaron teniendo en cuenta antecedentes de investigaciones y ensayos de cantidades óptimas para tratamiento de aguas y a partir de estos datos publicados se realizó una cantidad de 8 pruebas respectivamente para encontrar la optimización adecuada de insumos como hipoclorito de sodio, el hierro y a su vez encontrar el tiempo.

Los experimentos se desarrollaron en el laboratorio de tecnología de aguas de la Facultad de Ingeniería Química FIQ – UNA – Puno, el procedimiento comprende en preparación de hierro metálico diluido por oxidación y preparación de disolución de hipoclorito de sodio; en las siguientes concentraciones:

Dilución de fierro por oxidación:

- Solución stock: Pesar una cantidad de hierro y diluirlo en 2 000 mL de agua destilada, de concentración de 4g/L.

- Agitar la solución por 30 minutos a 200 rpm hasta su mayor dilución.
- Dejar en reposo por 30 minutos
- Filtrar el agua diluida en papel Whatman N° 10, y conservar la solución de (Fe) stock.

Preparación de solución de hipoclorito de sodio:

- Se requiere solución de hipoclorito de sodio comercial (cloro).



Figura 4: Muestras de hierro metálico en dilución

3.6.2. Pruebas Experimentales.

Se realizaron ensayos en el equipo de laboratorio de proceso de oxidación avanzada- de fotocátalisis solar (POA):

- Realizar la limpieza y desinfección del equipo de fotocátalisis solar.
- Preparar los insumos requeridos óptimos para nuestros ensayos.
- En un volumen de 100 L, de muestras de agua de pozo subterránea se diluye una cantidad pre determinada de hierro diluido e hipoclorito de sodio, de acuerdo a cantidades determinadas en el diseño estadístico.



- Impulsar mediante un electro bomba el agua mezclado y homogenizado con las cantidades optimas de hierro diluido e hipoclorito de sodio, durante un periodo óptimo de tiempo.
- Transcurrido diferentes controles de tiempos programados, se recepciona el agua tratada para su respectivo análisis fisicoquímico de remoción de arsénico (As).
- En cada una de las muestras del tratamiento de agua para remoción de arsénico, se determina la variación de potencial de hidrogeno (pH).
- El proceso de tratamiento de agua natural de pozos subterráneos para la remoción de arsénico, se observa en el diagrama de flujo de la figura 6.

3.6.3. Diagrama de Flujo: Remoción de Arsénico Aguas Naturales De Pozos.

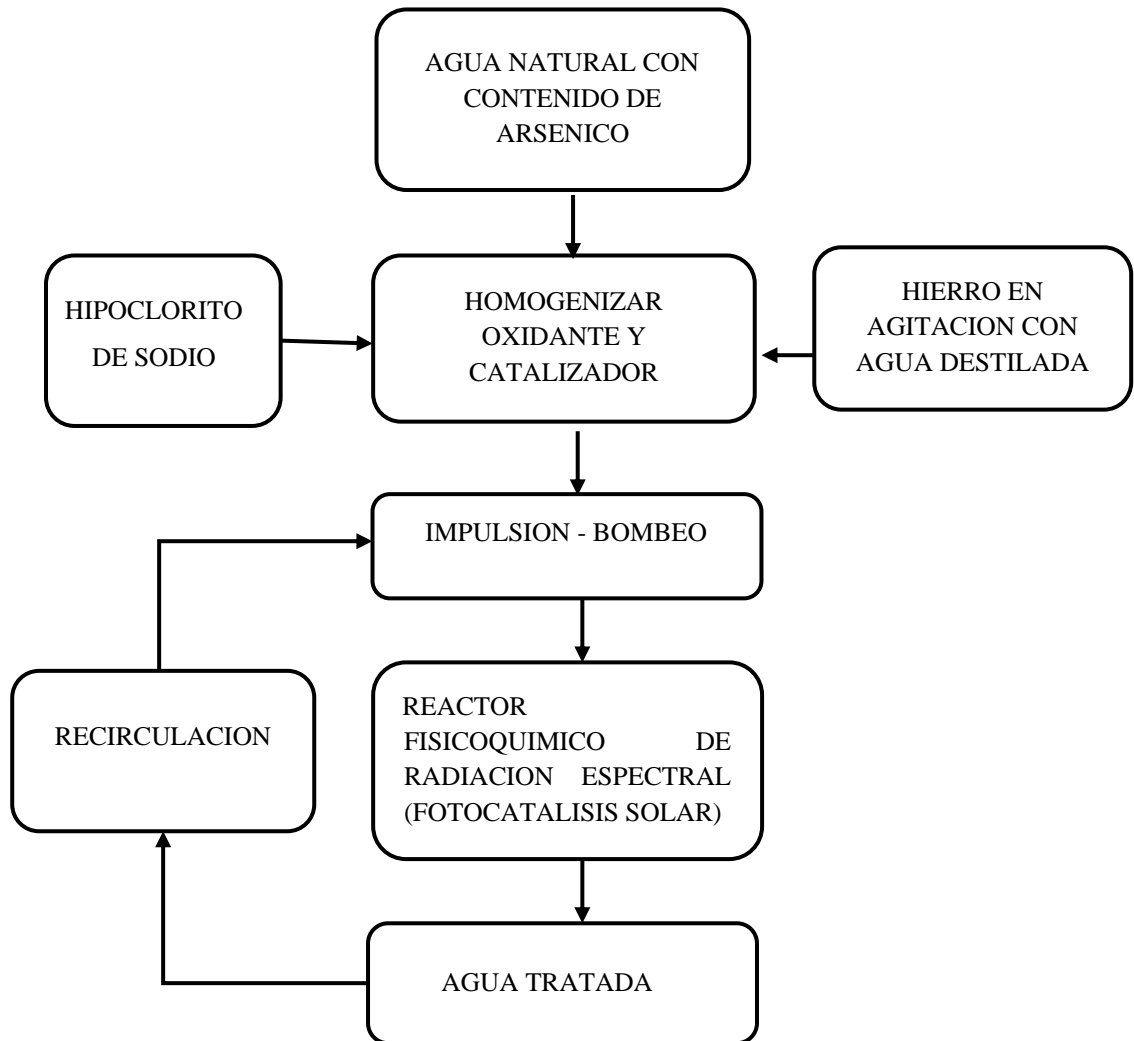


Figura 5: Diagrama de flujo: Proceso de oxidación avanzada para remoción de arsénico.

2.3.1.1. Equipo de radiación solar de laboratorio.

Se dispone de un equipo de laboratorio para tratamiento de aguas por espectros de radiación solar que cuenta con 6 unidades de tubos de 2 pulgadas de diámetro, para flujo continuo de recirculación de un volumen de 75 litros de muestra de agua para tratamiento simultáneo del agua para la radiación solar.

Para evaluar la eficiencia del tratamiento y la dosificación óptima, el cual se hizo la experimentación.



Figura 6: Equipo para proceso de oxidación avanzada (POA)-fotocatálisis solar.

Las muestras experimentales que varían en función de concentraciones de: Oxidante hierro, catalizador hipoclorito de sodio, control del tiempo de flujo de recirculación de agua, control de pH y temperatura.

Los valores de concentración de los oxidantes se tomaron en función a pruebas de la determinación óptima y diseño estadístico: Para Oxidante hierro (Fe) previa agitación en agua ver tabla 2; catalizador hipoclorito de sodio (NaClO), de concentración del 7%, tres valores en función a antecedentes y experimentación (165; 330 y 495 mL (NaClO) / 75 litros de agua). Para el control del tiempo de flujo, ver tabla 8, para remoción del 94% y 88% de arsénico, equivalen al flujo continuo de recirculación de agua y recepción de radiación solar, para 4 y 3 horas respectivamente. Para la variable pH óptimo ver tabla 12, para remoción del 93% y 92% de arsénico, equivale al flujo continuo de recirculación de agua para NaClO.

Tabla 2: Cantidades de Insumos para Experimentación para fotocatalisis solar

Muestras	Hierro (g/L)	NaClO (mL) 75 L. Agua	Ti empo (hora)	H	l	N° pruebas
Muestra 1	2.0	165	4	0	7.	2
Muestra 2	2.0	330	4	0	7.	2
Muestra 3	2.0	495	4	0	7.	2
Muestra 4	1.7	165	3	5	6.	2
Muestra 5	1.7	330	3	5	6.	2
Muestra 6	1.7	495	3	5	6.	2
Cantidad total de experimentaciones						12

Fuente: Elaboración propia.

3.7. VARIABLES

3.7.1. Determinación de Tiempo Óptimo para remoción de Arsénico (As).

Se realizaron 8 pruebas experimentales de muestras de aguas naturales de pozos subterráneos en tratamiento, para diferentes tiempos de agitación; con la finalidad posterior de obtener el tiempo óptimo de recirculación y la toma de muestras de agua en tratamiento a diferentes tiempos de recirculación a flujo continuo, sometidos a radiación solar:

Tabla 3: Reactivos Químicos para determinar el Tiempo Optimo.

Insumo	Cantidad	Unidad
Fe	2.0	g/L
Hipoclorito de sodio al (7%)	4.4	ml/L
Agua muestra	100	ml
(As), concentración inicial (Co)	0.08	mg/L

La agitación se realizó a 200 rpm, para diferentes de tiempos de mezcla.



3.7.2. Determinación de Hierro Óptimo para remoción de Arsénico (As).

Se realizaron 8 pruebas experimentales a diferentes concentraciones de hierro (g/L), para una mezcla por agitación por un tiempo óptimo fijo de 30 minutos. La evaluación se desarrolló considerando los parámetros que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Reactivos Químicos para Determinar la Cantidad óptimo de hierro

Insumo	Cantidad	Unidad
Agua	100	ml
Tiempo agitación	30	min
NaClO al (7%)	4.4	ml/L
(As), concentración inicial (Co)	0.08	mg/L

La agitación se realizó a 200 rpm, por un tiempo óptimo de 30 minutos, a diferentes concentraciones hierro (mg/L).

3.7.3. Determinación de pH óptimo para remoción de Arsénico (As).

Se realizó 8 pruebas experimentales a diferentes variables de pH, con un tiempo óptimo de agitación por 30 minutos, para una concentración de fierro óptimo de 1.7 g/L; los valores de los parámetros cuantificados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Reactivos Químicos para Determinar la Cantidad Optimo de Hipoclorito de Sodio.

Insumo	Cantidad	Unidad
Agua	100	mL
Tiempo agitación	30	min
NaClO al (7%)	4.4	mL
Hierro	1.7	g/L
(As), concentración inicial (Co)	0.08	mg/L

Se llevó a una agitación a 200 rpm para homogenizar la mezcla; con el fin de obtener el pH óptimo, a una concentración optima de hierro de 1.7 g/L.

3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.8.1. Análisis físico-químico del agua natural de pozos subterráneos con contenido

Arsénico procedentes del distrito de Caracoto.

De acuerdo con los análisis de laboratorio certificado y acreditado se encontró contenido de arsénico en muestras de agua de pozos subterráneos en el distrito de Caracoto que corresponden a la muestra M-I en el área urbano del estadio deportivo Caracoto y la muestra M-II en el área rural; se debe indicar que las muestras de agua de los dos puntos de muestreo exceden en el contenido de arsénico (As) en comparación a los valores evaluados con los límites máximo permisibles (LMP) del D.S. N°. 031-2010 SA y D.S. N°. 004-2017. MINAM, tal como se observa en la tabla 6.

Tabla 6: Análisis fisicoquímico de muestras de agua natural de pozos subterráneos del Distrito de Caracoto

Metal	Puntos de muestreo	As (mg/L)	LMP. D.S. N° 004-2017-MINAM (mg/L)
Arsénico	M-I. Urbano	0.152	0.010
Arsénico	M-II. Rural	0.180	0.010

Fuente: Elaboración propia en base a Normativas Nacionales

Realizadas las pruebas experimentales se encontró como resultado los siguientes puntos:

Tabla 7: Variables con Cantidades optimas de insumos.

Factor	Unidad	Mínimo	Máximo	Optimo
Hierro disuelto	g/L	1.7	2.0	1.7
NaClO al (7%)	75 ml/L	165.0	495.0	495.0
Tiempo	Horas	3.0	4.0	3.0
pH		6.5	7.0	7.0

Fuente: Programa de la tabla ANOVA

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TIEMPO ÓPTIMO

Según Rojas Chavez (2015) se encontró que para reducir As en el sistema SORAS necesito entre 2 a 4 horas de exposición en un día soleado o nublado, consistio en colocar botellas PET transparentes inclinadas con adición de jugo de limón y hierro poniéndose a las botellas, con un porcentaje de remoción al 95% pero en mayor cantidad de tiempo.

Sin embargo en el proceso de fotocátalisis solar depende de una serie de características como es el caso del tiempo óptimo de mezcla del agua en su proceso de tratamiento y exposición a la radiación solar. Para la remoción de arsénico contenido en la solución acuosa de concentración inicial de 0.08 mg/L, esta fue evaluada para diferentes tiempos de agitación y de esta se obtuvieron los diferentes valores del porcentaje de remoción de arsénico, cuyos resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8: Pruebas experimentales con variable Tiempo.

n	Tiempo (min)	C. Inicial As ⁺³ (mg/L)	C. final As (mg/L)	Remoción (As) (%)
1	0	0.08	0.0128	84
2	10	0.08	0.0142	82
3	20	0.08	0.0094	88
4	30	0.08	0.0052	94
5	40	0.08	0.0081	90
6	50	0.08	0.0096	88
7	60	0.08	0.0102	87
8	70	0.08	0.0107	87

Fuente: Programa de la tabla ANOVA

Los siguientes gráficos:

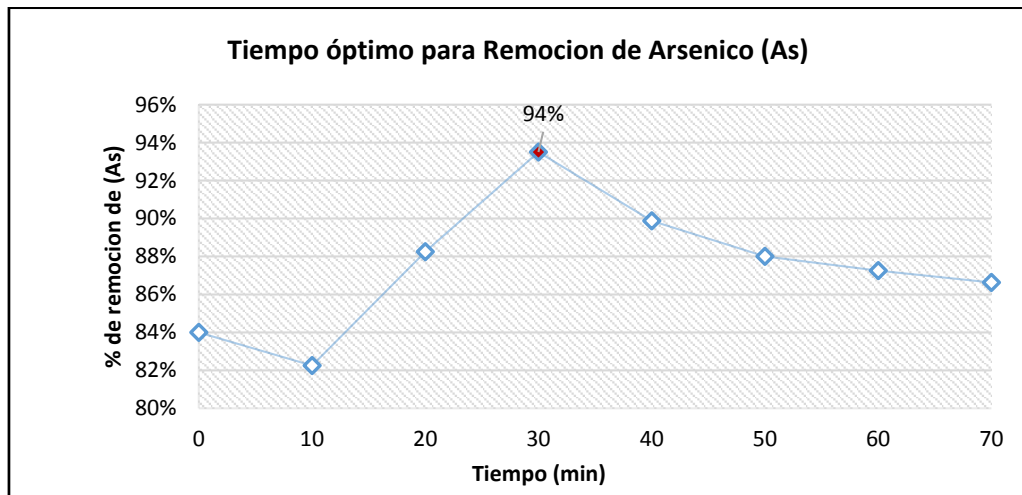


Figura 7: Porcentaje de remoción de Arsénico en función al tiempo.

En la figura 8 se muestra que en un tiempo de 30 minutos logra una remoción máxima del arsénico en un 94%, siendo el tiempo óptimo.

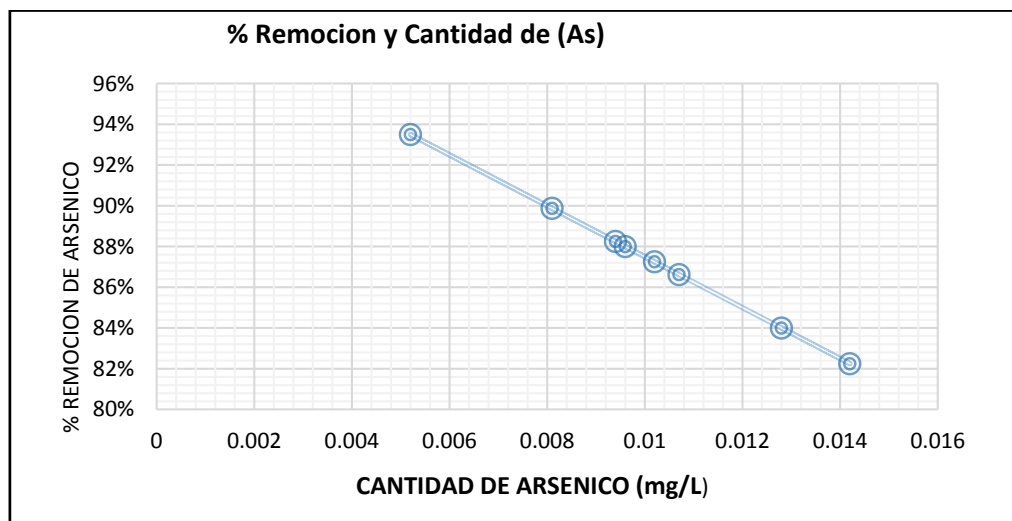


Figura 8: Grafico de porcentaje de absorbanca y remoción de Arsénico.

La figura 8, muestra que en el 94% de remoción de arsénico se encontró una concentración de 0.0052 mg/L de arsénico residual en la solución de agua.

4.1.1. Análisis de Varianza Para Tiempo Óptimo de Remoción de Arsénico.

Tabla 9: Análisis de varianza para tiempo óptimo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00658203	3	0.00219401	5.08	0.0751
Intra grupos	0.00172656	4	0.00043164		
Total (Corr.)	0.00830859	7			

Fuente: Análisis de varianza calculada por programa STATGRAPHICS Centurion.

Tabla ANOVA para remoción de (As) por Tiempos, indica que la razón-F, que en este caso es igual a 5,08, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado intra-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05 no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de remoción de As entre un nivel de Tiempo 30 y 20 minutos, con un nivel del 95.0% de confianza.

4.1.2. Superficie de Respuesta.

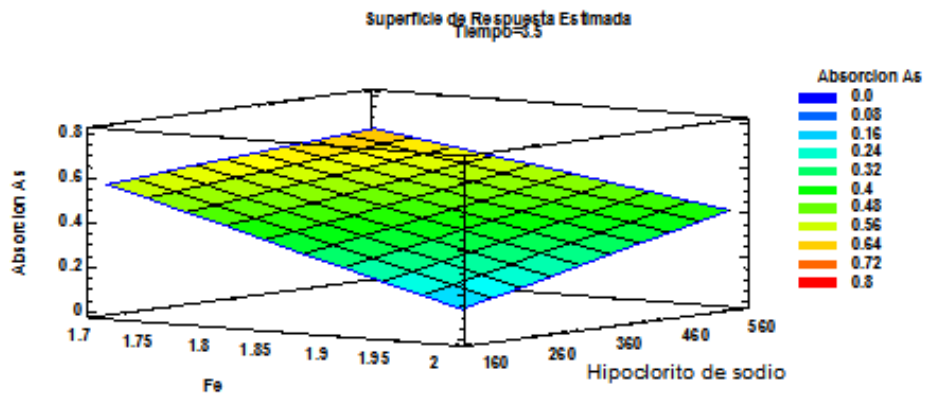


Figura 9: Superficie de respuesta estimada para tiempo óptimo.

La figura 9, da a conocer contornos de superficie de respuesta para la adsorción de arsénico con hierro y NaClO. La adsorción de arsénico es aproximadamente de 94% en función de cantidad de Fe y NaClO. Manteniendo el tiempo como variable que no interviniente, es decir, sea el tiempo óptimo mayor de 30 minutos o menor de 20 minutos,

la remoción de arsénico no será afectado para lo cual se ha elegido un tiempo óptimo de 30 minutos.

4.2. RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO ÓPTIMO

En discusión con Franco M & Carro Perez (2014) que en sus ensayos se sometió a pre-oxidación del arsénico mediante cloración – oxidación con NaClO de 2.2 mg/L como dosis óptima; una concentración mayor a la que se encontró en esta experimentación.

El proceso de fotocatalisis solar depende de una serie de características como es el caso de la concentración de hierro, para las diferentes pruebas se consideraron diferentes concentraciones del oxidante hierro y a su vez a cada prueba fue a un tiempo uniforme de 30 minutos, para remocionar desde una cantidad inicial de Arsénico de 0.08 mg/L, en la solución de agua; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10: Pruebas experimentales con variable de hierro

n	Fe (g/L)	C. Inicial As (mg/L)	C. Final As (mg/L)	Remoción (As) (%)
1	0.25	0.08	0.0627	21.63
2	0.5	0.08	0.0662	17.25
3	0.8	0.08	0.0791	01.13
4	1	0.08	0.0629	21.38
5	1.2	0.08	0.0609	23.88
6	1.5	0.08	0.00662	91.73
7	1.7	0.08	0.0066	91.75
8	2	0.08	0.0067	91.63

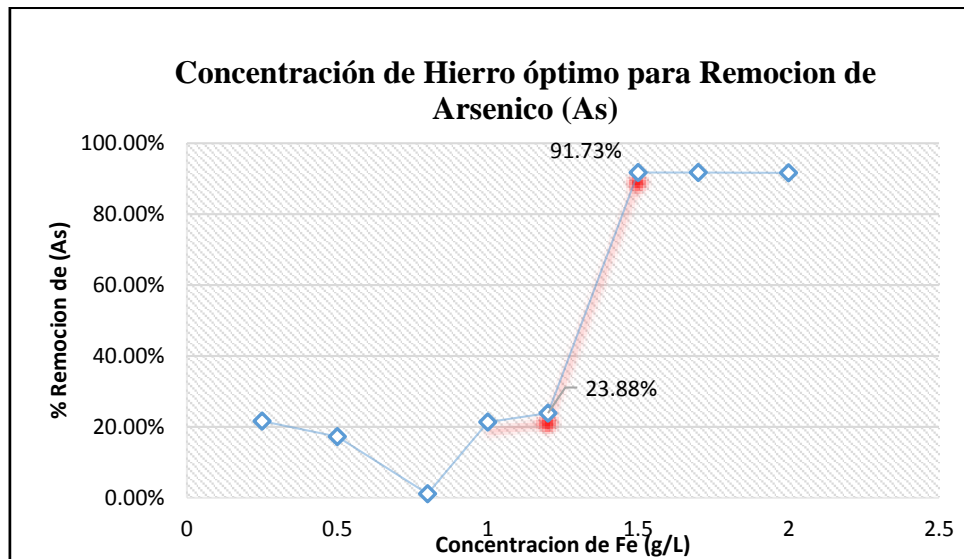


Figura 10: Porcentaje de remoción de As en función al hierro óptimo.

Como se observa en la figura 10, el punto de mayor remoción de arsénico fue al 91.75%, con una cantidad de hierro de 1.7 g/L

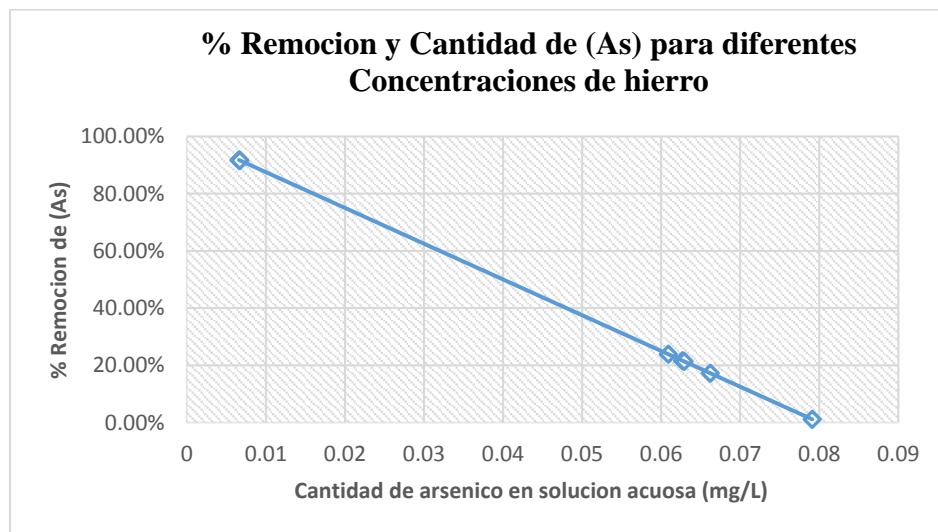


Figura 11: Grafico de porcentaje de absorbanca y remoción de Arsénico.

En la figura 11, se observa que a la cantidad de 1.7 g/L de hierro, se obtuvo un residual de arsénico de 0.0066 mg/L que equivale a un 91.75% de remoción de arsénico (As).

4.2.1. Análisis de Varianza Para Concentración de Hierro

Tabla 11. Análisis de varianza para Oxidante Hierro Óptimo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.827212	3	0.275737	4.38	0.0937
Intra grupos	0.251642	4	0.0629105		
Total (Corr.)	1.07885	7			

Fuente: Análisis de varianza calculada por programa STATGRAPHICS Centurion.

Tabla ANOVA para remoción de As por Cantidad de Fe. Reporta la razón-F, que en este caso es igual a 4.38, y es el cociente entre el estimado entre - grupos y el estimado intra - grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Remoción de (As) entre un nivel de la Cantidad de Fe de 1.7 g/L y 2g/L, con un nivel del 95.0% de confianza. Para las evaluaciones se opta por una concentración de hierro de 2g/L.

4.2.2. Superficie de Respuesta

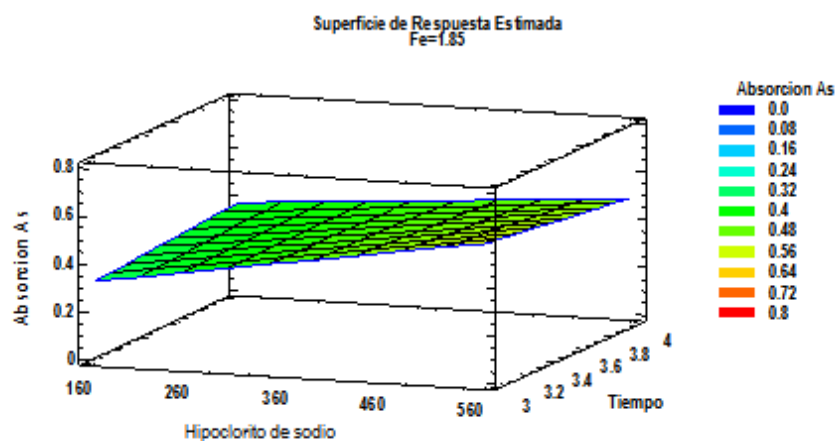


Figura 12. Superficie de respuesta estimada para hierro óptimo.

La figura 12, nos muestra contornos de superficie de respuesta para la remoción del 91.75% de arsénico en un tiempo estimado de 30 minutos. en función de cantidad de hipoclorito de sodio NaClO.

4.3. RESULTADOS DE PH ÓPTIMO

De la misma forma según Franco & Marco Perez (2014) en sus ensayos encontraron que la remoción óptima fue con cloruro férrico de una concentración de 2.2 mg/L a un pH de 3-5 con un porcentaje de remoción del 95%

El proceso de fotocátalisis solar depende de una serie de características como es el caso del pH para el cual se realizaron una serie de pruebas con una concentración inicial de Arsénico (As) de 0.08 mg/L, con un tiempo uniforme de 30 minutos, obteniendo los resultados que exponen en la tabla 12

Tabla 12: Pruebas experimentales para obtener pH óptimo.

n	pH	C. Inicial As (mg/L)	C. final As (mg/L)	Remoción (%)
1	10	0.08	0.0650	19
2	9.5	0.08	0.0680	15
3	9.0	0.08	0.0710	11
4	8.5	0.08	0.0600	25
5	8.0	0.08	0.0580	28
6	7.5	0.08	0.0630	21
7	7.0	0.08	0.0060	93
8	6.5	0.08	0.0061	92

Se observa que con un pH de 7 se logró una remoción de Arsénico del 93%, con un valor de arsénico residual de 0.0060 mg/L en la muestra de agua, por lo tanto, el agua tratada es apto para consumo humano según los Estándar de Calidad del Agua, ECA. D.S. 004-2017 MINAM, ya que esta norma estima una concentración menor al LMP de 0.01 mg/L de arsénico.

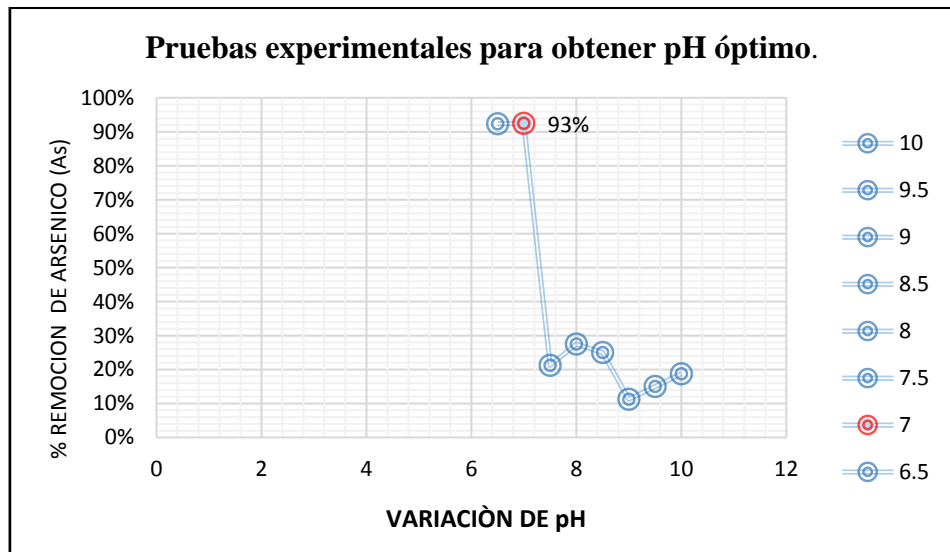


Figura 13: Porcentaje de remoción de As en función al pH óptimo

En la figura 13 se muestra que el mayor porcentaje de remoción de (As) es a un 93%, que corresponde a una cantidad de pH óptimo de 7.

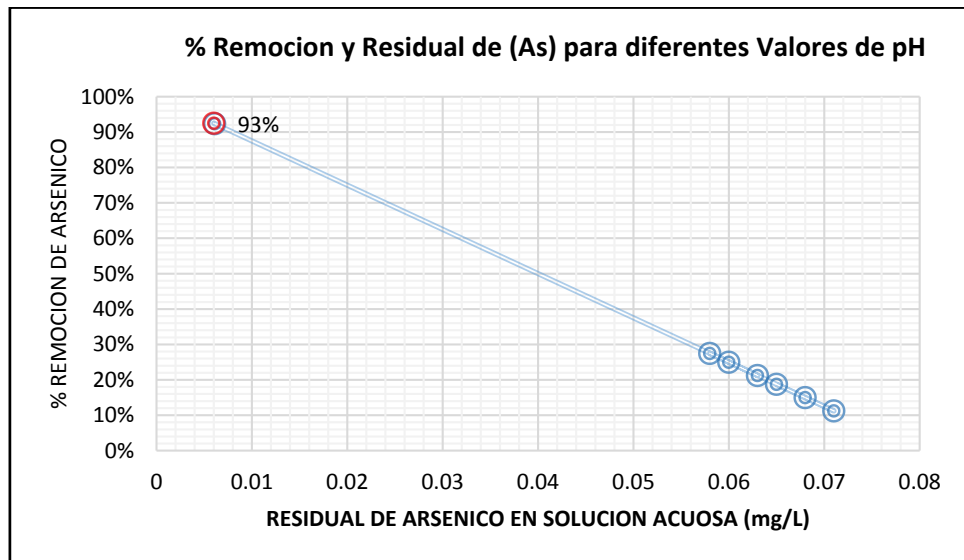


Figura 14. Gráfico de porcentaje de absorbancia y remoción de Arsénico.

En la figura 14, se observa que al 93% de remoción de arsénico (As) se tiene un residual de 0.006 mg/L de concentración de arsénico en la solución acuosa, valor que confirma que el agua es apta para consumo humano según los Estándares de Calidad del Agua ECA D.S. 004-2017. MINAM

4.3.1. Análisis De Varianza Para pH

Tabla 13: Análisis de varianza para pH óptimo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.798072	4	0.199518	49.43	0.0045
Intra grupos	0.0121094	3	0.0040364		
Total (Corr.)	0.810181	7			

Fuente: Tabla ANOVA.

Para remoción de As considerando diferentes valores de pH. La razón-F, que en este caso es igual a 49.429, es el cociente estimado entre - grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de remoción de As, entre un nivel de pH 7 y pH 6.5, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se procederá a las Pruebas de Múltiples Rangos.

a) Pruebas de Múltiple Rangos para Adsorción As a diferentes pH

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla 14. Tabla de pruebas múltiples para rangos de pH

pH	Casos	Media	Grupos Homogéneos
9.75	2	0.16875	X
8.75	2	0.18125	X
7.75	2	0.24375	X
6.50	1	0.92375	X
6.75	1	0.92500	X

Fuente: Tabla ANOVA

En la tabla 14, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de los grupos homogéneos de pH siguientes 9.75-8.75-7.75 en columnas. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias de los grupos, es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0%

al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Por lo tanto la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher es óptimo para pH de 6.75 a 7.75 y para las evaluaciones de la media de pH óptimo, se ha tomado el valor de pH 7.

Tabla 15: Comparación múltiple para la media significativa.

Contraste	Sig	Diferencia	+/- Límites
6.5 - 6.75		-0.00125	0.285941
6.5 - 7.75	*	0.68000	0.247632
6.5 - 8.75	*	0.74250	0.247632
6.5 - 9.75	*	0.75500	0.247632
6.75 - 7.75	*	0.68125	0.247632
6.75 - 8.75	*	0.74375	0.247632
6.75 - 9.75	*	0.75625	0.247632
7.75 - 8.75		0.06250	0.202191
7.75 - 9.75		0.07500	0.202191
8.75 - 9.75		0.01250	0.202191

Fuente: Tabla ANOVA * indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

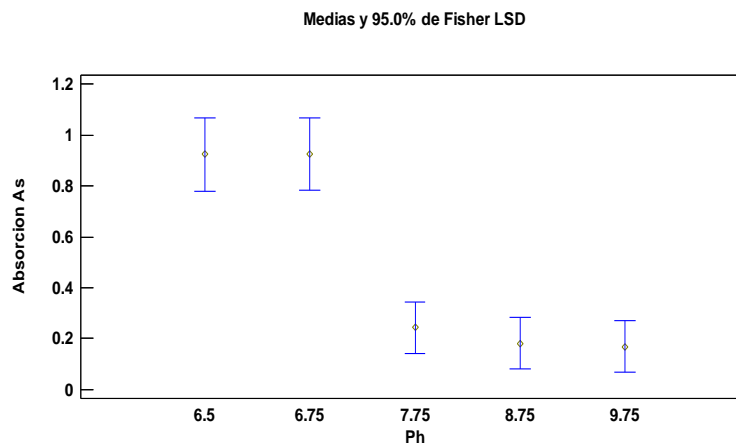


Figura 15: Diagrama entre medias y nivel de confianza.

En la figura 15 el diagrama de Fisher LSD con un 95% de confianza entre medias de pH 7.75 y pH 6.75 nos muestra la mejor relación de remoción de arsénico a un pH, 7, optimo que esta aproximadamente entre 6.75 a 7.75 según el diagrama.

4.3.2. Superficie de Respuesta

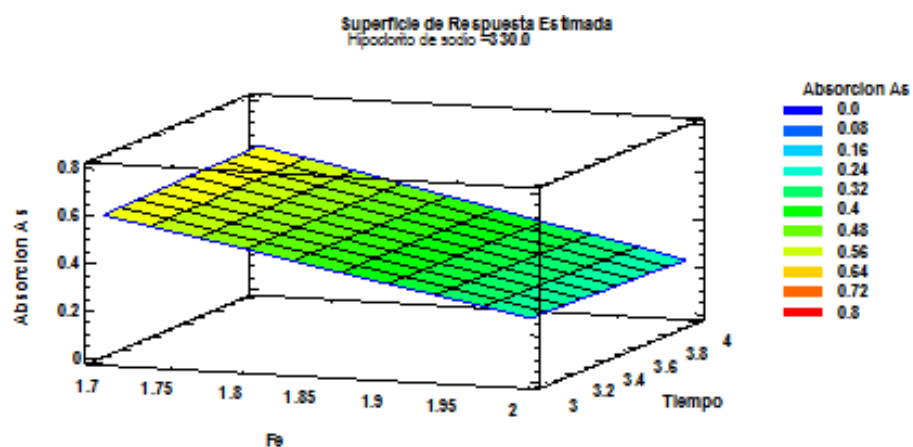


Figura 16: Superficie de respuesta estimada para NaClO óptimo.

La figura 16 nos muestra contornos de superficie de respuesta para la adsorción de arsénico con tratamiento con oxidante hierro, oxidante hipoclorito de sodio (NaClO) al 7% y un tiempo estimado. La adsorción de arsénico es aproximadamente del 93% en función de cantidad de 1.75 a 2 g/L de Fe, NaClO y tiempo.

4.4. RESULTADOS DE EXPERIMENTACIONES REACTOR DE FOTOCATÁLISIS

SOLAR

Se hizo diferentes corridas para tratamiento de la remoción de arsénico; con el fin de obtener la cantidad adecuada de hipoclorito de sodio y además contrastar a diferentes tiempos el porcentaje de mayor remoción de arsénico del cual se ha obtenido los siguientes resultados:

4.4.1. Experimentación N° 1 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.

Se tiene los siguientes datos registrados de la recirculación de agua de pozo subterráneo a tratarse, en el Reactor de fotocátalisis solar:

Cantidad de Fe diluido	:2 g/L
Cantidad de agua en recirculación	:75 litros
Cantidad de NaClO del (7%)	: 165 mL/75 L.
Tiempo de recirculación	: de 3 a 4 horas

Resultados insitu: Se controló la variación de pH, tiempo y temperatura.

Tabla 16: Resultados insitu de experimentación N°1

Experimentaciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Fecha (dd/mm/aa)	26-06-19	27-06-19	18-07-19	25-08-19
Duración (horas)	4	4	3	3
pH inicial	10	10.2	10.2	9.85
pH final	9.77	9.80	9.60	9.58
Temperatura inicial (°C)	13.1	13	13	13
Temperatura final (°C)	28	25	25	29

El pH final del agua tratada, es alcalino cuyo pH varía de 9.60 a 9.80

Resultados de laboratorio: Las muestras fueron evaluadas en los Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa, (ver certificaciones en Anexos Tabla E-1), cuyos resultados se exponen en la tabla 17. Obteniéndose los valores de:

Tabla 17. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°1

Remoción (As)	Prueba 1 (mg/L)	Prueba 2 (mg/L)	Prueba 3 (mg/L)	Prueba 4 (mg/L)
Inicial (As)	0.2730	0.2730	0.2730	0.2730
Final (As)	0.0273	0.0231	0.0230	0.0240
%Remoción (As)	90	92	92	91

En la tabla 17 del reporte se encontró que la remoción de arsénico de soluciones acuosas fue óptima en todas las pruebas con una mayor remoción de arsénico del 92% que corresponde para las pruebas 2 y 3.

4.4.2. Experimentación N°2 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.

Se tiene los siguientes datos registrados del tratamiento de la recirculación de agua de pozo subterráneo a tratarse, en el Reactor de Fotocatálisis Solar:

Cantidad de Fe diluido	:2 g/L
Cantidad de agua en circulación	:75 litros
Cantidad de NaClO del (7%)	:330 ml./75 L.

Resultados insitu: Se controlaron las variaciones de pH y temperatura.

Tabla 18: Resultados insitu de experimentación N°2

Experimentaciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Fecha (dd/mm/aa)	28-06-19	01-07-19	19-07-19	25-08-19
Duración (horas)	4	4	3	3
pH inicial	8.10	8.20	8.10	8.17
pH final	7.97	7.90	7.98	7.86
Temperatura inicial (°C)	15	15	15	15
Temperatura final (°C)	25	25	26	32

Como se puede observar el pH del agua final tratada tiende a ser neutro desde 7.86 hasta 7.97, apto para consumo humano según los límites máximo permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM.

Resultados de laboratorio: El control de calidad de las muestras se realizaron en los Laboratorios Analíticos del Sur- Arequipa, (certificación ver anexo E-2), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 19: Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°2

Remoción As	Prueba 1 (mg/L)	Prueba 2 (mg/L)	Prueba 3 (mg/L)	Prueba 4 (mg/L)
Inicial As	0.2730	0.2730	0.2730	0.2730
Final As	0.0229	0.021	0.021	0.020
% Remoción	92	92	92	93

La remoción de arsénico es óptima en todas las pruebas, con una remoción de arsénico (As) del 92%

4.4.3. Experimentación N°3 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.

Se tiene los siguientes datos registrados de la recirculación de agua de pozo subterráneo a tratarse, en el Reactor de Fotocatálisis Solar:

Cantidad de Fe diluido	:2 g/L
Cantidad de agua en recirculación	:75 litros
Cantidad de NaClO del (7%)	:495 ml / 75 L.

Resultados insitu: Se controlaron las variaciones de pH y temperatura y la conductividad eléctrica y solidos totales en suspensión.

Tabla 20. Resultados insitu de experimentación N°3

Experimentaciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Fecha (dd/mm/aa)	02-07-19	03-07-19	22-07-19	26-08-19
Duración (horas)	4	4	3	3
pH inicial	8.30	8.35	8.38	8.46
pH final	8.24	8.27	8.30	8.02
Temperatura inicial (°C)	15	15	15	15
Temperatura final (°C)	32.2	30	32	35

Como se puede observar el pH del agua final tratada es alcalino de 8.02 a 8.30 siendo el agua alcalina, no recomendable para consumo humano, según los límites máximo permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM.

Resultados de laboratorio: Las muestras fueron analizadas en los Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa, (certificación ver anexo E-3), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 21: Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°3

Remoción As	Prueba 1 (mg/L)	Prueba 2 (mg/L)	Prueba 3 (mg/L)	Prueba 4 (mg/L)
Inicial As	0.273	0.273	0.273	0.273
Final As	0.018	0.019	0.016	0.015
% Remoción (As)	93	93	94	95

La remoción de arsénico es óptima en todas las pruebas, teniéndose un 95% de remoción de arsénico (As).

4.4.4. Experimentación N°4 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.

Se tiene los siguientes datos registrados de la recirculación de agua de pozo subterráneo en tratamiento en el equipo de fotocatálisis solar:

Cantidad de Fe diluido	:1.7 g/L
Cantidad de agua en circulación	:75 litros
Cantidad de NaClO del (7%)	:165 ml/75 L.

Resultados insitu: Se controló la variación de pH y temperatura

Tabla 22. Resultados insitu de experimentación N°4

Experimentaciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Fecha (dd/mm/aa)	08-07-19	03-07-19	22-07-19	26-08-19
Duración (horas)	4	4	3	3
pH inicial	8.86	8.80	8.85	8.85
pH final	8.11	8.05	7.97	8.01
Temperatura inicial (°C)	15.5	15.5	15.8	15.5
Temperatura final (°C)	30	30	30	34

Como se puede observar el pH del agua final tratada es alcalino desde 8.11 hasta 7.97 con un pH neutro recomendable para consumo humano, según los límites máximos permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM.

Resultados de laboratorio: Las muestras fueron evaluadas en los Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa, (certificación ver anexo E-4), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 23. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°4

Remoción (As)	Prueba 1 (mg/L)	Prueba 2 (mg/L)	Prueba 3 (mg/L)	Prueba 4 (mg/L)
Inicial As	0.273	0.273	0.273	0.273
Final As	0.010	0.011	0.014	0.012
% Remoción (As)	96	96	95	96

La remoción de arsénico es óptima en todas las pruebas teniéndose una máxima remoción de arsénico (As) del 96%.

4.4.5. Experimentación N°5 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.

Se tiene los siguientes datos registrados de la circulación en el equipo de fotocatalisis solar:

Cantidad de (Fe) diluido	:1.7 g/L
Cantidad de agua en circulación	:75 litros
Cantidad de NaClO del (7%)	:330 ml/75 L.

Resultados insitu: Se controlaron las variaciones de pH y temperatura.

Tabla 24: Resultados insitu de experimentación N°5

Experimentaciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Fecha (dd/mm/aa)	09-07-19	12-07-19	24-07-19	27-08-19
Duración (horas)	4	4	3	3
pH inicial	8.53	8.50	8.48	8.62
pH final	8.12	8.05	8.12	7.96
Temperatura inicial (°C)	15.6	13	13	15.0
Temperatura final (°C)	35.4	30.3	31.5	33.4

En la tabla 24 como se puede observar el pH del agua final tratada es alcalino desde 8.12 a 7.96 con una tendencia a llegar a un pH neutro por lo que es apto para consumo humano según los límites máximo permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM.

Resultados de laboratorio: Las muestras fueron evaluadas en los Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa, (certificación ver anexo E-5), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 25. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°5

Remoción As	Prueba 1 (mg/L)	Prueba 2 (mg/L)	Prueba 3 (mg/L)	Prueba 4 (mg/L)
Inicial As	0.273	0.273	0.273	0.273
Final As	0.010	0.011	0.010	0.010
% Remoción (As)	96	96	96	96

La remoción de arsénico fue óptima en todas las pruebas obteniéndose un % Remoción (As) del 96%, apto para consumo humano según los límites máximos permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM

4.4.6. Experimentación N°6 en el Reactor de Fotocatálisis Solar.

Se tiene los siguientes datos registrados de recirculación de agua natural de pozos subterráneos, en el equipo de fotocatálisis solar:

Cantidad de Fe diluido	:1.7 g/L
Cantidad de agua en circulación	:75 litros
Cantidad de Hipoclorito de sodio 7%	:495 ml/75 L.

Resultados insitu: Se controlaron las variaciones de pH y temperatura.

Tabla 26. Resultados insitu de experimentación N°6

Experimentaciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Fecha (dd/mm/aa)	11-07-19	15-07-19	25-07-19	27-08-19
Duración (horas)	4	4	3	3
pH inicial	8.18	8.05	8.25	8.10
pH final	7.95	7.85	7.78	7.85
Temperatura inicial (°C)	13.1	13.1	13.1	13.1
Temperatura final (°C)	39.1	37	35.8	31

En la tabla 26 como se puede observar el pH del agua final tratada tiende a ser neutro desde 7.95 hasta 7.78.

Resultados de laboratorio: Las muestras fueron evaluadas en los Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa, (certificación ver anexo E-6), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 27. Resultados de remoción de Arsénico-Prueba N°6

Remoción As	Prueba 1 (mg/L)	Prueba 2 (mg/L)	Prueba 3 (mg/L)	Prueba 4 (mg/L)
Inicial As	0.273	0.273	0.273	0.273
Final As	0.010	0.011	0.010	0.009
% Remoción (As)	96	96	96	97

La remoción de arsénico es óptima en todas las pruebas debido a que se tiene un 96% a 97% de remoción de arsénico de aguas de pozos subterráneos, apto para consumo humano según los límites máximo permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM.

4.5. RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizaron 12 experimentaciones en el equipo de proceso de oxidación avanzada o de fotocatalisis solar; según el diseño experimental de factorial 2ⁿ se tiene los siguientes resultados:

Tabla 28: Matriz de diseño experimental.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Hierro	0.2920770	1	0.2920770	372.54	0.0000
B: NaClO	0.0955274	1	0.0955270	121.85	0.0000
C: Tiempo	0.0002486	1	0.0002480	0.32	0.5837
AB	0.0254004	1	0.0254000	32.40	0.0001
AC	0.0035746	1	0.0035740	4.56	0.0540
BB	2.00208E-7	1	2.00208E-7	0.00	0.9875
BC	0.0136481	1	0.0136481	17.41	0.0013
ABB	0.0017848	1	0.0017848	2.28	0.1572
ABC	0.0000536	1	0.0000536	0.07	0.7981
BBC	0.0001238	1	0.0001238	0.16	0.6980
bloques	0.0008272	1	0.0008272	1.06	0.3246
Error total	0.0094080	12	0.000784007		
Total (corr.)	0.918428	23			

Fuente: Tabla ANOVA

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Remoción de (As)} = 2.01885 - 1.15425*\text{Fe} - 0.00127557*\text{NaClO} + 0.413136*\text{Tiempo} + 0.00160985*\text{Fe}*\text{NaClO} - 0.162722*\text{Fe}*\text{Tiempo} + 7.11662\text{E-}9*\text{NaClO}^2 - 0.000354015*\text{NaClO}*\text{Tiempo}$$

4.5.1. Tratamiento Estadístico y Análisis de Varianza

En la tabla 29, se tiene 4 variables mayores a 0.5 para el tratamiento estadístico y análisis de varianza.

Tabla 29: Efectos significativos del valor de las Variables.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Hierro	0.767946	1	0.7679460	1007.34	0.0000
B: NaClO	0.0955274	1	0.0955274	0125.31	0.0000
C: Tiempo	0.0001339	1	0.0001339	0000.18	0.6807
AB	0.0254004	1	0.0254004	0033.32	0.0000
AC	0.0035746	1	0.0035746	0004.69	0.0458
BB	2.00208E-7	1	2.00208E-7	0000.00	0.9873
BC	0.0136481	1	0.0136481	0017.90	0.0006
Error total	0.0121976	16	0.0007623		
Total (corr.)	0.9184280	23			

Fuente: Tabla ANOVA

Para el presente caso, para los 5 efectos se tienen una valor-P, menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

4.5.2. Estimación Del Modelo Matemático

Se obtuvo de la siguiente manera:

Tabla 30. Coeficientes estimados por STATGRAPHICS

Coeficiente	Estimado
constante	2.0188500
A: Hierro	-1.1542500
B: NaClO	-0.0012755
C: Tiempo	0.4131360
AB	0.0016098
AC	-0.1627220
BB	7.11662E-9
BC	-0.0003545

Fuente: Tabla ANOVA

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Remoción (As)} = C - A - B + C + AB - AC + (BB)^2 - BC$$

$$\begin{aligned} \text{Remoción (As)} = & 2.01885 - 1.15425 * \text{Fe} - 0.00127557 * \text{NaClO} + \\ & 0.413136 * \text{Tiempo} + 0.00160985 * \text{Fe} * \text{NaClO} - 0.162722 * \text{Fe} * \text{Tiempo} + 7.11662\text{E-} \\ & 9 * \text{NaClO}^2 - 0.000354015 * \text{NaClO} * \text{Tiempo} \end{aligned}$$

4.5.3. Respuestas de Optimización

Según el programa de Statgraphics para una mayor remoción de arsénico los insumos deben estar en los siguientes rangos:

Tabla 31: Optimización-respuesta de remoción de arsénico.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Hierro (mg/L)	1.7	2.0	1.7
NaClO (mL/75 L)	165.0	495.0	495.0
Tiempo (hora)	3.0	4.0	3.0

4.5.4. Diagrama de Pareto

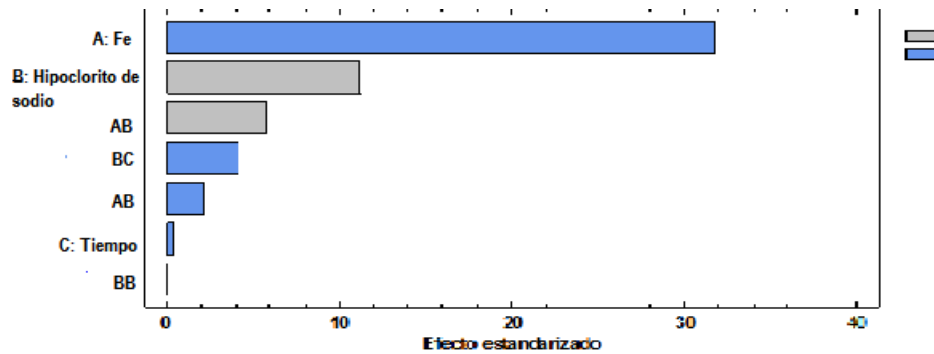


Figura 17: Diagrama de Pareto estandarizado para remoción de arsénico.

El diagrama de Pareto nos muestra los efectos de las variables en la remoción de arsénico. El factor A, variable hierro (Fe) tiene mayor efecto significativo en la remoción de arsénico es decir tiene mayor influencia en el proceso de Remoción de arsénico (As) y es inversamente proporcional respecto a porcentaje de Remoción. El factor B variable Hipoclorito de Sodio (NaClO) también tiene efecto significativo. Las interacciones AB y BC y la interacción AC muestra efecto de menor significancia en la remoción de arsénico al igual que el factor C variable tiempo.

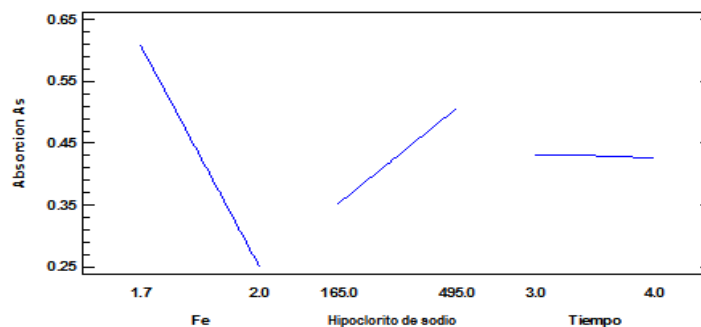


Figura 18: Efectos principales para remoción de arsénico.

En la figura se muestra las tres variables independientes de cantidad de hierro (Fe), hipoclorito de sodio (NaClO) y tiempo. La línea variable hierro tiene pendiente negativo lo cual indica que cuando disminuye la cantidad de hierro la remoción disminuye. En

cuanto la línea de NaClO tiene pendiente positivo indica que mientras más cantidad de NaClO se tenga mayor será la remoción de (As). Sin embargo, la línea de tiempo no interviene, es decir, ya sea mayor o menor el tiempo óptimo establecido no afectara en la remoción de arsénico.

4.5.5. Superficie de Respuesta

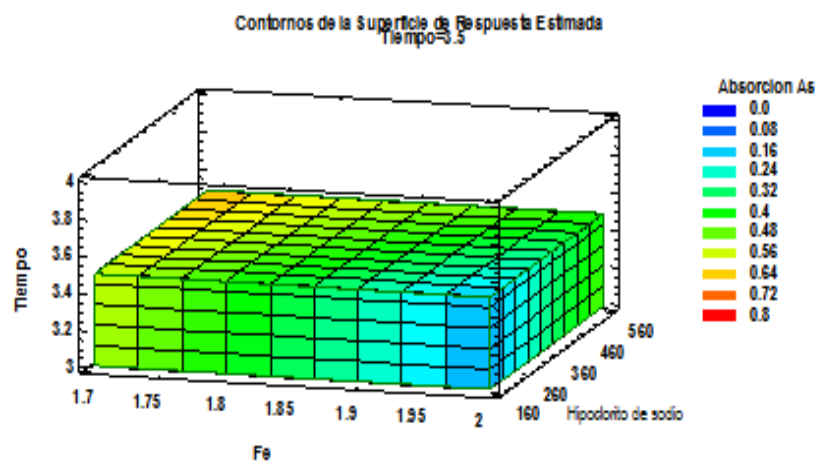


Figura 19: Contornos de la superficie de la respuesta estimada.

En la figura 20, se observa que en todas las experimentaciones, la variable tiempo no influye radicalmente en la remoción de arsénico a diferencia del hierro e hipoclorito de sodio so variables influyentes en la Remoción de arsénico (As).

4.6. RESULTADOS REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL DISTRITO DE CARACOTO.

Realizadas las experimentaciones con el fin de obtener los datos óptimos fueron los siguientes:

Tabla 32: Cantidades óptimas de remoción de arsénico en agua natural de pozos subterráneos

Hierro óptimo	NaClO óptimo	pH óptimo	Recirculación óptima
1.7 g/L	495 ml/75 L 6.6 ml/L	7.67-7.70	3 horas

Se tomó muestra en puntos M-I zona urbana y en M-II, zona rural, de la ciudad de Caracoto en fecha 26-09-2019, utilizándose la cantidad de 75 litros de agua de pozos subterráneos, en cada punto de muestreo para luego realizar la recirculación del agua a tratarse para la Remoción de arsénico (As) en el equipo de fotocátalisis solar; obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 33: Resultados de remoción de arsénico en la ciudad Caracoto.

Parámetros	Punto (M-I) Estadio		Punto (MII) Rural	
	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada
Arsénico (m/L)	0.1524	0.0077	0.1803	0.0165
pH	7.73	7.67	7.76	7.70
% Remoción (As)	95		91	

En la tabla 33, se muestra la remoción de arsénico (As) de 95% en aguas de pozo subterránea de la zona urbana (MI) y remoción de arsénico (As) de 91% en aguas de pozo subterránea de la zona rural (MII), así mismo en los dos puntos de muestreo el pH se encuentra en un punto neutro a alcalino, apto para consumo humano según los límites máximo permisibles LMP de los ECA.D.S. N° 004-2017-MINAM.

4.7. DISCUSIÓN

- Según Franco M & Carro Perez, (2014) sometió a pre oxidación del arsénico As, mediante cloración-oxidación con NaClO, de 2.2 g/L, así mismo se varió la dosis de coagulantes de 5 a 500 mg/L, la partícula coloidal desde 0 a 6 000 mg/L y la concentración inicial de arsénico desde 0. A 5 mg/L, obteniéndose agua apto para consumo humano
- Rojas Chaves, (2015) el As, es removido por adsorción o coprecipitación sobre los óxidos hidróxidos de hierro (III) formados en el sistema SORAS y se encontró que para reducir el As, de 200 ug/L a menos de la norma vigente (10ug/L), se necesita entre 2 y 4 horas de exposición del agua, en un día soleado o nublado.



- Hwang, (2002). El tratamiento de remoción de arsénico As; consiste en tratar en un cubo de 20 L, al que se le añade una mezcla de cloruro férrico FeCl_3 ; carbón en polvo e hipoclorito de sodio NaClO , logrando una eficiencia de remoción del 91%

En la presente investigación de estudios se obtuvo una **remoción entre 91 a 95% de arsénico** en agua natural de pozos subterráneos, utilizándose una **cantidad de hierro de 1.7 g/L, para su oxidación**, así mismo el tiempo de exposición a la radiación solar no influye a tiempo mayores a 3 horas de recirculación o exposición a la radiación solar, siempre que sea nublado parcial o soleado.



CONCLUSIONES

- La Remoción de arsénico en aguas naturales de pozos subterráneos en el distrito de Caracoto fue utilizando como oxidante 1.7 g/L de hierro en solución, para un Índice radiación solar de 8 a 12.5 de rayos UV, con un tiempo de exposición de 3 horas a la radiación solar.
- Se encontró el pH óptimo con una variabilidad de 7 a 8, obteniéndose una mayor eficiencia de remoción de arsénico de 95% por oxidación con hierro de 1.7 g/L de agua, mediante una recirculación del agua a tratarse por un tiempo de 3 horas en el reactor de fotocatalisis solar, tecnología como opción viable para tratamiento de aguas con contenido de arsénico (As) en zonas rurales para aguas de pozos subterráneos en flujo continuo
- Se removió hasta un 95%, de arsénico (As) contenido en aguas de pozos subterráneos donde se utilizó la cantidad de hipoclorito de sodio del (7%) de 6.6. mL/L de agua y una cantidad de hierro metálico en solución de 1.7 g/L de agua para una exposición a la radiación solar por 3 horas para la recirculación de 75 litros de agua a tratarse. Este método según los resultados de análisis de laboratorio (anexos) también removieron otros metales significativos como son: Bario, cadmio manganeso, plomo, titanio entre otros metales pesados no aptos para el consumo humano.



RECOMENDACIONES

De los resultados experimentales obtenidos, con el objetivo de mejorar la remoción de arsénico de aguas de pozos subterráneos de la ciudad de Caracoto y sus zonas rurales, mediante el equipo de proceso de oxidación avanzada, se efectúan las siguientes recomendaciones para trabajos futuros:

- Aplicar el método de procesos de oxidación avanzada (POA) en zonas rurales que no cuenten con un sistema adecuado de tratamiento de aguas naturales de pozos subterráneos.

- Realizar estudios bajo el mismo método para el tratamiento y remoción de otros metales pesados de aguas naturales para consumo humano procedentes de pozos subterráneos.

- Estudiar la cinética de remoción del arsénico en el agua natural por tratamiento del método POA.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anawar, H., & Kikuo, S. (2007). Geoquímica aparición de arsénico en las aguas subterráneas de Bangladesh: fuentes y procesos de movilización. 109-131.
- Ayala Mendez, D. S. (2014). *Evaluación del mecanismo de remoción de arsénico durante el proceso de precipitación de iones férricos*. Mexico.
- Barrera, S., & Campo, A. (2005). *Estudio de la cinética de oxidación de hierro en sistemas*. Tesis magister en ingeniería, Departamento de ingeniería civil y ambiental. Bogotá: Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Baur, I., & Onishi, J. (1969). *Minerales de arsénico mas frecuentes*.
- Benitez, F., & Acero, L. (2002). Degradation Of carbofuran by Using Ozone, UV Radiation and Advanced Oxidation processes. *Journal Of Hazardous Materials*, 51-65.
- Blanco, G., & Malato, R. (2001). *Purificación de Aguas por Fotocatálisis heterogénea*. Argentina: Edit. Blesa.
- Castillo Lopez, D. (2006). *Degradación fotocatalitica de carbofurán en diferentes sistemas ópticos de colección solar*. Mexico: Tesis: Universidad Autonoma de Mexico.
- Castro de Esparza, M. L. (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*.
- Chávez Quijada, M., & Toledo, M. (2011). Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano. *Sociedad Química del Perú*, 307-314.
- Christopherson, R. (1997). *Geosystem. An introduction to physical geography*. New Jersey: Prentice-Hall.



- Davis, J., & Kent, D. (1990). Surface complexation modeling in aqueous geochemistry. In mineral-water interface geochemistry. *Revista Mineral*, 177-260.
- Degremont. (1989). *Manual Técnico del agua*. Editorial Degremont, Bilbao.
- Demopoulos, G. (2009). Aqueous precipitation and crystallization for the production of particulate solids with desired properties. *Hydrometallurgy*, 199-214.
- Diario Oficial El Peruano. (7 de Junio de 2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano*, págs. 10-19.
- Echevarría, M., & Rodríguez, R. (2010). *Remoción del Arsénico mediante Coagulación, Filtración y Sedimentación Comparación con tecnologías disponibles y análisis de una planta tipo*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe.
- Franco M, F., & Carro Perez, M. E. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *scielo.org*, 14.
- García, M., Sánchez, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Rodríguez, E., . . . Cortés, G. (2001). El Agua. En P. Leyva, *El medio ambiente en Colombia* (págs. 114-118). Bogotá, Colombia.
- Ghurye, G., & Clifford, D. (2001). *Laboratory Study on the Oxidation*. Houston: Environmental Protection Agency, EUA. Cincinnati.
- Gómez, A., & Valcárcel, M. (1998). *Técnicas Analíticas de Separación*. España: Reverté.
- Hasegawa y col. (1999). *Arsenic speciation including 'hidden ' arsenic in natural waters*. Applied Organometal.Chem.
- Henke, L. (2009). Un repaso general del tratamiento de arsénico; inquietudes y aplicaciones para los sistemas de pequeña y muy pequeña escala. *Agua Latinoamérica, Fort Lowell*, 14-18. Obtenido de <http://www.produccion-animal.com.ar/>.



- Hwang, S. (2002). *Point-of-Use Arsenic Removal from Drinking Water in Nepal Using Coagulation and Filtration*. Massachusetts: Massachusetts Institute Of Technology.
- Jackson, B., & Miller, W. (2000). Effectiveness of phosphate and hydroxide for desorption of arsenic and selenium species from iron oxides. *Soil Science Society of America Journal*, 1616-1622.
- Legrine, O., & Oliveros, A. (1998). *Handbook of Advanced Photochemical Oxidation processes*. EPA /625/R-98/004- 1998.
- Lillo, J. (2003). Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas. *Grupo de Estudios de Minería y Medioambient*.
- Loeppert, R., Jain, A., Raven, K., & Wang, J. (1997). *Arsenate and arsenite retention and release in oxide and sulphide dominated systems*. Mexico: Texas A&M University System.
- Manning, B., & Goldberg, S. (1996). Modeling competitive adsorption of arsenate with. *Soil Sci.Soc.Am*, 121-131.
- Martín Domínguez, A., Rivera Huerta, M., Piña Soberanis, M., & Pérez Castrejón, S. (2008). Incidencia del gradiente de velocidad en la eficiencia de la electrocoagulación para remover arsénico. *Asociación Interciencia*, 496-502.
- McLean, & Bledsoe. (1992). *Behavior of metal in soils*. EPA Ground Water Issue.
- Mills, A., & Le Hunte, S. (1997). An overview of semiconductor photocatalysis. *Journal of Photochemistry an Photobiology*, 1-35.
- Raskin, I., & Ensley, B. (2000). Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. *Wiley y Sons*, 304.



- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, P., & Nigam, R. (2001). Remedation of dyes textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative . *Bioresource Technology*, 247-255.
- Rodríguez , R., & Echeverría, M. (2008). *Reducción de Arsénico en agua uso de un método doméstico*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N. - Argentina .
- Rojas Chaves, P. (2015). *Estudio de remoción de arsénico en agua potable a nivel domiciliar mediante oxidación solar y coagulación-floculación*. Costa Rica: Tecnología en Marcha.
- SENAMHI. (s.f.). Servicio Nacional de Metereología e Hidrología.
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters*. Applied Geochemistry.
- Stumm, W., & Lee, G. (1961). Oxygenation of ferrous iron. *Industrial Engineering and Chemistry*, 143-146.
- Sun, X., & Doner, H. (1998). Adsorption y oxidation of arsenite on goethite. *Soil. Soil Science*, 278-287.
- Triszcz, J. (2005). Degradacion de compuestos nitroaromaticos empleando radiacion UV en presencia de KNO3 y NaNO2. Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, Bahia Blanca, Argentina.
- Welch, A., Westjohn, D., Helsel, D., & Wanty, R. (2000). *Arsenic in ground water of the United States: occurrence and geochemistry*. Ground Water.
- Who. (2005). Towards a More Effective Operational Response Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian Countries. *Policy Report Environment and Social Unit South Asia Region Water and Sanitation - WSP*, 106-114.



ANEXOS

ANEXO A : PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA.

ANEXO B : NORMATIVAS VIGENTES.

ANEXO C : INFORME DE ENSAYOS DE CANTIDADES ÓPTIMAS.

ANEXO D : RADIACION SOLAR

ANEXO E : EXPERIMENTACIONES EN EQUIPO DE PROCESO DE OXIDACION
AVANZADA.

ANEXO F : RESULTADOS DE LABORATORIO DE AGUA TRATADA DE LA
CIUDAD DE CARACOTO.

ANEXO A.

PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA.

Punto Estadio.

Zona	:Caracoto-San Román-Puno
Coordenadas	:15°34'20.5"S 70°05'58.5"W
Referencia	:A 150 metros de la empresa de Cal.

Punto Rural

Zona	:Caracoto-San Román-Puno
Coordenadas	:15°34'34.9"S 70°06'05.6"W
Referencia	:A 100 metros de la carretera panamericana N

-W



Figura A-1: Vista frontal del Estadio Municipal de Caracoto.



Figura A-2: Vista interna de pozo de agua residual Estadio Municipal de Caracoto.



Figura A-3: Vista de vivienda rural de la ciudad de Caracoto.



Figura A-4: Vista de toma de muestra de pozo subterráneo.



ANEXO B

NORMATIVAS VIGENTES.

Tabla B-1: Ley General de Aguas D.L. N° 17752 y sus Modificaciones al Reglamento de los Títulos I, II Y III.

LEY GENERAL DE AGUAS

DECRETO LEY N° 17752

CONCORDANCIAS:

D.S. N° 261-69-AP (Reglamento de los Títulos I, II y III del Decreto Ley N° 17752)
D.S. N° 41-70-AG (Complementación del Reglamento del Título III)
D.S. N° 473-71-AG (Aprueban el Reglamento del Título VIII "De las Servidumbres" del Decreto Ley N° 17752)
D.S. N° 495-71-AG (Reglamento del Título X del Decreto Ley N° 17752 de la Ley General de Aguas)
D.S. N° 929-73-AG (Aprueban el Reglamento del Título VI del Decreto Ley N° 17752 "Ley General de Aguas")
D.S. N° 939-73-AG (Aprueban el Reglamento del Título IX del Decreto Ley N° 17752 "Ley General de Aguas")
D.S. N° 1098-75-AG (Reglamento del Título VII "De los Estudios y Obras" conforme al Decreto Ley N° 17752 "Ley General de Aguas")
D.S. N° 037-89-AG
D. S. N° 003-90-AG(Reglamento de Tarifas y Cuotas por el Uso de Agua)
D.S. N° 047-2000-AG(Reglamento de Organización Administrativa del Agua)
R.S. N° 043-2001-AG
D.S. N° 044-2001-AG
D.S. N° 122-2002-PCM
Ley N° 28029
D.S. N° 018-2005-AG, Arts. 13 y 4ta. Disp. Compl.
D.S. N° 008-2006-AG
D.S. N° 057-2000-AG (Reglamento de Organización Administrativa del Agua)

TITULO IV

De las aguas subterráneas

Artículo 59°.- Las aguas subterráneas quedan sujetas a las disposiciones especiales del presente Título y a las demás de esta Ley que les sean aplicables.

Artículo 60°.- Cuando se trate de utilizar aguas subterráneas para riego, se otorgarán preferentemente para su regulación o mejoramiento, pudiendo otorgarse para irrigación siempre que los estudios técnicos y económicos de muestren su conveniencia y factibilidad.

Artículo 61°.-La Autoridad de Aguas podrá dispensar de la presentación de estudios para el uso de aguas subterráneas destinadas a satisfacer las necesidades de la familia rural, siempre que los medios para su extracción sean de mínima capacidad.

Artículo 62°.-El otorgamiento de los usos de aguas subterráneas está sujeto, además de las condiciones establecidas en el artículo 32°, a las específicas siguientes:

a. Que su alumbramiento no cause fenómenos físicos o químicos que alteren perjudicialmente las condiciones del reservorio acuífero, las napas allí contenidas, ni el área superficial comprendida en el radio de influencia del pozo cuando abarque terrenos de terceros; y

b. Que no produzca interferencia con otros pozos o fuentes de agua.



Artículo 63°.-Podrán alumbrarse aguas en terrenos distintos al del peticionario, cuando los estudios demuestren que no existen en los de éste, o existiendo, su alumbramiento contraviniese cualquiera de las condiciones establecidas en el artículo 32° o las del artículo presente.

Artículo 64°.-Para evitar las interferencias que pudieran producirse entre dos o más pozos como consecuencia de un nuevo alumbramiento, la Autoridad de Aguas teniendo en cuenta el radio de influencia de cada uno, determinará la distancia mínima que debe medir entre la perforación solicitada y los pozos existentes, su profundidad, y el caudal máximo que podrá alumbrar el peticionario.

Artículo 65°.-La Autoridad de Aguas fijará el régimen de explotación de las aguas subterráneas de acuerdo a las disponibilidades del recurso y a los imperativos del plan de cultivo y riego respectivo.

Artículo 66°.-La Autoridad de Aguas podrá disponer de oficio o autorizar las modificaciones de los métodos, sistemas o instalaciones de los alumbramientos cuando sean inapropiados.

Decreto Ley N° 17752 (p. 24/jul/1969): Ley General de Aguas.

Artículo 67°.-La Autoridad de Aguas dictará las medidas necesarias para asegurar la continuidad de un uso común de aguas de subsuelo cuando por cualquier causa el usuario que maneja el pozo respectivo dejare de hacerlo.

Artículo 68°.-Toda persona que como actividad principal o secundaria se dedique a perforar, excavar o realizar trabajo, para encontrar aguas subterráneas, deberá necesariamente contar con la licencia correspondiente.

Artículo 69°.-Todo aquél que sin hacer profesión de las actividades a que se refiere el artículo anterior, realiza para él y en forma eventual labores de perforación o excavación para alumbrar aguas subterráneas, proporcionará a la Autoridad competente la información que de acuerdo con las características del pozo, le sea requerida.

Artículo 70°.-Todo aquél que con ocasión de efectuar estudios, explotaciones o exploraciones mineras, petrolíferas o con cualquier otro propósito descubriese o alumbrase aguas, está obligado a dar aviso inmediato a la Autoridad de Aguas y a proporcionarle la información técnica de que disponga y no podrá utilizarlas sin permiso, autorización o licencia.

Tabla B-2: Reglamento de la Calidad de agua para el Consumo Humano-DIGESA.

DS N° 031-2010-SA.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD

ORGANOLÉPTICA

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	L.M.P
Olor	----	Aceptable
Sabor	----	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25°C)	µm/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg/L	250
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁼	250
Dureza total	mg/L CaCO ₃	500
Amoniaco	mg/L N	1.5
Hierro	mg/L Fe	0.3
Manganeso	mg/L Mn	0.4
Aluminio	mg/L Al	0.2
Cobre	mg/L Cu	2.0
Zinc	mg/L Zn	3.0
Sodio	mg/L Na	200

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud, DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano 2010. UCV = Unidad de color verdadero, UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad.

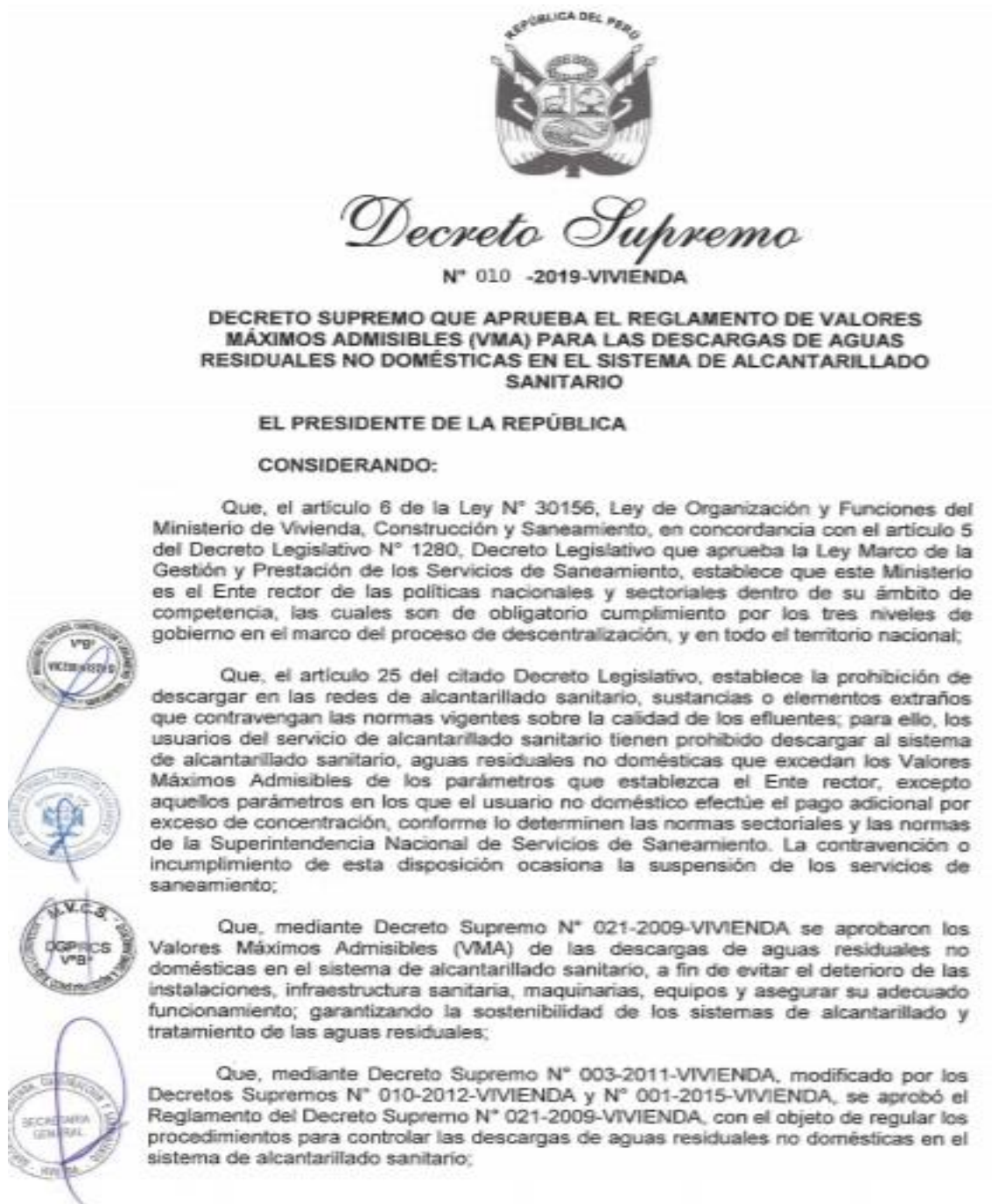


LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetro Inorgánicos	Unidad de medida	L.M.P
Antimonio	mg/L Sb	0.020
Arsénico	mg/L As	0.010
Bario	mg/L Ba	0.700
Boro	mg/L B	1.500
Cadmio	mg/L Cd	0.003
Cianuro	mg/L CN	0.070
Cloro	mg/L	5.0
Clorito	mg/L	0.7
Clorato	mg/L	0.7
Cromo total	mg/L Cr	0.050
Flúor	mg/L F-	1.00
Mercurio	mg/L Hg	0.001
Níquel	mg/L Ni	0.020
Nitratos	mg/L NO ₃	50.00
Nitritos	mg/L NO ₂	0.20
Plomo	mg/L Pb	0.010
Selenio	mg/L Se	0.010
Molibdeno	mg/L Mo	0.07
Uranio	mg/L U	0.015

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud, DS N° 031-2010-SA. Reglamento de estándares de calidad del agua para consumo humano 2010.

Tabla B-3: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.





ANEXO N° 1

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

ANEXO N° 2

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35



(1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, es la precisada en el presente Reglamento tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deben cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, son determinados a partir del análisis de muestras puntuales.


(2) Las concentraciones de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 deben ser determinadas a partir del análisis de muestras puntuales.



ANEXO C


INFORME DE ENSAYOS DE CANTIDADES OPTIMAS.

Tabla C-1: Informe de ensayos de tiempo óptimo.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00166

Fecha de emisión : 08/05/2019 Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 - A - JULIACA
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : PARTICULAR

Fecha de recepción : 04/05/2019
Fecha de ensayo : 04/05/2019
Nro de muestras : 9

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 135-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente


Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000299	MUESTRA INICIAL	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:30
AG19000300	MUESTRA N°01	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:35
AG19000301	MUESTRA N°02	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:41
AG19000302	MUESTRA N°03	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:45
AG19000303	MUESTRA N°04	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:50
AG19000304	MUESTRA N°05	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:00
AG19000305	MUESTRA N°06	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:05
AG19000308	MUESTRA N°07	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:10
AG19000307	MUESTRA N°08	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:15

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado

Observación



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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 6428



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00166

Fecha de emisión : 08/05/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Codigo Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG19000299	MUESTRA INICIAL	0,0800
AG19000300	MUESTRA N°01	0,0128
AG19000301	MUESTRA N°02	0,0142
AG19000302	MUESTRA N°03	0,0094
AG19000303	MUESTRA N°04	0,0052
AG19000304	MUESTRA N°05	0,0081
AG19000305	MUESTRA N°06	0,0096
AG19000306	MUESTRA N°07	0,0102
AG19000307	MUESTRA N°08	0,0107

Laboratorios Analíticos del Sur
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 18474



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00166

Fecha de emisión : 08/05/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[> 0.0012 - 50] mg/L

⊛ : Límite detección ⊞ : Límite de cuantificación

Sixto Vicentini
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto VICENTINI JUÁREZ MEIRA
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

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

⊞ < Valor numérico = Límite de detección del método, ⊞ < Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 6430

Tabla C-2: Informe de ensayos de hierro optimo.



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00198

Fecha de emisión : 30/05/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : PARTICULAR

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 170-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente
Lugar de análisis : Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Fecha de recepción : 25/05/2019
Fecha de ensayo : 25/05/2019
Nro de muestras : 8

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000387	M-01	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	13:07
AG19000388	M-02	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	13:13
AG19000389	M-03	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	13:04
AG19000390	M-04	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	12:34
AG19000391	M-05	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	12:22
AG19000392	M-06	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	12:22
AG19000393	M-07	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	12:14
AG19000394	M-08	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUD. UNIV / PUNO / PUNO / PUNO	E:390901 N:8250431 L 19	24/05/2019	12:14

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Los resultados de ensayo proceden de la muestra tal como fue recibida por parte del cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
Datos proporcionados por el cliente.

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

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

¹<Valor numérico> = Límite de detección del método, ²<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

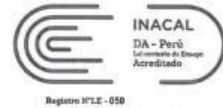
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 6677



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00198

Fecha de emisión : 30/05/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	796 As mg/L
AG19000387	M-01	0,0627
AG19000388	M-02	0,0662
AG19000389	M-03	0,0791
AG19000390	M-04	0,0629
AG19000391	M-05	0,0609
AG19000392	M-06	0,0066
AG19000393	M-07	0,0066
AG19000394	M-08	0,0067

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

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 6678



Tabla C-3: Informe de ensayos de pH optimo.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00168

Fecha de emisión : 08/05/2019 Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 - A - JULIACA
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : PARTICULAR

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO Fecha de recepción : 04/05/2019
Registro de muestreo : 136-19 Fecha de ensayo : 04/05/2019
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente Nro de muestras : 9

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000299	MUESTRA INICIAL	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:30
AG19000300	MUESTRA N°01	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:35
AG19000301	MUESTRA N°02	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:41
AG19000302	MUESTRA N°03	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:45
AG19000303	MUESTRA N°04	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	12:50
AG19000304	MUESTRA N°05	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:00
AG19000305	MUESTRA N°06	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:05
AG19000306	MUESTRA N°07	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:10
AG19000307	MUESTRA N°08	Agua de Proceso - Agua Purificada	CIUDAD UNIV. / PUNO / PUNO / PUNO	E390901 N8250431 L19	03/05/2019	13:15

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación



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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
^o<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^o<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 6428



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00168

Fecha de emisión : 08/05/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

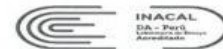
Codigo Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796
		As mg/L
AG19000299	MUESTRA INICIAL	0,0800
AG19000300	MUESTRA N°01	0,0653
AG19000301	MUESTRA N°02	0,0682
AG19000302	MUESTRA N°03	0,0710
AG19000303	MUESTRA N°04	0,0601
AG19000304	MUESTRA N°05	0,0582
AG19000305	MUESTRA N°06	0,0630
AG19000306	MUESTRA N°07	0,0062
AG19000307	MUESTRA N°08	0,0061

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



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00168

Fecha de emisión : 08/05/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 209.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L

* : Limite detección ** : Limite de cuantificación

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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
** Valor numérico = Limite de detección del método, *** Valor Numérico = Limite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el



Figura C-1: Experimentación para encontrar las cantidades óptimas



Figura C-2: Preparación de muestras para cantidades óptimas.



Figura C-3: Preparación de muestra para determinación de cantidades óptimas.

ANEXO D

RADIACION SOLAR.

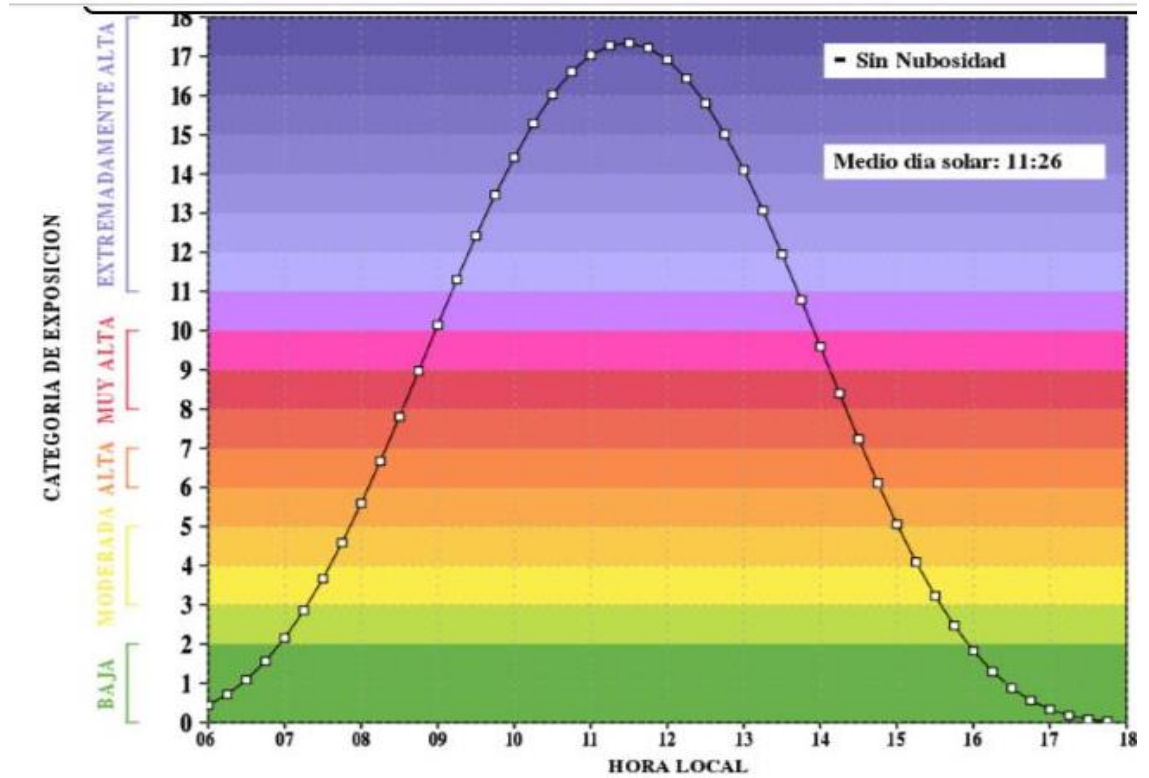


Figura D-1: Índice de radiación solar en base al tiempo

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11 +

Tomado de OMS (2003)

FUENTE: Revista (pronóstico con cobertura nacional del índice de radiación solar ultravioleta-nota técnica N° 002-2016 SENAMHI)

Figura D-2: Escala de colores y categoría internacionales de exposición.

Sábado 19 de Noviembre 2016 (Indices calculados para el medio día)									
Lima	Piura	Tacna	Cajamarca	Arequipa	Cusco	Ica	Puno	Moquegua	Junín (Prov. Tarma)
INDICE UV 11	INDICE UV 12	INDICE UV 10	INDICE UV 12	INDICE UV 13	INDICE UV 12	INDICE UV 11	INDICE UV 14	INDICE UV 12	INDICE UV 13
Alto	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Tiempo de exposición máxima directa al sol sin protector solar									
<input type="radio"/> Personas de Piel Blanca <input type="radio"/> Personas de Piel Trigueña <input type="radio"/> Personas de Piel Oscura									
15-20 min.	10-15 min.	15-20 min.	10-15 min.	10-15 min.	10-15 min.	15-20 min.	10-15 min.	10-15 min.	10-15 min.
25-30 min.	15-20 min.	25-30 min.	15-20 min.	15-20 min.	15-20 min.	25-30 min.	15-20 min.	15-20 min.	15-20 min.
35-40 min.	20-30 min.	35-40 min.	20-30 min.	20-30 min.	20-30 min.	35-40 min.	20-30 min.	20-30 min.	20-30 min.

Figura D-3: Tiempos de exposición máxima según página web de SENAMHI

Tabla D-1: Rangos de radiación UV

Radiación UV	Rango de longitud de onda en nm	Características
UVA	315 - 400 nm	El extremo superior del rango corresponde al límite con la luz visible ⁹ es la que produce el bronceado. Este rango del espectro es muy poco absorbido por la atmósfera. Es causante del bronceado, dado que no tiene tanta energía, es menos peligrosa que el resto de UV. Esta radiación provoca el envejecimiento prematuro de la piel
UVB	280 - 315 nm	En este rango del espectro el ozono atmosférico absorbe casi el 90% de esta radiación. Esta radiación provoca daños en los ojos y en la piel, eritemas solares (enrojecimientos de la piel). La sobreexposición puede provocar cáncer de la piel. Dado que la cantidad de radiación UVB que llega a la superficie está fuertemente relacionada con la capa de ozono, una reducción en esta capa implicará un aumento en la radiación que llega a la superficie terrestre.
UVC	100 - 280 nm	El rango inferior de la banda (100 nm) corresponde al límite con los rayos X. En este rango del espectro, el ozono atmosférico absorbe completamente toda la radiación UVC. La UVC (muy energética) se obtiene de fuentes artificiales, tales como lámparas germicidas (lámparas UVC), usadas para matar bacterias y virus.

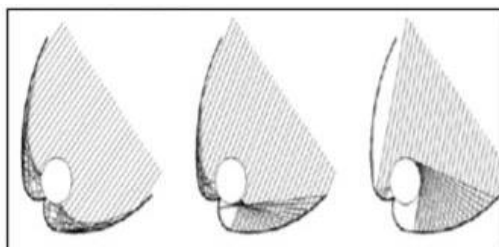


Figura D-4: Reflexión sobre reactor de fotocatalisis solar-Detalle de un colector.

ANEXO E
EXPERIMENTACIONES EN EQUIPO DE PROCESO DE OXIDACION
AVANZADA.



Figura E-1: Equipo de oxidación avanzada-fotocatálisis solar.



Figura E-2: Funcionamiento del equipo de proceso de oxidacion avanzada.



Figura E-3: Toma de muestras de experimentaciones.



Tabla E-1: Informe de ensayos de prueba N°1



LAS
Laboratorios Analíticos del Sur

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



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00256
Fecha de emisión : 3/07/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : PARTICULAR

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 213-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente
Lugar de análisis : Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Fecha de recepción : 27/06/2019
Fecha de ensayo : 27/06/2019
Nro de muestras : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000496	Muestra de Hierro	Agua de Proceso - Agua de Lixiviación	Ciudad Universitaria / Puno / Puno / Puno	E390835 N8250387 17L	26/06/2019	10:00
AG19000497	Muestra Inicial As, Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	Ciudad Universitaria / Puno / Puno / Puno	E390835 N8250387 17L	26/06/2019	10:30
AG19000498	Muestra Tratada As, Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	Ciudad Universitaria / Puno / Puno / Puno	E390835 N8250387 17L	26/06/2019	14:30

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado, Temperatura de muestra : 5 C

Observación

-



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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7152

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
* <Valor numérico> = Límite de detección del método, * <Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00256

Fecha de emisión : 3/07/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796		802							
		As mg/L	Ag mg/L	Al mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Ca mg/L	Cd mg/L	Co mg/L	Cr mg/L
AG19000496	Muestra de Hierro	b<0,0012	b<0,0024	1,25	0,0808	0,09607	b<0,000079	14,3	0,00614	0,002699	0,04888
AG19000497	Muestra Inicial As, Fe	0,2730	0,0154	b<0,029	0,2669	0,21119	b<0,000079	162	0,00241	0,000618	0,01307
AG19000498	Muestra Tratada As, Fe	0,0273	b<0,0024	b<0,029	0,2476	0,03810	b<0,000079	25,0	b<0,00011	b<0,000094	0,02969

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Cu mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Li mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Mo mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	P mg/L	Pb mg/L
AG19000496	Muestra de Hierro	0,0726	32,5	21,4	0,00491	0,9926	1,2867	b<0,00038	6,86	0,02949	0,1511	0,2934
AG19000497	Muestra Inicial As, Fe	0,2919	22,1	81,2	0,07788	25,57	0,07851	b<0,00038	>1250	0,01466	0,3033	0,0895
AG19000498	Muestra Tratada As, Fe	0,1395	1,26	57,9	0,07639	21,60	0,00345	b<0,00038	>1250	0,00052	b<0,0054	b<0,0026

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802								
		Sb mg/L	Se mg/L	SiO2 mg/L	Sn mg/L	Sr mg/L	Ti mg/L	Tl mg/L	V mg/L	Zn mg/L
AG19000496	Muestra de Hierro	b<0,00049	b<0,002	1,242	b<0,00085	0,0606	0,00697	b<0,0013	0,00171	0,1315
AG19000497	Muestra Inicial As, Fe	b<0,00049	b<0,002	19,81	0,00438	0,6749	0,00726	0,0040	0,00733	0,6753
AG19000498	Muestra Tratada As, Fe	b<0,00049	b<0,002	17,94	0,00820	0,3063	0,00210	b<0,0013	0,00331	0,0596

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

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

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

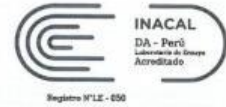
Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7153



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00256

Fecha de emisión : 3/07/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

* : Límite detección

#: Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7154

Tabla E-2: Informe de ensayos de prueba N°2



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00265

Fecha de emisión : 10/07/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 - A - JULIACA
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : -

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 220-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente
Lugar de análisis : Parque Industrial de Rio Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Fecha de recepción : 3/07/2019
Fecha de ensayo : 3/07/2019
Nro de muestras : 2

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000510	Muestra Inicial As- Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	Ciudad Universitaria / Puno / Puno / Puno	E90835.69 N8250387.80 19L	28/06/2019	10:30
AG19000511	Muestra Tratada As- Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	Ciudad Universitaria / Puno / Puno / Puno	E90835.69 N8250387.80 19L	28/06/2019	14:40

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado, Temperatura de muestra : 10 C

Observación

-

Mano firmada
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Gimor A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
Ingeniero Químico CIP 114428

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7241



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 008

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00265

Fecha de emisión : 10/07/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796		802									
		As	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000510	Muestra Inicial As- Fe	0,2730	b<0,0024	0,077	0,2074	0,16711	0,000485	211	0,00047	b<0,000094	0,01919	0,0204	
AG19000511	Muestra Tratada As- Fe	0,0229	b<0,0024	b<0,029	0,2205	0,14726	b<0,000079	179	b<0,00011	b<0,000094	0,01630	0,0198	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802											
		Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000510	Muestra Inicial As- Fe	4,26	29,6	0,02863	31,05	0,04162	0,00284	326	0,00595	0,0585	b<0,0026	b<0,00049	0,0046
AG19000511	Muestra Tratada As- Fe	2,03	29,6	0,02921	31,40	0,02887	0,00321	333	0,00095	0,0303	b<0,0026	b<0,00049	b<0,002

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802						
		SiO2	Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000510	Muestra Inicial As- Fe	20,45	0,00597	0,7211	0,00168	b<0,0013	0,00277	0,2672
AG19000511	Muestra Tratada As- Fe	19,54	0,00645	0,6764	b<0,00068	b<0,0013	0,00248	0,2558

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
César A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
Instituto Geológico Químico CIP 114426

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

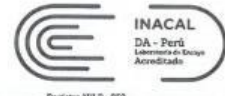
Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7242



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00265

Fecha de emisión : 10/07/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

* : Límite de detección

® : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Gina A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
Ingeniero Químico CIP 114426

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

<Valor numérico = Límite de detección del método, ®<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7243

Tabla E-3: Informe de ensayos de prueba N°3.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00266

Fecha de emisión : 10/07/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796		802								
		As mg/L	Ag mg/L	Al mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Ca mg/L	Cd mg/L	Co mg/L	Cr mg/L	
AG19000512	Muestra Inicial As- Fe	0,2730	b<0,0024	b<0,029	0,1888	0,14020	b<0,000079	127	b<0,00011	b<0,000094	0,00745	
AG19000513	Muestra Tratada As- Fe	0,0180	b<0,0024	b<0,029	0,2364	0,18929	b<0,000079	>250	b<0,00011	b<0,000094	b<0,00039	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Cu mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Li mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Mo mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	P mg/L	Pb mg/L
AG19000512	Muestra Inicial As- Fe	0,0150	0,655	42,4	0,08514	24,10	0,01149	0,00095	550	b<0,00051	b<0,0054	b<0,0026
AG19000513	Muestra Tratada As- Fe	0,0057	0,233	36,4	0,06564	31,84	0,00811	0,00217	322	b<0,00051	0,0502	b<0,0026

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802								
		Sb mg/L	Se mg/L	SiO2 mg/L	Sn mg/L	Sr mg/L	Ti mg/L	Tl mg/L	V mg/L	Zn mg/L
AG19000512	Muestra Inicial As- Fe	b<0,00049	b<0,002	17,13	0,00511	0,6358	b<0,00068	b<0,0013	0,00109	0,1355
AG19000513	Muestra Tratada As- Fe	b<0,00049	b<0,002	18,74	0,00395	0,8227	0,00089	b<0,0013	0,00149	0,2117

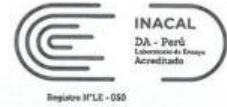
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114428



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00266

Fecha de emisión : 10/07/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[^a 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

^a : Límite detección

^b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
César A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP: 114426

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

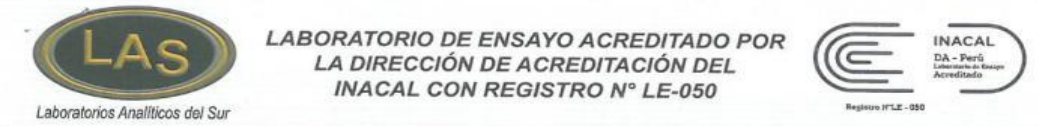
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7240



Tabla E-4: Informe de ensayos de prueba N°4.



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00276

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : PARTICULAR

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 231-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente
Lugar de análisis : Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Fecha de recepción : 11/07/2019
Fecha de ensayo : 11/07/2019
Nro de muestras : 2

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000543	MUESTRA INICIAL As - Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO / PUNO	E 90835.69 - N 8250387.80 19 L	8/07/2019	10:20
AG19000544	MUESTRA TRATADA As - Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO / PUNO	E 90835.69 - N 8250387.80 19 L	8/07/2019	14:20

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado, Temperatura de muestra : 6 C

Observación

-

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

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

²<Valor numérico> = Límite de detección del método, ⁴<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7335



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00276

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 2 de 3


RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796		802							
		As mg/L	Ag mg/L	Al mg/L	B mg/L	Ba mg/L	Be mg/L	Ca mg/L	Cd mg/L	Co mg/L	Cr mg/L
AG19000543	MUESTRA INICIAL As - Fe	0,0273	b<0,0024	b<0,029	0,1258	0,11932	b<0,000079	76,7	b<0,00011	b<0,000094	b<0,00039
AG19000544	MUESTRA TRATADA As - Fe	0,0100	b<0,0024	b<0,029	0,1341	0,11921	b<0,000079	71,0	b<0,00011	b<0,000094	0,05937

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Cu mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Li mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Mo mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	P mg/L	Pb mg/L
AG19000543	MUESTRA INICIAL As - Fe	b<0,002	0,097	26,5	0,03185	19,98	0,00156	b<0,00038	>250	b<0,00051	b<0,0054	0,0082
AG19000544	MUESTRA TRATADA As - Fe	0,0200	1,67	25,3	0,03277	19,22	0,02405	b<0,00038	>250	0,01834	0,0097	0,0114

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802								
		Sb mg/L	Se mg/L	SiO2 mg/L	Sn mg/L	Sr mg/L	Ti mg/L	Tl mg/L	V mg/L	Zn mg/L
AG19000543	MUESTRA INICIAL As - Fe	b<0,00049	0,0075	19,31	b<0,00085	0,5563	0,00207	b<0,0013	0,00138	0,0674
AG19000544	MUESTRA TRATADA As - Fe	b<0,00049	b<0,002	20,18	0,00371	0,5206	0,00240	b<0,0013	0,00264	0,3877

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114428



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00276

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 3 de 3


MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[^a 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

^a: Límite detección

^b: Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----


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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

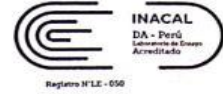
Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7337

Tabla E-5: Informe de ensayos de prueba N°5.



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00277

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV: JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : PARTICULAR

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 231-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente
Lugar de análisis : Parque Industrial de Rio Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Fecha de recepción : 11/07/2019
Fecha de ensayo : 11/07/2019
Nro de muestras : 2

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000545	MUESTRA INICIAL As - Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO / PUNO	E 90835.69 - N 8250387.80 19 L	9/07/2019	09:50
AG19000546	MUESTRA TRATADA As - Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO / PUNO	E 90835.69 - N 8250387.80 19 L	9/07/2019	14:10

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado, Temperatura de muestra : 6 C
Observación
-

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

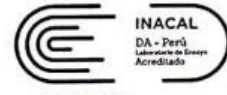
Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7332



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00277

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 2 de 3

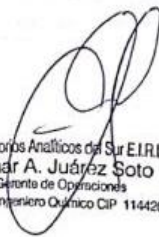
RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796		802							
		As	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000545	MUESTRA INICIAL As - Fe	0,0273	b<0,0024	b<0,029	0,1554	0,17686	b<0,000079	109	b<0,00011	b<0,000094	b<0,00039
AG19000546	MUESTRA TRATADA As - Fe	0,0100	b<0,0024	b<0,029	0,1483	0,14172	b<0,000079	84,0	b<0,00011	b<0,000094	0,01311

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000545	MUESTRA INICIAL As - Fe	0,0062	0,483	25,3	0,02982	20,41	0,02322	b<0,00038	>250	b<0,00051	0,0213	0,0068
AG19000546	MUESTRA TRATADA As - Fe	0,0076	0,495	24,9	0,03083	19,84	0,02218	b<0,00038	>250	0,00293	0,0165	0,0084

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802								
		Sb	Se	SiO2	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000545	MUESTRA INICIAL As - Fe	b<0,00049	0,0058	20,06	0,00381	0,6146	0,00262	b<0,0013	0,00207	0,2209
AG19000546	MUESTRA TRATADA As - Fe	b<0,00049	b<0,002	20,08	0,00106	0,5516	0,00218	b<0,0013	0,00138	0,1953

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.


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



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00277

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

* : Límite de detección b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----


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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
" < Valor numérico " = Límite de detección del método, " < Valor Numérico " = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7334

Tabla E-6: Informe de ensayos de prueba N°6.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00278

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 - A - JULIACA
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : -

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 233-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente
Lugar de análisis : Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Fecha de recepción : 13/07/2019
Fecha de ensayo : 13/07/2019
Nro de muestras : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000548	Muestra Inicial As - Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO	E: 90835.69 N: 8250387.80 19L	11/07/2019	10:30
AG19000550	Muestra Final As - Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO	E: 90835.69 N: 8250387.80 19L	11/07/2019	14:40
AG19000551	Muestra Fe	Agua de Proceso - Agua de Circulación o Enfriamiento	CIUDAD UNIVERSITARIA / PUNO / PUNO	E: 90835.69 N: 8250387.80 19L	11/07/2019	10:30

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado, Temperatura de muestra : 5 C

Observación

-

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7338



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE-050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00278

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802									
		As	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000548	Muestra Inicial As - Fe	0,0273	<0,0024	<0,029	0,1224	0,18068	<0,000079	138	<0,00011	<0,000094	<0,00039
AG19000550	Muestra Final As - Fe	0,0101	<0,0024	<0,029	0,1171	0,16486	<0,000079	113	<0,00011	<0,000094	0,01130
AG19000551	Muestra Fe	<0,0012	<0,0024	<0,029	<0,0053	0,00350	<0,000079	1,15	<0,00011	0,000648	<0,00039

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802										
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000548	Muestra Inicial As - Fe	0,0069	0,927	23,5	0,02870	20,47	0,01031	<0,00038	205	<0,00051	0,0747	0,0065
AG19000550	Muestra Final As - Fe	0,0166	0,475	26,1	0,02870	19,95	0,01010	<0,00038	224	0,00391	0,0249	<0,0026
AG19000551	Muestra Fe	0,0081	1,28	2,33	0,00936	0,2295	0,24658	<0,00038	3,30	<0,00051	<0,0054	<0,0026

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802								
		Sb	Se	SiO2	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19000548	Muestra Inicial As - Fe	<0,00049	0,0110	20,09	<0,00085	0,6389	0,00218	<0,0013	0,00172	0,3538
AG19000550	Muestra Final As - Fe	<0,00049	0,0105	20,03	<0,00085	0,5998	0,00240	<0,0013	0,00172	0,2356
AG19000551	Muestra Fe	<0,00049	<0,002	0,6623	<0,00085	0,0086	<0,00068	<0,0013	<0,00014	<0,0031

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114429



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00278

Fecha de emisión : 18/07/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

* : Límite detección

◻ : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur EIRL
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 7340



Figura E-1: Toma de muestras de las experimentaciones.




Figura E-2: Ejecución de experimentaciones en equipo de oxidación avanzada.



ANEXO F


RESULTADOS DE LABORATORIO DE AGUA TRATADA DE LA CIUDAD DE CARACOTO.

TABLA F-1: Informe de Ensayos de punto Estadio.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00495

Fecha de emisión : 4/10/2019 Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV: JULIO C. TELLO 418 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : Particular


PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO Fecha de recepción : 28/09/2019
Registro de muestreo : 354-19 Fecha de ensayo : 28/09/2019
Procedimiento Aplicado : Muestreo por el cliente Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000869	PUNTO ESTADIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	RURAL- CARACOTO - SAN ROMAN - PUNO	15°34'20.5"S 70° 05'58.5"W	28/09/2019	10:40

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
-



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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8859



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE-050

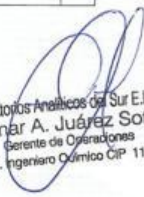
INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00495

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*856	796	802	808	
		C	E	T	Cl2 TOTAL	As	Fe	pH
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C
AG19000869	PUNTO ESTADIO	1,789	20,3	0,04	0,1524	≤0,016	7,73	18,6


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

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8860



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro IFLE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00495

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
856	Método de Ensayo para Cloro total por fotometría	[0.28 - 10] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH

* : Límite detección * : Límite de cuantificación


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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8861

TABLA F-2: Informe de Ensayos de agua tratada punto Estadio.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00497

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : Particular

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Registro de muestreo : 354-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 28/09/2019
Fecha de ensayo : 28/09/2019
Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000871	AGUA TRATADA - PUNTO ESTADIO	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	RURAL - CARACOTO - SAN ROMAN - PUNO	15°49'24.8"S 70° 01'09.4"W	27/09/2019	12:25

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
-


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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8868



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00497

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*856	796	802	808	
		C	E	Cl2 TOTAL	As	Fe	pH	T
		mS/cm	*C	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	*C
AG19000871	AGUA TRATADA - PUNTO ESTADIO	0,694	20,3	0,01	0,0077	<0,016	7,57	16,4

(Signature)
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 11442n

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8869



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



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00497


Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
856	Método de Ensayo para Cloro total por fotometría	[0.26 - 10] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH

* : Limite detección * : Limite de cuantificación


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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8870



TABLA F-3: Informe de Ensayos de punto Rural.



Laboratorios Analíticos del Sur

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



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Grupo
Acreditado
Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00496

Fecha de emisión : 4/10/2019 Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
Proyecto : Particular

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO Fecha de recepción : 28/09/2019
Registro de muestreo : 354-19 Fecha de ensayo : 28/09/2019
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000870	PUNTO RURAL I	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	RURAL- CARACOTO - SAN ROMAN - PUNO	15°34'34.9"S 70° 06'05.6"W	28/09/2019	11:40

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
-



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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
**<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8862



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050


INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00496

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*856	796	802	808		
		C	E	T	C12 TOTAL	As	Fe	pH	T
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	
AG19000870	PUNTO RURAL I	1,852	20,3	0,03	0,1803	h=0,016	7,76	18,2	


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

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8863



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00496

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
856	Método de Ensayo para Cloro total por fotometría	[0.26 - 10] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW, 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH

* : Límite detección * : Límite de cuantificación

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8864



TABLA F-4: Informe de Ensayos de agua tratada punto Rural.


LAS
 Laboratorios Analíticos del Sur

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


INACAL
 DA - Perú
 Laboratorio de Ensayo
 Acreditado
 Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00498

Fecha de emisión : 4/10/2019 Página 1 de 3

Señores : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
 Dirección : AV. JULIO C. TELLO 416 JULIACA - PUNO
 Atención : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO
 Proyecto : Particular

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : COAQUIRA JIHUALLANCA CRISH LUCERO Fecha de recepción : 28/09/2019
 Registro de muestreo : 354-19 Fecha de ensayo : 28/09/2019
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000872	AGUA TRATADA - PUNTO RURAL I	Agua Natural - Subterránea - Agua de Manantial	RURAL - CARACOTO - SAN ROMAN - PUNO	15°49'24.8"S 70° 01'09.4"W	27/09/2019	14:10

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
-


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

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
 *<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8865



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00498

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*856	796	802	808	
		C	E	T	As	Fe	pH	T
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C
AG19000972	AGUA TRATADA - PUNTO RURAL I	0,894	20,3	*<0,01	0,0165	0,017	7,70	19,0

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 11442R

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

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

*<Valor numérico = Límite de detección del método, *<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8866



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE-050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00498

Fecha de emisión : 4/10/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
858	Método de Ensayo para Cloro total por fotometría	[0.26 - 10] mg/L
798	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH

* : Límite detección * : Límite de cuantificación

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

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

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

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 8867