



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

TESIS

**“PROPUESTA DE REMOCIÓN DE ARSENICO
MEDIANTE MECANISMOS DE ADSORCION EN
CONTRAMUESTRAS PELIGROSAS DE AGUA EN LA
EMPRESA ENVIRONMENTAL LABORATORIES DEL
PERU S.A.C EN EL AÑO 2014”**

PRESENTADO POR LA BACHILLER

STEPHANIE SOLANGE ALVAREZ ARENAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

LIMA - PERÚ

2017

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez. Eres quien guía el destino de mi vida.

Te lo agradezco, padre celestial.

RESUMEN

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los laboratorios de ensayo analítico es disponer adecuadamente los remanentes producto de sus servicios; estos remanentes generalmente superan en muchos las concentraciones permitidas por las diversas normativas ambientales establecidas para garantizar la protección de los ecosistemas o infraestructura sanitaria pública.

La normativa específica en la cual se fundamenta la presente investigación es cumplir con lo establecido por el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA para las concentraciones de Arsénico permitidas a verterse a la red pública. La remoción de Arsénico se propone mediante la aplicación de los mecanismo de adsorción empleando como material adsorbente el carbón activado; el principio básico de esta técnica es la retención del analito en estudio por parte de medios granulares adsorbentes bajo parámetros de control que permitan un remoción eficiente del arsénico, para ello se realizaron pruebas para determinar las condiciones ideales a las cuales se puede remover el arsénico contenido en las contramuestras peligrosas a fin que estas puedan ser dispuestas como remanentes no contaminantes o tolerables.

ABSTRACT

One of the main problems that analytical testing laboratories face is properly dispose the remaining product of its services; These remnants generally outperform in many concentrations permitted by the various environmental regulations established to ensure the protection of ecosystems or public health infrastructure.

The specific rules in which this research is based is to comply with the provisions of the S.D. No. 021-2009-VIVIENDA for concentrations of arsenic allowed to be fed into the public grid. Arsenic removal is proposed by applying the adsorption mechanism as adsorbent materials using activated carbon; The basic principle of this technique is the retention of the analyte under study by adsorbing granular media under control parameters that allow efficient removal of arsenic, for it tests were conducted to determine the ideal conditions which can remove arsenic content in dangerous countersamples so that they can be arranged as clean or tolerable remaining.

INTRODUCCIÓN

La control de la contaminación ambiental en el Perú está regida por la promulgación de normativa sectorial específica y por los Estándares de Calidad Ambiental ya establecidos, sin embargo, uno de los problemas ambientales que enfrenta el país es la correcta disposición de las aguas residuales domésticas y no domésticas; para ello existen numerosos proyectos de para la construcción y operación de plantas para el tratamiento de aguas residuales.

Ante la perspectiva futura que se presenta en este rubro, el ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento promulgo el D.S. N° 021-2009 con la finalidad de poder regular a los usuarios no domésticos que hacen uso de la infraestructura de alcantarillado. El principal inconveniente que existía para el tratamiento de las aguas residuales era que muchas veces la carga contaminante que tenía no era propia del agua residual doméstica o urbana, es decir, se encontraban concentraciones demasiado elevadas de contaminantes inorgánicos e orgánicos que no son propios de los domicilios, por el contrario identifiqué que los principales aportantes de estos elementos eran las industrias, las cuales empleaban volúmenes enormes de agua en comparación con el consumo promedio de la población. Una actividad no doméstica poco conocida pero que en los últimos años ha cobrado relevancia por la aparición de varias entidades dedicadas a este rubro, son los laboratorios de análisis medioambientales; estos laboratorios son entidades acreditadas ante INDECOPI para emitir resultados referidos al análisis de agua, aire y suelo.

Los laboratorios realizan diversos ensayos analíticos, uno de ellos es la determinación de metales en aguas (superficiales, subterráneas, industriales, etc). Desde la promulgación del D.S. N° 021-2009 las muestras analizadas que superan la concentración de arsénico en 0.5 mg/L son consideradas como contramuestras peligrosas ocasionando así la responsabilidad de la empresa por tratarlas o disponerlas apropiadamente, limitando su opción a poder emplear el servicio de alcantarillado.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	v

CAPÍTULO I

PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.	Descripción de la realidad problemática	01
1.2.	Antecedentes teóricos relacionados con la investigación	04
1.3.	Formulación del problema	07
	1.3.1. Problema general	07
	1.3.2. Problemas específicos	07
1.4.	Objetivo de la investigación	07
	1.4.1. Objetivo general	07
	1.4.2. Objetivos específicos	07
1.5.	Delimitación de la investigación	08
	1.5.1. Delimitación espacial	08
	1.5.2. Delimitación temporal	08
	1.5.3. Delimitación cuantitativa	09
1.6.	Justificación de la investigación	09
1.7.	Importancia de la investigación	11
1.8.	Limitaciones de la Investigación	12

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.	El agua	13
	2.1.1. Clasificación del agua	13
	2.1.2. Contaminación del agua	18

2.1.3. Tratamiento del agua	22
2.2. Marco Histórico	25
2.3. Marco Legal	27
2.4. Marco Conceptual	28
2.4.1. Arsénico	28
2.4.2. Adsorción	30
2.4.3. Adsorbente y Geomaterial	35
2.5. Definición de Términos Básicos	42

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la empresa	47
3.2. Reseña de la empresa	47
3.3. Metodología de la Investigación	48
3.3.1. Hipótesis General	48
3.3.2. Hipótesis Específicas	49
3.4. Variables e indicadores	49
3.4.1. Variable Independiente	49
3.4.2. Variable Dependiente	50
3.5. Operacionalización de Hipótesis, variables e indicadores	50
3.6. Tipo y nivel de investigación	51
3.6.1. Tipo de la Investigación	51
3.6.2. Nivel de la Investigación	51
3.7. Método de la Investigación	51
3.8. Diseño de la Investigación	52
3.9. Evaluación de las características fisicoquímicas del material adsorbente y la contramuestra peligrosa	52
3.10. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los mecanismos de adsorción	53
3.11. Evaluación económica	56
3.12. Población y muestra	57

3.13. Técnicas analíticas, instrumentos y fuentes de recolección de datos	59
3.13.1. Técnicas	59
3.13.2. Instrumentos	63
3.13.3. Fuentes	65

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados experimentales	66
4.1.1. Resultados de la evaluación de las características fisicoquímicas del material adsorbente y la contramuestra peligrosa	66
4.1.2. Resultados de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los mecanismos de adsorción	67
4.1.3. Resultados de la evaluación económica	69
4.2. Interpretación de resultados	70
4.2.1. Análisis de los resultados de la evaluación de las características fisicoquímicas del material adsorbente y la contramuestra peligrosa	70
4.2.2. Análisis de los resultados de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los mecanismos de adsorción	74
4.2.3. Análisis de los resultados de la evaluación económica	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	85
Anexo N° 1: D.S. N° 021-2009 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	86
Anexo N° 2: Valores Máximos Admisibles	87
Anexo N° 3: Matriz de consistencia	88
Anexo N° 4: Registro fotográfico	90

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:

El arsénico inorgánico se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente, aparece en la naturaleza fundamentalmente en dos estados de oxidación: As (III) y As (V), esto es, arsénico trivalente y pentavalente, formando parte de una variedad de compuestos, entre los que podemos citar el trióxido de arsénico y los arseniatos de plomo o calcio (arsénico pentavalente).

Las fuentes de arsénico en el medio ambiente son tanto naturales como por ejemplo “ascensos de fluidos magmáticos e hidrotermales, emisiones volcánicas a la atmosfera, desorción y disolución de minerales con arsénico durante la meteorización” (Galindo, Griselda2008:4) y por las actividades antropogénicas, entre las cuales destaca “la minería, la maderera y la agroquímica en la formulación de pesticidas” (Moreno, Dolores 2003:199). La contaminación de agua superficial o subterránea por arsénico son una realidad latente en la actualidad; tanto por razones naturales o porque no existe un control estricto sobre las actividades antropogénicas que vierten este contaminante en los efluentes producto de sus actividades.

La minería es una actividad que está directamente asociada al vertimiento de este contaminante, debido a que el arsénico es el principal constituyente en más de 200 minerales (As nativo, arseniuros, sulfuros, óxidos, arsenatos y arsenitos); la tabla 1.0 muestra una relación de los minerales de arsénico más frecuentes.

Tabla N° 1: Minerales de Arsénico más Frecuentes

MINERAL	COMPOSICION	OCURRENCIA
Arsénico Nativo	As	Venas Hidrotermales
Niccolita	NiAs	Filones y Noritas
Realgar	AsS	Filones, muchas veces asociados con oropimente, arcillas y carbonatos.
Oropimente	As ₂ S ₃	Venas hidrotermales. También como producto de Sublimación de emanaciones volcánicas
Cobaltita	CoAsS	Depósitos de alta temperatura, rocas metamórficas.
Arsenopirita	FeAsS	Es el mineral de arsénico más abundante.
Tenantita	(Cu,Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃	Venas hidrotermales
Enargita	Cu ₃ AsS ₄	Venas hidrotermales
Arsenolita	As ₂ O ₃	Mineral Secundario formado por la oxidación de la Arsenopirita, As nativo y otros minerales de Arsénico.
Hematolita	(Mn,Mg) ₄ Al(AsO ₄) (OH) ₈	Mineral el Fisuras de roca metamórfica.

Fuente: Peligros Geoquímicos del Arsénico Natural (Javier Lillo 2009:14)

Sin embargo, pese a que es un riesgo inherente a la explotación de minerales no se puede negar que la minería representa un papel preponderante en la economía peruana y es parte importante del total de la inversión privada en el país, con un impacto directo en la producción, recaudación, exportaciones y empleo. La minería formal invierte en la implementación de tecnología que le permitan trabajar si generar impactos ambientales significativos; la minería informal es

aquella a la que están asociados generalmente los problemas de contaminación en cuerpos receptores, debido a que los resultados de los análisis químicos indican que superan los estándares de calidad ambiental establecidos por la normativa peruana.

La evaluación y la fiscalización de la normativa ambiental en todo el territorio nacional se encuentra bajo la jurisdicción del “Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA” quien es el ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental – SINEFA (Ley N° 29325). Es un organismo público, técnico especializado, adscrito al Ministerio del Ambiente y tiene la responsabilidad de verificar el cumplimiento de la legislación ambiental por todas las personas naturales y jurídicas.

Las empresas elaboran programas de monitoreo como una herramienta de gestión Ambiental que les permite conocer, evaluar y decidir sobre el control que deben aplicar a los aspectos ambientales significativos producto de sus actividades; los programas consisten en la recolección de muestras de agua de vertimientos y cuerpos receptores (superficiales y subterráneas), las muestras serán analizadas posteriormente en Laboratorios de ensayos ambientales debidamente acreditados por INDECOPI en el parámetro a evaluar.

Los Laboratorios de ensayos ambientales realizan análisis de agua para determinar la concentración de una variedad de compuestos o elementos (para nuestro estudio “As”); para ello se examinan muestras provenientes de los monitoreos, diseñados para el control ambiental de los procesos industriales y cuerpos receptores. Cuando la concentración de arsénico en las muestras es superior o igual a 0.5 mg/L éstas son consideradas contramuestras peligrosas, las cuales son almacenadas en contenedores de 20 litros debido a que no pueden ser dispuestas a la red pública por superar el valor máximo admisible

para las concentraciones de arsénico en agua de efluente establecido por el DS-021-2009 del Ministerio de Vivienda, Comunicación y Saneamiento.

La finalidad de la promulgación y cumplimiento de la normativa establecida por el ministerio de vivienda, comunicación y saneamiento, es poder verter a la red pública efluentes que tenga niveles de contaminación parámetros que aseguren un tratamiento eficientemente; la concentración elevada de arsénico y otros metales pesados pueden ocasionar la inhibición del tratamiento. Este problema obliga a los laboratorios de ensayos ambientales a contratar los servicios de una empresa prestadora de servicios (EPS) para la disposición final de las contramuestras peligrosas, generando un sobre costo elevado que está en función a la concentración del Arsénico en volumen total a disponer.

1.2. Antecedentes Teóricos relacionados con la Investigación:

El arsénico orgánico, inorgánico y sus compuestos son altamente tóxicos para la vida, en altas concentraciones en el agua puede contribuir a alteraciones genéticas en peces debido a que es fácilmente bioacumulable, de la misma forma los animales que se alimentan de peces contaminados con arsénico pueden sufrir envenenamiento o biomagnificación. Este elemento es abundante en la naturaleza debido a que se encuentra asociado a minerales de cobre y plomo con contenidos de enargita (Cu_3AsS_4); depósitos de cobre con pirita arsenical ($FeAsS$); depósitos de níquel, cobalto, plata nativa; depósitos de oro arsenical; depósitos de sulfuro arsenical con oro y depósito de estaño arsenical. (Cornelis, Klein 1997:408)

El arsénico ha sido relacionado como causante del cáncer de vejiga, pulmones, riñones, fosas nasales, hígado y próstata. El Departamento

de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la EPA (Agencia de Protección del Medioambiente) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que el arsénico inorgánico es un elemento cancerígeno en seres humanos (El Mantaro Revive. 2007:49).

Diversos estudios han comprobado que este elemento químico es uno de los que causan mayor daño al medio ambiente a nivel mundial. Se encuentra en altas concentraciones en Taiwán, China, Argentina, Chile, México, partes de Europa, en los Estados Unidos y, más notablemente, en Bengala Occidental, India y su país vecino Bangladesh. Desde mediados de los años 1980, millones de personas han sido expuestas a niveles peligrosos de arsénico en su agua potable, incitando un alto nivel de actividad en todos los esfuerzos de salud pública para el tratamiento y prevención de enfermedades relacionadas con el arsénico. Tan sólo en Bangladesh, más de 120 millones de personas han sido expuestas a niveles de arsénico mayores que el Nivel Máximo de contaminante (MCL, en inglés) de 0.010 ppm establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US EPA), lo cual presenta una emergencia potencial de salud a una escala sin precedentes. ([http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/62 tratamiento_arsenico.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/62_tratamiento_arsenico.pdf))

Nuestro país no es ajeno a los problemas asociados a la contaminación de arsénico y otros compuestos como consecuencias de la acción de diferentes actividades antrópicas, especialmente la minería, este elemento llega a los cuerpos receptores superficiales o subterráneos, es por eso que la experiencia Peruana, dice lo siguiente:

“La calidad del agua está afectada por las actividades humanas que se desarrollan en el entorno de las fuentes naturales de agua y por las

condiciones naturales del terreno por donde discurren. El problema de la contaminación de las aguas en el Perú crece en la medida que se desarrollan las ciudades y las actividades económicas, mereciendo especial mención por su incidencia negativa: los pasivos ambientales remanentes de la antigua actividad minera y los estragos que causa la minería ilegal, la industria pesquera, las grandes ciudades, los complejos industriales y la agricultura”. (Informe País 2009:7)

Por citar nuevamente el informe País, se sabe que los ríos más contaminados en el Perú son: Mantaro, San Juan, Huarón, Carhuacayán, Yauli y Azulcocha; Rímac y Aruri; Moche, Santa, Cañete, Pisco y Locumba; Huallaga, Hualgayoc, Ramis y Huancapetí.

Los laboratorios de ensayos ambientales surgen como un instrumento de control y seguimiento de los aspectos e impactos ambientales significativos producto del desarrollo antrópico. Para que un laboratorio pueda brindar sus servicios analíticos deberá estar debidamente acreditado mediante el cumplimiento de los criterios establecidos en el Reglamento General de Acreditación y en la norma NTP-ISO/IEC 17025 (INDECOPI); otorgando así la confiabilidad de los resultados emitidos. Aproximadamente 20 de los 54 laboratorios que se encuentran en el directorio de laboratorios de ensayo acreditados realizan análisis de agua para determinar la concentración de arsénico.

Para que se disponga finalmente de las contramuestras peligrosas es necesario confinarlas en contenedores de 20 litros, una vez homogenizada y estabilizada es analizada para determinar la concentración final de arsénico, la cual es rotulada en el contenedor. En base al procedimiento anteriormente descrito la empresa prestadora de servicio evaluará el costo por el tratamiento y disposición final de las contramuestras peligrosas.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

1.3.1. Problema Principal:

¿Cuál es la eficiencia de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales?

1.3.2. Problemas Específicos:

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del material adsorbente a emplear y la contramuestra peligrosa con alto contenido de arsénico?
- ¿Cómo influyen los parámetros fisicoquímicos en la eficacia de los mecanismos de adsorción?
- ¿Es económicamente viable el empleo de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:

1.4.1. Objetivo General:

Determinar la eficiencia de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Analizar las características fisicoquímicas del material adsorbentes a emplear y la contramuestra peligrosa con alto contenido de arsénico.

- Evaluar la influencia de los parámetros fisicoquímicos en la eficacia de los mecanismos de adsorción.
- Determinar si es económicamente viable el empleo los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

1.5.1. Delimitación Espacial:

La investigación se ha llevado a cabo en el Departamento de Lima, provincia de Lima, Distrito de San Miguel en la urbanización Maranga, en la AV. La Marina N°3059.

1.5.2. Delimitación Temporal:

Las muestras de agua ingresan al laboratorio mediante la generación de una cadena de custodia que indica la información necesaria para que la muestra sea analizada; luego de su ingreso es almacenada a 4 °C hasta el momento del análisis, una vez reportado el valor de concentración de Arsénico y si este supera el valor máximo admisible de 0.5 mg/L establecido por el DS-021-2009 del Ministerio de Vivienda, Comunicación y Saneamiento, entonces es rotulada, separada y almacenada junto a otras muestras con igual característica, una vez superados los 6 meses se procede a verter todas las contramuestras peligrosas en contenedores de 20 litros, se colecta una pequeña cantidad de muestra para conocer la concentración final del contenedor; con esta información es finalmente dispuesta a la EPS autorizada.

Durante este periodo es muy probable que se supere los 20 litros de contramuestras peligrosas y que se dispongan por medio de la EPS más de un contenedor, sin embargo no es posible estimar un volumen exacto de disposición final pues esta características está en función a la cantidad de análisis de arsénico en agua que se puedan realizar durante estos 6 meses y a las muestras que puedan superar el Valor máximo admisible.

El periodo de almacenamiento de contramuestras peligrosas empleadas para realizar la investigación data de aquellas que se almacenaron desde 01/01/2013 hasta el 30/06/2013.

1.5.3. Delimitación Cuantitativa:

El volumen de contramuestras peligrosas que se emplearon en la investigación fueron 18 litros, almacenados durante el periodo descrito en la delimitación temporal. Se emplearon 6 litros de contramuestras peligrosas para realizar los ensayos fisicoquímicos que permitan caracterizar la contramuestra peligrosa así como la concentración final de arsénico, además se realizaron los ensayos correspondientes que permitieron demostrar las condiciones ideales en las cuales se obtuvo la mayor eficiencia de remoción de arsénico. Los 12 litros restantes fueron tratados a partir de los resultados que permitieron mostrar las condiciones ideales en las cuales se puede obtener la mayor eficiencia de remoción de arsénico.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

La contaminación ambiental es uno de los problemas que afectan actualmente a las personas de todo el país, no es posible hacer uso del aquel derecho fundamental establecido en el Artículo I del título

preliminar de Derechos y Principios establecidos en La ley N°28611 - Ley General del Ambiente, la cual dice que:

“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país”.

El arsénico es un metal nocivo para la salud humana y para los ecosistemas, es por esto que desde hace ya mucho tiempo se han desarrollado técnicas y procedimientos enfocados a la remoción de este elemento del agua para lo cual se obtuvieron resultados positivos en diferentes matrices de agua en las cuales se pusieron en práctica, sin embargo, que sucede cuando ciertas actividades como las desarrolladas por los laboratorios de ensayos ambientales generan por su servicio un volumen de contramuestras peligrosas con una elevada concentración de arsénico, las cuales serán confinadas bajo condiciones especiales y dispuestas finalmente por una EPS a un relleno de seguridad.

Si bien es cierto la Empresa Prestadora de Servicio dispondrá las contramuestras peligrosas a un relleno de seguridad, el cual se encuentra diseñado para almacenar productos, compuestos u elementos peligrosos bajo condiciones de seguridad, resulta más sencillo almacenar y tratar los residuos sólidos de los materiales adsorbentes que se emplearan para la remoción del arsénico, que practicar el mismo procedimiento para un volumen mucho mayor de contramuestras peligrosas.

Los fundamentos presentados en el párrafo anterior denotan que es necesaria la remoción del arsénico del agua mediante la aplicación de técnicas adecuadas, procedimientos que sean de bajo costo, sencillos de poder desarrollar y eficientes.

1.7. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN:

La importancia de esta investigación radica en proponer una alternativa de remoción de arsénico en contramuestras peligrosas mediante mecanismos de adsorción, generando una nueva aplicación a esta técnica en matrices de agua más complejas en las cuales normalmente no se experimenta.

El poder tratar las contramuestras peligrosas en los propios laboratorios de ensayos ambientales representara una mejora en su sistema de gestión ambiental, debido a que se dispondrá de mejor manera los aspectos ambientales producto de la prestación sus servicios y a su vez reduciría el costo generado por contratar una empresa prestadora de servicio la cual recoge, trata y dispone las contramuestras peligrosas en un relleno de seguridad.

Los párrafos anteriores mencionan la importancia tecnológica y económica de la aplicación de este procedimiento, sin embargo, esta investigación tiene también importancia Ambiental al dejar las bases experimentales para poder efectuar una reducción significativa de los volúmenes finales de materiales peligrosos. El arsénico no será eliminado, pues solo será adsorbido en un material específico que finalmente será dispuesto como un residuo solido peligroso con la ventaja ambiental que es mucho más practico tratar o confinar 0.5 Kg de solidos a 10 o 20 litros de agua con alto contenido de arsénico.

1.8. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN:

El elevado precio de los análisis de laboratorio, no permitieron realizar una caracterización fisicoquímica minuciosa del material adsorbente y de la contramuestra peligrosa, siendo esta limitante un factor negativo al momento de poder evaluar los resultados obtenidos en ambos a medida que interactuaban.

La escasa bibliografía específica referente a la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas, aumento el nivel de incertidumbre al momento de ejecutar los procedimientos experimentales y obtener resultados, esto debido a que la mayor parte de investigaciones están enfocadas a la remoción de arsénico en matrices de agua menos complejas, es decir, agua potable, agua subterránea y aguas superficiales.

Las limitaciones estructurales fueron también un factor negativo para el desarrollo normal de la investigación, debido a que por tratarse de contramuestras peligrosas con alto contenido de arsénico, toda la parte experimental se realizó en un laboratorio con infraestructura especial para evitar poner en riesgo la salud de las personas circundantes y del investigador.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. EL AGUA:

El agua es esencial para el desarrollo de todas las formas de vida en el planeta, es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). El agua terrestre puede estar en forma sólida, líquida, o de vapor, debido a que las condiciones de presión/temperatura en el planeta se sitúan alrededor de las de su punto triple. Esto determina que debido a la radiación solar, el agua cambie de estado y se trasvase continuamente entre los distintos reservorios, lo que se conoce como ciclo hidrológico. El 97 % es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 % de su volumen es dulce. De esta última, un 1 % está en estado líquido. El 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos

2.1.1. Clasificación del agua:

a) Aguas superficial:

i) Ríos:

Las corrientes superficiales representan un porcentaje mínimo del agua continental (0.006 %), pero este valor es aún mucho más insignificante si lo comparamos con el total de la hidrosfera: tan sólo el 0.0002 % circula en un momento dado por la superficie del planeta. Sin embargo, estos datos no reflejan la importancia que tienen estas aguas en el aspecto de los paisajes continentales.

El agua que desciende sobre la superficie, desde las partes más altas de los continentes hasta los fondos oceánicos, limando las diferencias topográficas, se denomina escorrentía superficial. Inicialmente fluye como una lámina delgada no encauzada, es lo que se conoce como escorrentía en lámina o arroyada difusa o en manto, pero rápidamente se desarrollan hilos de corriente que se unen haciéndose cada vez de mayor tamaño hasta que descargan en una corriente encauzada.

Una cuenca hidrográfica representa el área que recoge las aguas que van a parar a una misma corriente fluvial, incluye por tanto el agua no encauzada y todos los afluentes que desagüen en el río principal (red de drenaje). La forma de la red de drenaje depende de lo joven que sea la región, del tipo de roca y de la existencia de fracturas u otras discontinuidades.

ii) Lagos:

Representan el mayor almacén de agua líquida en la superficie continental (0.26 %), con un total del 0.012 % de la hidrosfera, si se incluyen los lagos salados y los mares interiores. Los lagos son depresiones donde el agua ha quedado estancada de forma más o menos permanente, lo que incluye a las charcas, estanques, pantanos, turberas e incluso los embalses artificiales además de los lagos propiamente dichos.

En muchas ocasiones se ha considerado a los lagos como sistemas aislados sin conexión con el exterior e invariables en el tiempo. En la mayoría de los casos esto

no es cierto puesto que existe un importante aporte de materia desde fuera del lago (ríos, aguas subterráneas) y también un desagüe hacia el exterior.

La mayor parte de los lagos son recientes desde un punto de vista geológico, muchos de ellos aparecen después de retirarse los hielos tras la última glaciación del cuaternario. Generalmente son inestables, puesto que van rellenándose lentamente por sedimentos tanto orgánicos como minerales hasta que se transforman en turberas o pantanos que acaban por cubrirse de vegetación terrestre.

b) Aguas Subterráneas:

El ciclo de vida de las aguas subterráneas comienza cuando una parte de las aguas superficiales penetra a través de los poros y fisuras de las rocas hacia el subsuelo. Este fenómeno se conoce como infiltración y depende de la interacción una serie de factores que determinan que la cantidad de agua infiltrada pueda variar ampliamente de unas regiones a otras.

Aunque en un sentido estricto toda el agua infiltrada podría considerarse como "agua subterránea", sólo una parte de ella descenderá por gravedad lo suficiente como para llegar a alimentar los acuíferos subterráneos, mientras que otra parte quedará retenida a escasa profundidad dando lugar a la humedad del suelo.

i) Los acuíferos subterráneos:

Los materiales geológicos del subsuelo tienen muy distinta capacidad para almacenar y/o transmitir el agua. En función de esta capacidad, una formación geológica puede ser clasificada como:

- **Acuífero:** Puede almacenar y transmitir cantidades significativas de agua, que puede ser captada en su caso para consumo humano. Estas características las cumplen, por ejemplo, los materiales detríticos no consolidados como las arenas y las gravas, ya que son materiales sumamente permeables.
- **Acuitardos:** Son formaciones que también pueden almacenar agua, pero que la transmiten con lentitud. Como el agua fluye lentamente hacia los pozos, estos tardarán mucho tiempo en recuperar de nuevo su nivel después de una extracción. Por esto el caudal que se podría extraer es considerablemente menor que en el caso de un acuífero, de manera que resulta poco rentables para el abastecimiento humano, aunque podrían ser suficientes para abastecimientos a pequeñas comunidades. Un ejemplo de este tipo serían los materiales detríticos mal clasificados, como una mezcla de arenas y arcillas.

c) Agua Residual Industrial:

También conocida como agua residual no doméstica; la industria precisa el agua para múltiples aplicaciones, para calentar y para enfriar, para producir vapor de agua o como

disolvente, como materia prima o para limpiar. La mayor parte, después de su uso, se elimina devolviéndola nuevamente a la naturaleza. El volumen de agua a utilizar estará en función a la actividad industrial, es decir, los volúmenes de agua que se necesitan para la industria alimentaria serían mucho menores que los que se emplean en la industria textil y esta última serían mucho menores que lo que se emplea en la minería.

Entre las principales actividades industriales que emplean grandes volúmenes de agua tenemos:

- Industria Alimentaria.
- Industria Textil.
- Industria Productos Minerales.
- Industria Papelera.
- Industria Manufacturera de Sustancias Químicas, Productos derivados del Petróleo y del Carbón.

d) Agua Residual Domestica:

Referido a los diversos usos que da el hombre al agua, estas actividades generan aguas residuales que se presentan en forma aislada o mezcladas en diferentes concentraciones. Se originan en las viviendas familiares por:

- La preparación de alimentos.
- La limpieza de la casa.
- El lavado de la ropa e higiene personal.
- El uso del inodoro.

2.1.2. Contaminación del Agua:

Se entiende por contaminación del agua la presencia de una o más sustancias, o la combinación de ellas que perjudiquen o molesten la vida, salud o bienestar humanos o degraden el agua. Los contaminantes pueden considerarse en función de los efectos que producen sobre la salud humana o sobre el equilibrio de los ecosistemas. Las causas de la contaminación del agua pueden ser:

a) Fuentes Naturales:

La contaminación natural es difusa y se debe al arrastre de partículas o de gases atmosféricos por las gotas de lluvia, a pólenes, esporas, hojas secas u otros residuos vegetales y a excrementos de peces o de aves acuáticas.

El agua cumple un papel erosivo en su escurrimiento superficial, es por esta característica que se produce un desgaste progresivo de las rocas, muchas de estas contienen una gran cantidad de minerales generalmente no tóxicos, sin embargo, existen algunos minerales que tienen gran cantidad de metales pesados en su composición y que por el fenómeno de desgaste erosivo provoca su incorporación a cursos de agua superficial. Este proceso ocurre también en los escurrimientos subsuperficiales donde es mucho más nocivo el efecto, debido a que este proceso es acumulativo a diferencia de la escorrentía superficial.

b) Fuentes Antropogénicas:

i) Minería:

El Drenaje Ácido de la Minería (DAM) es el mayor problema ambiental provocado por la industria minera, esto ocurre cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico.

La contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestas en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Los metales son extraídos y llevados río abajo, mientras el agua lava la superficie rocosa. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH neutral, la lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de la minería.

La minería es uno de los sectores más importantes de la economía peruana y representa normalmente más del 50% de las exportaciones peruanas con cifras alrededor de los 4 mil millones de dólares al año.

Los principales minerales que exporta nuestro país son: cobre, oro, hierro, plata, zinc y plomo entre otros. Actualmente todos ellos son fuertemente demandados como insumos para procesos industriales de alto nivel tecnológico.

El Perú es un país con un potencial geológico importante, lo que lo convierte en un lugar atractivo para esta actividad, este potencial tienen como fundamento lo siguiente:

- Presencia de la cordillera de los Andes a lo largo de todo el territorio, principal fuente de minerales.
- Existe una vasta y variada riqueza geológica reconocida por la comunidad internacional, la mayor parte aun por explorar y explotar.
- El Perú también cuenta con un alto potencial en minería no metálica: boratos, diatomita, bentonita, roca fosfórica y travertino, entre otras.
- El Perú figura en el primer lugar de países más atractivos de Latinoamérica desde el punto de vista geológico. Fuente: Fraser Institute Survey 2007.

ii) Agricultura:

Organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2006) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (1998), han señalado que la agricultura es la causa de deterioro más importante de los cuerpos de agua; por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) (2000) informó que 72% de los ríos y 58% de los lagos evaluados tenían a la agricultura como fuente de su deterioro; en 26% de los ríos se encontraron pesticidas; en 40% de los lagos y en 37% de los ríos había nutrientes y en 40% de ríos y lagos, enriquecimiento por materia orgánica.

Entre las diversas razones que explican por qué los agricultores llevan a cabo prácticas de producción que contaminan el agua, se pueden mencionar las siguientes:

- Utilizar fertilizantes y pesticidas de manera excesiva, muchas veces por falta de conocimientos para aplicarlos correctamente.
- Porque, en general, los productores no están conscientes del daño ambiental que causan sus prácticas productivas.

iii) Industria:

Son las aguas procedentes de actividades relacionadas con la industria, entre las que podemos encontrar: preparación de materias primas, elaboración y acabado de productos, transmisión de calor y frío, y lubricantes. Una gestión eficiente de las aguas residuales, requiere una comprensión completa de las fuentes contaminantes, su origen y tipo de sustancias, por lo que deben ser identificadas y localizadas.

Las aguas industriales poseen sustancias propias de cada actividad industrial (tóxicos, iones metálicos, productos químicos, detergentes, hidrocarburos, productos radiactivos, etc.). La gran variedad y cantidad de compuestos vertidos por este tipo de actividad, obliga a una investigación propia para cada tipo de industria, pues los vertidos procedentes de cada tipo de actividad industrial (alimentación, química, agrícola, metalúrgica, etc.) es diferente, debido a que sus procesos productivos lo son.

Para lograr minimizar las cargas contaminantes de los vertidos industriales, pueden utilizarse varias opciones, tales como: la optimización de sus procesos productivos, llegando a cambiar las tecnologías utilizadas por unas más limpias o ecológicas, y la utilización de depuradoras propias.

2.1.3. Tratamiento del Agua:

Se conoce por tratamiento de agua a todo aquel proceso físico, químico o biológico que es capaz de reducir la contaminación en el agua. Los tipos de tratamiento dependerán del uso que se pretende dar al agua tratada, es decir, si pretendemos potabilizar el agua de un río, entonces su tratamiento debe garantizar que el producto final contenga las características y composición apropiada para el consumo humano. No se aplica el mismo criterio si se trata de agua residual, la cual tiene una carga de contaminantes importante, y se busca realizar un tratamiento que garantice que cuando sea dispuesta finalmente esta no ocasiona mayores daños o sea amortiguada por la capacidad dilutora del medio receptor.

a) Tipos de Tratamiento:

Los tipos de tratamiento que existen en la actualidad son muy diversos, sin embargo estas técnicas se emplean en función al origen del agua que trataremos, entre estas tenemos:

i) Tratamiento de Agua para Potabilización:

Generalmente las fuentes de abastecimiento para este tipo de tratamiento son el agua superficial de lagos, ríos o

las aguas subterráneas. Sus etapas pueden ser variables de acuerdo a la rigurosidad del tratamiento, sin embargo para esta cita mencionaremos las etapas del proceso que emplea SEDAPAL en su planta de tratamiento la ATARJEA:

- Captación.
- Filtración Primaria o cámara de Rejas.
- Filtración Secundaria o Desarenadores.
- Estanques de Regulación.
- Estanques de Coagulación y Floculación.
- Sedimentadores.
- Filtros (absorción y Adsorción).
- Depósitos de Estabilización.
- Distribución.

ii) Tratamiento de Agua Residual:

El tratamiento de aguas residual es un poco más complejo que el tratamiento de agua potable, esto es debido a que la carga de contaminantes es muy elevada, además previo al tratamiento debe de existir un trabajo de caracterización del mismo para estimar el tipo de carga que posee, de lo contrario cabe la posibilidad que el tratamiento que apliquemos no sea el más apropiado y obtengamos un tratamiento deficiente.

➤ Tratamiento primario de las aguas

Entre las operaciones que se utilizan en los tratamientos primarios de aguas residuales están:

- La filtración
- La sedimentación
- La flotación
- La separación de aceites
- La neutralización.

➤ **Tratamiento Secundario**

Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento secundario de las aguas contaminadas están:

- Proceso de lodos activados
- Aireación u oxidación total
- Filtración por goteo
- Tratamiento anaeróbico.

El tratamiento secundario más común es el de los lodos activados. Las aguas residuales que provienen del tratamiento primario pasan a un tanque de aireación en donde se hace burbujear aire o en algunos casos oxígeno, desde el fondo del tanque para favorecer el rápido crecimiento de las bacterias y otros microorganismos. Las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer los desechos orgánicos de estas aguas. Los sólidos en suspensión y las bacterias forman una especie de lodo conocido como lodo activado, el cual se deja sedimentar y luego es llevado a un tanque digestor aeróbico para que sea degradado.

➤ **Tratamiento terciario**

Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento terciario de aguas contaminadas están:

- Microfiltración
- Adsorción por carbón activado
- Intercambio iónico
- Osmosis inversa
- Electrodialisis
- Remoción de nutrientes
- Cloración
- Ozonización.

2.2. MARCO HISTORICO:

Los mecanismos de Adsorción son técnicas de tratamiento de agua que se han empleado desde hace muchos años atrás en diversas investigaciones enfocadas a distintos elementos o sustancias problemáticas, a lo cual se experimentó con distintos materiales que poseen las características adsorbentes; el agua siempre será un bien necesario y escaso en algunas regiones del mundo, es por esto que muchos de estos procedimientos se han realizado en áreas naturales donde el agua subterránea se encuentra contaminada.

Actualmente una de las aplicaciones más importantes de los mecanismos de adsorción es en la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas potables y descargas residuales municipales e industriales. La adsorción es un fenómeno superficial que involucra la acumulación o concentración de elementos o compuestos en la superficie de un material específico que posee propiedades adsorbentes.

La adsorción sobre carbón activado se ha usado extensa y exitosamente en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales y, de aguas potables, y se considera como la mejor tecnología disponible para eliminar compuestos orgánicos recalcitrantes y tóxicos presentes en solución acuosa (USEPA, 1991). Además, varias zeolitas naturales se han usado como intercambiadores iónicos en la remoción de iones amonio de aguas residuales y potables; de iones de cesio y estroncio de desechos radioactivos; y de metales pesados en aguas residuales industriales (Kesraoui-Ouki y col., 1994; Leyva-Ramos y col., 2001).

Otro material adsorbente empleado en la remediación de agua con alto contenido de arsénico, es la lana de acero, la cual demuestra una elevada eficiencia en la remoción de arsenito y arsenato del agua. La recuperación ocurre en ppm durante los primeros minutos de contacto. La principal ventaja del proceso, se debe al bajo precio y la fácil aplicación domiciliaria. (Estudio alternativo para la purificación de arsénico del agua; Departamento de Geología Ambiental. Universidad de Sao Paulo).

También se han aplicado técnicas modificadas en las cuales se desarrolla una metodología para pretratar una zeolita natural (chabazita) con óxido de magnesio para remover arsénico (As^{+5}) en agua de consumo humano. Se propone un tratamiento con óxido de magnesio por considerarse un adsorbente eficiente para remoción de metales en agua. El análisis de difracción de rayos X demostró cambios significativos en la chabazita debido a la presencia de óxidos e hidróxidos amorfos incorporados durante el pretratamiento. Los resultados del diseño experimental muestran una eficiencia superior a 90 % de As^{+5} adsorbido en un tiempo de cinco minutos. Los resultados indican que las variables más significativas que afectan la adsorción de As^{+5} son la concentración inicial de arsénico y la relación sólido/líquido

(S/L). Los datos experimentales se ajustan de mejor forma a la isoterma de Freundlich, con lo que se obtiene una capacidad de adsorción de 20.17 mg/g. (Flérida MEJÍA-ZAMUDIO, Jesús L. VALENZUELA-GARCÍA, Salvador AGUAYO-SALINAS y Diana MEZA-FIGUEROA. Universidad de Sonora).

Las diversas investigaciones que se han fundamentado bajo la aplicación de los principios de la adsorción de arsénico han experimentado con diversos materiales que demostraron comportamientos y eficiencias diferentes al momento de evaluar los resultados obtenidos, sin embargo, mucha de las pruebas y experimentos documentados han sido aplicados a la remoción del arsénico de matrices de agua poco complejas como lo son las aguas superficiales, subterráneas y efluentes domésticos; por lo que los resultados pueden diferir a los esperados al aplicar la metodología a contramuestras de agua.

2.3. MARCO LEGAL:

La investigación es enmarcada dentro de la normativa legal que se lista a continuación:

- Ley General del Ambiente 28611.
- Ley General de Residuos Sólidos 27314.
- D.S. N° 021-2009-VIVIENDA (VMA): Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de Aguas Residuales No Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario.
- Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.
- Norma ISO 14001:2004.

2.4. MARCO CONCEPTUAL:

2.4.1. Arsénico:

El arsénico (del latín arsenicum) es un elemento natural que forma un 0,00005% de la corteza terrestre. Se encuentra ampliamente distribuido en ella con una concentración media de 1,5 y 2 (mg/kg), se ubica en el 20º lugar en abundancia en relación con otros elementos (OMS, 1981).

El elemento arsénico, cuyo símbolo es As, es miembro del Grupo 15 de la tabla periódica. Es un metaloide cuyo número atómico es 33, su masa atómica 74,92 y su densidad 5,72 g/cm³. Está presente en rocas, en más de 200 especies minerales, suelos, agua y aire (OMS, 2001). Se encuentra en estado libre y combinado en los minerales que contienen cobre, plomo, hierro, níquel, cobalto y otros metales. Algunos de los minerales primarios que contienen arsénico son: arsenopirita (FeAsS), rejalgar (As₄S) y oropimente (As₂S₃). El arsénico y sus componentes se presentan en forma cristalina, en polvo, amorfa o vítrea. Presenta varias formas alotrópicas: gris metálico, amarillo y negro.

Alotrópico es la propiedad de algunos elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes, como el oxígeno (oxígeno atmosférico O₂ y ozono O₃), o con características físicas distintas, como el fósforo (fósforo rojo y fósforo blanco) o el carbono (grafito y diamante). El arsénico gris metálico es la forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor pero pobre conductor eléctrico y en exposición al aire pierde el brillo metálico.

El arsénico se presenta en forma orgánica o inorgánica. Puede existir en diferentes formas químicas en combinación con otros elementos tales como oxígeno, cloro y sulfuro; el arsénico combinado con estos elementos es llamado arsénico inorgánico; combinado con carbón e hidrógeno se denomina arsénico orgánico. Algunos compuestos del arsénico se presentan en la Tabla 2.4 junto a sus propiedades fisicoquímicas.

El arsénico inorgánico se presenta en cuatro principales formas químicas conocidas por su valencia o estados de oxidación: -3 , 0 , $+3$ y $+5$. La valencia es la medida de la habilidad de un componente para combinarse con otros elementos. El grado de toxicidad también está medido por la oxidación, la estructura química y su solubilidad, y disminuye de la siguiente forma: arsina $>$ As^{+3} inorgánico $>$ As^{+3} orgánico $>$ As^{+5} inorgánico $>$ As^{+5} orgánico $>$ compuestos arsenicales y arsénico elemental, siendo la toxicidad del As^{+3} 10 veces mayor que la del As^{+5} y la dosis letal para adultos es de 1-4mg As/Kg (Castro de Esparza y Wong de Medina, 1998).

Tabla N° 2 Propiedades fisicoquímicas de algunos compuestos arsenicales

Compuesto	Fórmula	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Densidad (g/cm ³)	Solubilidad en agua (g/l)
Arsénico	As	613	-	5,727 a 14 °C	Insoluble
Trióxido de arsénico	As ₂ O ₃	312,3	465	3,738	37 a 20 °C
Pentóxido de arsénico	As ₂ O ₅	315	-	4,32	1500 a 16 °C
Sulfuro de arsénico	As ₂ S ₃	300 (se descompone)	707	3,43	5x10 ⁻⁴ a 18 °C
Ácido dimetilarsénico	(CH ₃) ₂ AsO(OH)	200	-	-	829 a 22 °C
Arseniato de plomo	PbHAsO ₄	720 (se descompone)	-	5,79	poco soluble
Arseniato de potasio	KH ₂ AsO ₄	288	-	2,867	190 a 16 °C
Arsenito de potasio	KAsO ₂ .HAsO ₂	-	-	-	Soluble

Fuente: (IARC, 1980 y OMS, 2003)

2.4.2. Adsorción:

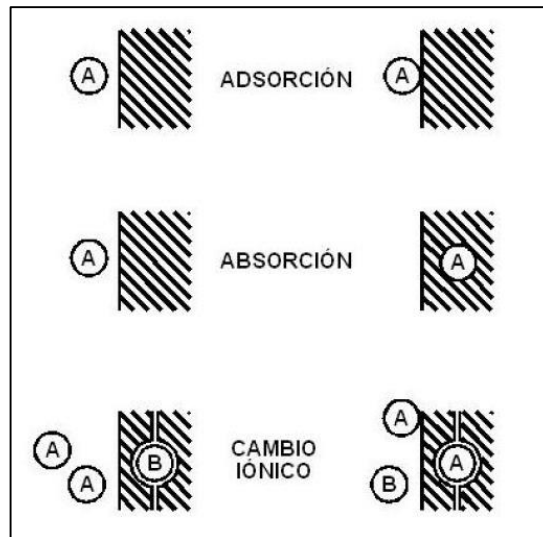
La investigación está desarrollada bajo los principios de este fenómeno físico, es por eso que es importante mencionar que existen distintos procesos de sorción: adsorción, quimisorción, absorción e intercambio catiónico, que esquemáticamente se muestran en la Fig. 2.1.

La adsorción es un proceso mediante el cual la materia de una fase se concentra sobre la superficie de otra fase, esta última, generalmente sólida. Es considerado un fenómeno sub-superficial, la sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente". Por otro lado, la quimisorción ocurre cuando un soluto es incorporado a un sedimento, roca o superficie sólida por una reacción química y la absorción es un proceso en el cual las moléculas o átomos de una fase interpenetran casi uniformemente en los de otra fase constituyéndose una solución. El proceso de cambio iónico supone un intercambio de una sustancia o ión por otra (Fetter, 1999; Appelo y Postma, 1993).

La adsorción es la asociación de materia a la superficie de los sólidos, dicha asociación puede deberse a fuerzas de enlace físicas como fuerzas de London, van der Waals o de enlace por puentes de hidrógeno; o bien fuerzas de enlace entre átomos como el enlace iónico o el covalente (Porta et al., 2003). La adsorción es determinada experimentalmente midiendo cuánto soluto puede ser adsorbido por un sedimento, suelo, roca u otro material. Las cargas que presentan las arcillas pueden ser: cargas permanentes o variables. Las cargas permanentes dependen de la estructura del mineral, son independientes del medio, se deben a sustituciones isomórficas y su magnitud

dependerá si esta sustitución se encuentra en la capa tetraédrica o en la octaédrica. Las cargas variables son aquellas por roturas en los bordes y en los grupos funcionales y dependen de las condiciones del pH.

Figura N° 1 Procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico



Fuente:(Appelo y Postma, 1993).

2.4.2.1. Isotermas de Adsorción:

El proceso de adsorción se puede describir matemáticamente mediante modelos, los mismos vinculan la concentración de electrolito que es adsorbido sobre la superficie mineral (C^*) con la concentración de equilibrio de la solución que se pone en contacto con las partículas (C) (Sposito, 2008). Entre los modelos matemáticos disponibles se cuentan el lineal, el de Freundlich y el de Langmuir. Estos modelos son conocidos como isotermas debido a que los experimentos de caracterización se realizan a temperatura constante.

De todas las isothermas de adsorción, la físicamente más realista es la de Langmuir ya que es la única que captura el hecho de que la capacidad de adsorción del medio es finita.

a) Isotherma Lineal:

Una isoterma de adsorción lineal (Fig. 2.2) ocurre si existe una relación lineal directa entre la cantidad de soluto sorbido en el sólido, C^* , y la concentración del soluto, C . Si se grafica esta relación es una línea recta descrita por la Ecuación (1.1).

$$C^* = K_d C \quad (1.1)$$

Dónde:

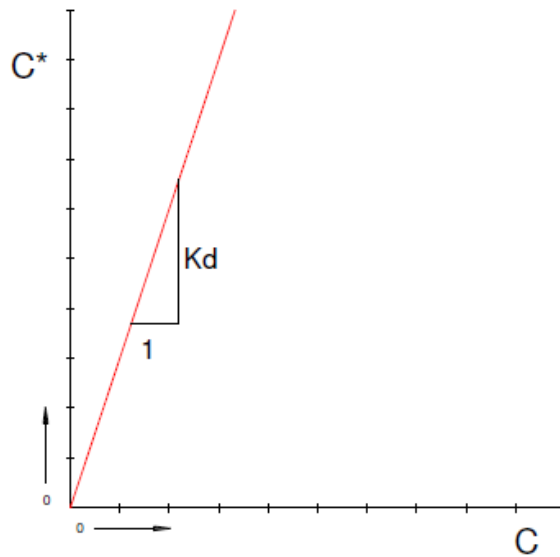
C^* = cantidad del soluto sorbido por unidad de peso del sólido (mg/kg)

C = concentración del soluto en solución en equilibrio con la masa del soluto sorbido en el sólido (mg/L)

K_d = coeficiente de distribución (L/kg).

Las limitaciones del modelo de isoterma lineal radican en la determinación de la cantidad máxima de soluto adsorbido en el sólido. Si se grafica C^* en función de C , la pendiente de la isoterma de adsorción lineal es el valor de K_d .

Figura N° 2. Isoterma Lineal



b) Isoterma de Freundlich:

La isoterma de adsorción de Freundlich está definida por la relación no lineal siguiente: Ecuación (1.2) y Ecuación (1.3).

$$C^* = KC^N \quad (1.2)$$

Siendo K y N contantes.

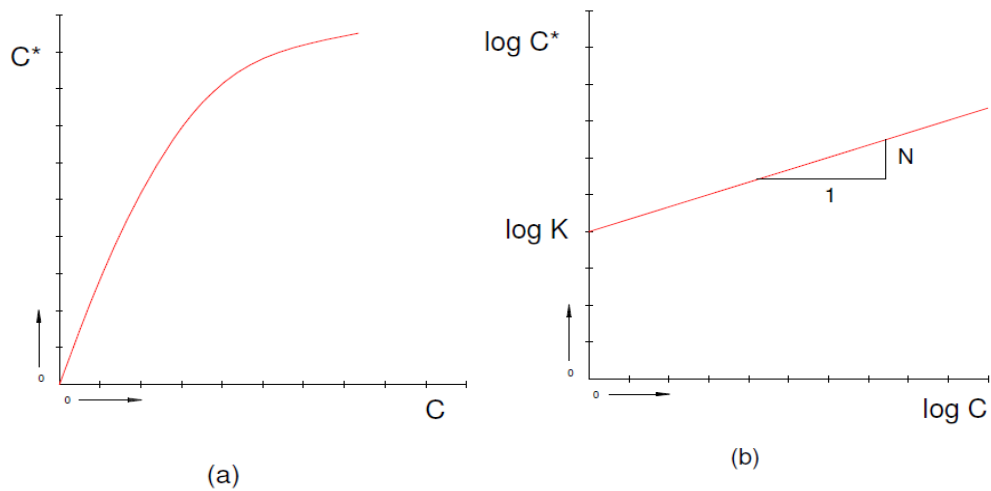
Al graficar C^* (mg/kg) contra C (mg/L), se puede observar una curva tal como muestra la Fig. 2.3 "a"; se puede transformar en lineal graficando $\text{Log } C^*$ vs $\text{Log } C$ como muestra la Fig. 2.3 "b".

$$\text{Log}C^* = \text{log}K + N \text{log}C \quad (1.3)$$

Si N es mayor a uno representa un frente disperso, si es menor a uno el frente es un pico e igual a uno la

isoterma se convierte en una isoterma lineal. Este modelo presenta el mismo problema que la isoterma lineal, no se puede conocer la cantidad máxima de soluto que puede ser adsorbido.

Figura N° 3. Isoterma de adsorción de Freundlich: a) representación no lineal, b) representación lineal



c) Isoterma de Langmuir:

La isoterma de sorción de Langmuir (Fig. 2.4) fue desarrollada con el concepto de que la superficie de un sólido tiene un número finito de sitios de adsorción. La isoterma de Langmuir está representada por el siguiente modelo:

$$\frac{C}{C^*} = \frac{1}{\alpha\beta} = \frac{C}{\beta}$$

También puede ser expresada como la ecuación (1.4).

$$C^* = \frac{\alpha\beta C}{1 + \alpha C} \quad (1.4)$$

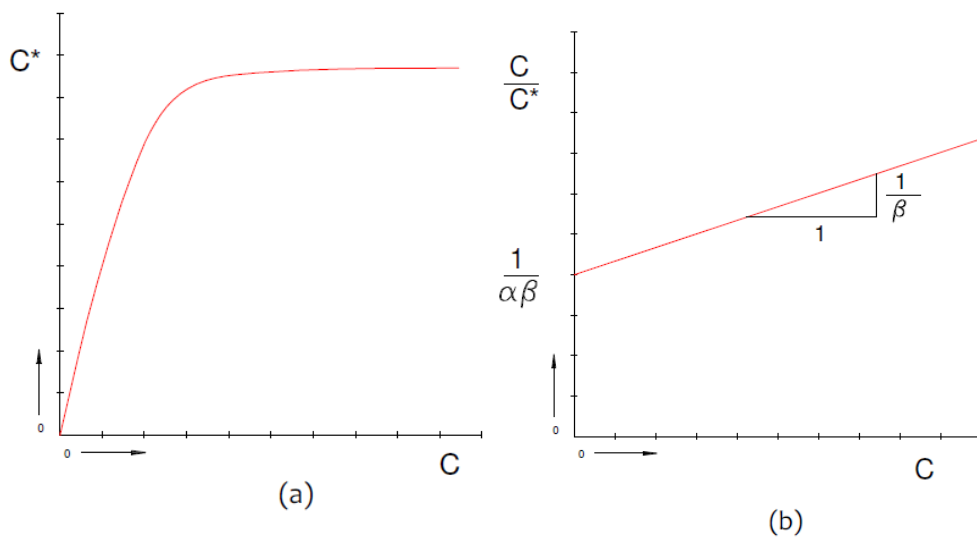
Siendo:

α = constante de adsorción relacionada con la energía de vinculación (L/mg)

β = máxima cantidad del soluto que puede ser adsorbido por el sólido (mg/kg).

Si se grafica C^* contra C , se puede observar una curva tal como muestra la Fig. 2.4 "a" y se puede transformar en lineal graficando C/C^* vs C como muestra la Fig. 2.4 "b". A partir la relación de C^* en función de C se puede determinar la máxima cantidad de soluto que puede ser adsorbido a la superficie mineral (formando una monocapa).

Figura N° 4. Isotherma de adsorción de Langmuir: a) representación no lineal, b) representación lineal



2.4.3. Adsorbente y Geomaterial:

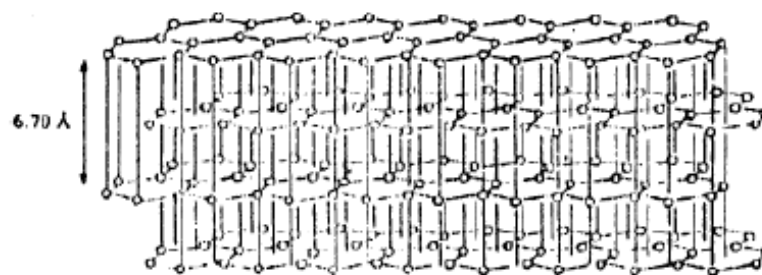
Los materiales utilizados en los ensayos de esta investigación son el carbón activado y arena; se seleccionó como material adsorbente al carbón por la conocida gran superficie específica que posee, y la capacidad comprobada en otros estudios para adsorber arsénico.

2.4.3.1. Carbón Activado:

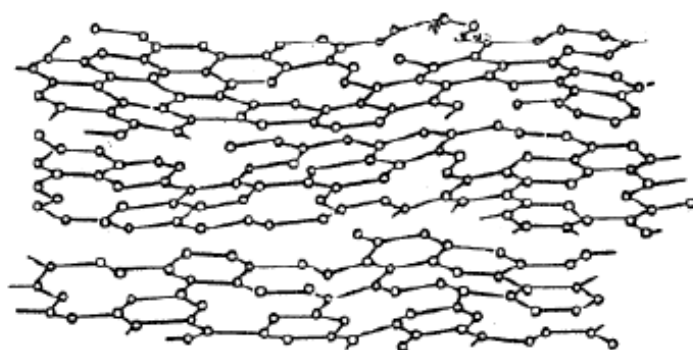
El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito solo que el orden en la estructura del carbón activado es menos perfecta; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a 1,500 metros cuadrados o más, por gramo de carbón. El área de superficie del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que "activa" y crea la porosidad, dejando mayormente una "esponja" de esqueleto de carbón.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor deseables o indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en "multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor.

Figura N° 5: Estructura del Carbón y Carbón Activado



(a)



(b)

(a) Arreglo estructural de las capas planas del grafito, (b) Estructura propuesta de las capas de carbón activado.

Fuente: Rivas G.T. (2006)

El proceso de activación puede ser químico o físico con vapor; está formado por gránulos de carbón negro, insolubles en agua y con un pH de 4-7 en suspensión (50 g/l) a 20° C. La superficie específica y las dimensiones de los poros dependen del precursor y de las condiciones de carbonización y activación utilizadas. Los tamaños de los poros van desde los más pequeños, llamados microporos (hasta 2.0 nm), hasta los mesoporos (de 2.0 a 50 nm) y macroporos (mayores de

50 nm). Hay que tener en cuenta que aunque la mayor parte de la adsorción tiene lugar en los microporos (responsables de más del 90% de la superficie específica), los mesoporos y los macroporos son extraordinariamente importantes en los carbones activados porque son los que facilitan el acceso de las especies que se van a adsorber al interior de la partícula y a los microporos.

a) Química Superficial de Carbones Activados:

La capacidad de adsorción de un carbón activado no depende únicamente de la textura porosa sino de la química superficial, la cual se determina por la presencia de heteroátomos que forman distintos grupos superficiales de carácter ácido y básico en los bordes de capas grafénicas, modificando el carácter hidrofóbico de la superficie (Leyva-Ramos R; 45:2280–2289).

Adicionalmente, el intercambio iónico de los grupos ácidos al liberar protones en medios acuosos y de los grupos básicos en captarlos cuando se encuentran en un medio ácido, promueve la aparición de cargas positivas o negativas en la superficie del carbón activado. De forma general, si el pH del medio es mayor que el pH en el punto de carga cero del carbón (pHPCC, pH en el cual el número de cargas positivas es igual al de cargas negativas de forma tal que la carga neta sobre la superficie del carbón es cero), $\text{pH} > \text{pHPCC}$ se tiene un predominio de cargas positivas en la superficie del carbón; por el contrario, si $\text{pH} <$

pHPCC se obtiene una superficie cargada negativamente. Así, las condiciones en las que un carbón tiene una carga neta negativa serán preferibles para adsorber cationes y aquellas en las que presente una carga neta positiva lo serán para adsorber aniones (Vargas D.; Giraldo L.; 17: 497-504).

b) Modificación de las propiedades fisicoquímicas:

Las propiedades fisicoquímicas de los materiales desempeñan un papel importante sobre la capacidad de adsorción frente a distintos adsorbatos, por supuesto las distintas técnicas de modificación bien sea por tratamientos físicos o químicos permiten obtener materiales con propiedades superficiales específicas, por lo que es posible adaptar los materiales a diferentes necesidades y así desarrollar una mayor selectividad frente a los solutos. Estos tratamientos se realizan principalmente oxidando la superficie lo que produce una estructura hidrofílica con un número elevado de grupos que contienen oxígeno. Entre los reactivos que generalmente se utilizan para la modificación de los carbones activos están: HNO_3 , H_2SO_4 , NaClO , KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2O_2 y O_3 (Blanco L.; Gutiérrez D.; Jiménez O. 1998; 72: 53-65).

c) Propiedades que afectan la adsorción en carbón activado:

La adsorción en carbón activado se ve afectada por diversas propiedades tanto del carbón como del adsorbato. Las propiedades que afectan la adsorción son las siguientes:

i) Propiedades relacionadas con el tipo de carbón activado:

- La adsorción aumenta cuando el diámetro de los poros predominantes está entre una y cinco veces el diámetro del adsorbato.
- Diferencias en la química superficial y en los constituyentes de las cenizas pueden afectar la adsorción, especialmente en fase líquida.

ii) Propiedades relacionadas con el adsorbato:

- La adsorción de orgánicos es más fuerte al aumentar su peso molecular, mientras el tamaño de la molécula no rebase el del poro.
- Las moléculas orgánicas no polares se adsorben con mayor fuerza que las polares.
- La adsorción en fase líquida aumenta al disminuir la solubilidad del adsorbato.

iii) Propiedades relacionadas con el líquido que rodea al carbón activado:

- Generalmente aumenta la adsorción al disminuir el pH.
- La teoría dice que la adsorción no se ve afectada por la temperatura; sin embargo, a

mayor temperatura, aumenta la solubilidad del adsorbato y se adsorbe en menor proporción. Por otro lado, a mayor temperatura, también disminuye la viscosidad del solvente, facilitando la movilidad del adsorbato y por lo tanto acelerando su velocidad de difusión hacia los poros. En términos prácticos, generalmente aumenta la adsorción al aumentar la temperatura.

2.4.3.2. Arena:

La arena es un material secundario en la columna de adsorción que se empleó en las pruebas realizadas; esto debido a que es un material que cuenta con una elevada permeabilidad; debido a que la arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm), una partícula individual dentro de este rango es llamada “grano de arena”, una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca, las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se denominan limo, y por arriba de la medida del grano de arena y hasta los 64 mm se denominan grava.

Estas características permiten que una elevada permeabilidad que es empleada para asegurar un mayor tiempo de retención entre el sobarto y el adsorbente (carbón activado), además de servir como un filtro preliminar que permitirá reducir la probabilidad de una saturación del volumen de carbón activado empleado para la adsorción.

El componente más común de la arena, en tierra continental y en las costas no tropicales, es la sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo a los recursos y condiciones locales de la roca.

2.5. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS:

- **Adsorbato:** Es la sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe en el material adsorbente.
- **Adsorbente:** Son materiales conocidos por su gran superficie específica y por los microporos, macroporos y mesoporos.
- **Alícuotas:** Pequeñas cantidades de contramuestra sean puntuales o compositadas, cuya finalidad es realizar pruebas o determinaciones fisicoquímicas.
- **Alotrópico:** Propiedad de algunos elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes, como el oxígeno (oxígeno atmosférico O_2 y ozono O_3), o con características físicas distintas, como el fósforo (fósforo rojo y fósforo blanco) o el carbono (grafito y diamante).
- **Análisis fisicoquímicos:** Análisis químicos y físicos realizado para determinar las características de una muestra.
- **Arsénico:** Es miembro del Grupo 15 de la tabla periódica. Es un metaloide cuyo número atómico es 33, su masa atómica 74,92 y su densidad $5,72 \text{ gr/cm}^3$. Está presente en rocas, en más de 200 especies minerales, suelos, agua y aire.

- **Carbón Activado:** Es un producto derivado de los materiales carbonosos, este material tiene un área superficial alta y se caracteriza por una gran cantidad de micro poros.
- **Certificado de calidad:** Documento que especifica la características de un reactivo o u material certificado; en este documento se especifica el grado de pureza.
- **Conductividad:** Es la medida de la capacidad de un material que deja pasar la corriente eléctrica, su aptitud para dejar circular libremente las cargas eléctricas.
- **Columnas de Adsorción:** Material de vidrio cilíndrico que cuenta con una llave de paso en la parte inferior. En esta columna se adicionaran los materiales adsorbentes y posteriormente la contramuestra peligrosa a fin que por gravedad y regulación del flujo de salida se permita un tiempo de retención significativo para asegurar la adsorción del contaminante.
- **Contramuestra Compositada:** Es aquella muestra resultante de la mezcla de varias contramuestras muestras puntuales que han sido almacenadas en un determinado momento y que tienen concentraciones de Arsénico diferentes.
- **Contramuestra Peligrosa:** Es aquella muestra de agua a la cual se ha realizado el análisis de arsénico y tiene que ser custodiada hasta su disposición final debido a que la concentración de este metal supera los 0.5 mg/L. En la redacción de presente también la relacionaremos a la denominación de Contramuestra parcial o puntual.

- **Estado de Oxidación:** Es la carga aparente con la que un elemento está actuando en un determinado compuesto o especie. Los estados de oxidación pueden ser positivos, negativos, cero, enteros y fraccionarios según el elemento.
- **Estructura isomórficas:** Cuando el material adsorbente tiene la propiedad de poseer una estructura uniforme.
- **Estructura tetraédrica:** Es una configuración especial de las uniones atómicas. Se llama tetraédrica por tener 4 lados. Es una pirámide de tres lados más la base.
- **Isoterma de Adsorción:** Descripción matemática mediante modelos, los mismos vinculan la concentración de electrolito que es adsorbido sobre la superficie mineral (C^*) con la concentración de equilibrio de la solución que se pone en contacto con las partículas (C).
- **Isoterma de Freundlich:** Es una isoterma de adsorción, que es una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto.
- **Isoterma de Langmuir:** La isoterma de sorción de Langmuir fue desarrollada con el concepto de que la superficie de un sólido tiene un número finito de sitios de adsorción.
- **Isoterma Lineal:** existe una relación lineal directa entre la cantidad de soluto sorbido en el sólido, C^* , y la concentración del soluto, C .

- **Material Adsorbente y Geomaterial:** Son materiales conocidos por su gran superficie específica que poseen y capacidad de éstos de adsorber arsénico y otros elementos o compuestos.
- **Mecanismos de Adsorción:** Es el proceso mediante el cual un sólido poroso (a nivel microscópico) es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste.
- **pH:** Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas muestras.
- **Redox:** El potencial Redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno.
- **Sólidos Disueltos:** Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, en nuestro caso las contramuestras peligrosas.
- **Solubilidad:** Es la medida de la capacidad de disolverse una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (solvente); implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto disuelto en una dada cantidad de solvente a una temperatura fija y en dicho caso se establece que la solución está saturada. Su concentración puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o también en porcentaje de soluto (mg/100 mL).
- **Tiempo de Retención:** Para nuestra investigación es el tiempo que la contramuestra se encuentra en contacto con el material adsorbente y que permitirá la remoción del arsénico.

- **Valores Máximos Admisibles:** (VMA) Aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no domestico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido en sus parámetros aprobados en sus anexos N°1 y N° 2 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tienen influencia negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DE LA EMPRESA:

Environmental Laboratories del Perú S.A.C se encuentra ubicado en el Departamento de Lima, provincia de Lima, Distrito de San Miguel en la urbanización Maranga, en la AV. La Marina N°3059, cuenta con instalaciones destinadas al análisis de muestras de agua, aire y suelo.

3.2. RESEÑA DE LA EMPRESA:

Environmental Laboratories Perú S.A.C es un laboratorio privado especializado en muestreo, monitoreo y análisis de agua, aire y suelo, cuenta con más de 15 años de experiencia, es un laboratorio acreditado a nivel Nacional con el INDECOPI mediante la norma Técnica Peruana (NTP-ISO/IEC 17025).

Para la gestión ambiental de sus actividades a implementado un sistema de gestión basado en la norma ISO 14000 cuyo propósito es cumplir con los requisitos legales aplicables, prevención de la contaminación y la mejora continua.

En cuanto a la gestión de calidad, Environmental Laboratories Perú S.A.C tiene establecido el sistema de gestión de calidad basado en la NTP-ISO/IEC 17025 (Norma Técnica Peruana) con lo cual garantiza su sistema de aseguramiento de la calidad y su competencia técnica para obtener resultados confiables y defendibles en cualquier foro nacional e internacional.

EL sistema de gestión de calidad, es evaluado permanentemente por organismos nacionales e internacionales a través de auditorías de la

calidad por INDECOPi y mediante pruebas de aptitud con la Canadian Association for Laboratory Accreditation (CALA) del Canadá y el Centre d'expertise en analyse environnementale (Quebec). El control y Aseguramiento de la calidad utilizado para la obtención de los resultados analíticos están basados en los lineamientos establecidos por la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU., el cual otorga garantía de resultados de la más alta calidad internacional.

Para el cumplimiento de los servicios que ofrece cuenta con equipos de última generación (ICP-MS, ICP-AES, GC-MS, Fluorescencia Atómica, etc.) cuyo funcionamiento representa un riesgo mínimo para el personal y una generación mínima de impactos ambientales.

Los profesionales y analistas cuentan con amplia experiencia, entrenamiento y capacitación permanente con los últimos avances tecnológicos en muestreo, monitoreos, análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la prevención de riesgos e impactos ambientales.

3.3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Los procedimientos a seguir en la parte experimental se establecieron con un diseño estructurado que permita correlacionar los datos obtenidos con la hipótesis propuesta.

3.3.1. Hipótesis General:

“Si se reducen las concentraciones de arsénico en la contramuestra peligrosa mediante la aplicación de los mecanismos de adsorción, obteniendo concentraciones menores a las establecidas en los Valores Máximos Admisibles y a un costo menor al de la disposición convencional, entonces los mecanismos de adsorción serán un procedimiento eficiente”.

3.3.2. Hipótesis Específicas:

- La Caracterización de la contramuestra peligrosa con alto contenido de arsénico y del material adsorbente, permitirán establecer los rangos de trabajo para el acondicionamiento previo a la aplicación de los mecanismos de adsorción.
- Los parámetros fisicoquímicos a condiciones controladas permitirán que los mecanismos de adsorción sean más eficaces en la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas con alto contenido de arsénico.
- Los mecanismos de adsorción aplicados en la remoción de arsénico son económicamente viables en relación con la disposición tradicional de contramuestras peligrosas de agua con alto contenido de Arsénico.

3.4. VARIABLES E INDICADORES:

En este ítem se identifican a las principales variables, esta poseen características que permitirán modificar o controlar partes específicas del procedimiento de adsorción. Las variables e indicadores se muestran a continuación:

3.4.1. Variable Independiente (X):

Los Mecanismos de Adsorción son aquellos que permitirán adsorber el arsénico contenido en las contramuestras peligrosas de agua, para lo cual se empleara carbón activado como material adsorbente. Los indicadores seleccionados para analizar la variable independiente son:

- Característica Fisco Químicas del material Adsorbente.
- Parámetros Físico Químicos que Influyen en la Adsorción.

- Costo Total de la aplicación de los Mecanismos de Adsorción.

3.4.2. Variable Dependiente (Y):

La concentración de Arsénico en contramuestras peligrosa de agua, es la variable dependiente que será sometida a los análisis que determinaran cual es eficiencia de la remoción de este elemento en las contramuestras peligrosas de agua. Los indicadores seleccionados para analizar la esta variable son:

- Características Fisco Químicas de las contramuestras de agua.
- Parámetros Fisco Químicos que Influyen en el comportamiento del Arsénico en contramuestras de agua.
- Costo total de la disposición tradicional de contramuestra de agua.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES:

Se operacionalizará cada una de las variables que intervienen en la hipótesis de la investigación, así como, sus indicadores e índices, a fin de lograr demostrar las hipótesis específicas planteadas.

Tabla N° 3: Operacionalización de variables e indicadores

VARIABLE	INDICADOR	INDEPENDIENTE
Los Mecanismos de Adsorción	Característica Físicoquímicas del material Adsorbente.	X1
	Parámetros Físicoquímicos que Influyen en la Adsorción.	X2
	Costo Total de la aplicación de los Mecanismos de Adsorción.	X3

VARIABLE	INDICADOR	DEPENDIENTE
Concentración de Arsénico en contramuestras peligrosas de agua	Características Físicoquímicas de las contramuestras de agua.	Y1
	Parámetros Físico Químicos que Influyen en el comportamiento del Arsénico en contramuestras de agua.	Y2
	Costo total de la disposición tradicional de contramuestra de agua.	Y3

3.6. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

3.6.1. Tipo de la Investigación:

La investigación que se llevó a cabo es de tipo Experimental, de finalidad aplicada y de alcance sincrónico; se emplearon fuentes primarias, secundarias de carácter cuantitativo y cualitativo.

3.6.2. Nivel de la Investigación:

La investigación que se ha llevado a cabo será de nivel Experimental, debido a que fue posible ejercer control sobre la variable independiente y/o dependiente.

3.7. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN:

El método empleado en la presente investigación consiste en el desarrollo teórico del problema mediante el estudio de los indicadores y la evaluación de los valores obtenidos por las técnicas e instrumentos de recolección de datos para poder finalmente afirmar o negar la hipótesis principal y las hipótesis específicas de ser el caso.

3.8. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

Esta investigación experimental se ejecutó siguiendo los lineamientos establecidos en los siguientes apartados:

3.9. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL MATERIAL ADSORBENTE Y LA CONTRAMUESTRA PELIGROSA:

Para poder evaluar las características fisicoquímicas de las variables independientes y dependientes fue necesario realizar una serie de análisis fisicoquímicos orientados a parametrar las condiciones normales o promedio en las cuales se encuentra las contramuestras peligrosas, así como conocer las propiedades del material adsorbente.

a) Características de material adsorbente y análisis de las características fisicoquímicas de las contramuestras de agua con alto contenido de arsénico:

- Evaluación las características del material adsorbente mediante la revisión del certificado de calidad del material empleado.
- Análisis de las contramuestras peligrosas de agua con alto contenido de arsénico; este análisis se realizó individualmente a muestras parciales obtenidas mensualmente y que compositadas generan el volumen total a tratar.

La tabla 3.1 resume los parámetros y la cantidad de muestras analizadas:

Tabla N° 4: Evaluación de las características Fisicoquímicas de la
contramuestra Peligrosa 2013

	pH	Redox	Conductividad	Sólidos Disueltos	Concentración de Arsénico
Enero	X	X	X	X	X
Febrero	X	X	X	X	X
Marzo	X	X	X	X	X
Abril	X	X	X	X	X
Mayo	X	X	X	X	X
Junio	X	X	X	X	X
Muestra compuesta	X	X	X	X	X

X= Parámetro evaluado.

3.10. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LOS MECANISMOS DE ADSORCIÓN:

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos considerados críticos o que influyen directamente los resultados de adsorción, fueron realizados a las contramuestras peligrosas. Para poder determinar cuál era la condición más idónea en la cual podríamos trabajar con una mayor eficacia de remoción se condicionaron distintos escenarios.

Finalmente al establecer las condiciones óptimas en las cuales se deben ejecutar los mecanismos de adsorción, se procedió al tratamiento total del volumen restante de contramuestra a fin de conocer cuál es el rendimiento máximo del material absorbente. El procedimiento aplicado se detalla a continuación.

a) Contramuestras Peligrosas de Agua:

- Se tomaron 6 alícuotas de 50 ml de contramuestras peligrosas de agua, luego fueron almacenadas en vasos beaker de 100 ml.

b) Ajuste del pH y lectura del potencial Redox:

- El procedimiento de ajuste del pH se realizó empleando un agitador magnético y una bureta conteniendo NaOH 0.04N como solución neutralizante. La Tabla 3.2 muestra las condiciones de pH a las cuales fueron ajustadas las alícuotas colectadas.

Tabla N° 5: Numero de Alícuotas y pH teórico de ajuste

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
pH teórico	4	5	6	7	8	9

- Inmediatamente después de ajustado el pH se realizó la lectura del potencial Redox a cada muestra ajustada. Luego adicionamos hipoclorito de sodio a cada muestra, (1 ml) para poder dar el medio oxidante requerido y asegurar la adsorción del arsénico III.
- Para poder garantizar el principio oxidante del cloro y homogenizar la muestra, se agitaron por espacio de 10 minutos para finalmente proceder a la filtración en la columna de Adsorción.

c) Preparación de la Columna de Adsorción:

- Las columnas de Adsorción tienen aproximadamente 25 cm, a las cuales se añadieron 1 gramo de carbón activado y arena fina hasta alcanzar una columna de 10 cm de altura. Se prepararon 6 columnas para poder tratar en paralelo las muestras mencionadas en la tabla 3.2.

d) Aplicación de los mecanismos de Adsorción:

- Una vez preparada la columna de adsorción se procedió a la adición de las contramuestras muestras de agua. El flujo de salida fue regulado manualmente, el valor obtenido fue de 5 a 15 gotas por minuto, aproximadamente.

e) Análisis de Arsénico:

- Se realizó el análisis de arsénico para determinar mediante la evaluación de los resultados cual es la condición óptima en la cual se obtiene una mayor eficacia de remoción.

f) Determinación de la capacidad de Adsorción:

- Se preparó una nueva columna siguiendo las especificaciones anteriormente descritas.
- Se tomaron 2 litros de contramuestra peligrosa y se ajustaron a la condición óptima de trabajo, luego se separaron en alícuotas de 200 ml.
- Se filtraron las alícuotas en la misma columna de adsorción; obteniendo 10 alícuotas filtradas, a las cuales se analizó la concentración final de arsénico. El objeto de esta prueba es determinar el rendimiento máximo del carbón como material adsorbente.

3.11. EVALUACIÓN ECONÓMICA:

La evaluación económica es el apartado que permitirá definir si realmente el procedimiento realizado es eficiente, para ello se procedió a estimar el costo total de la aplicación de los mecanismos de adsorción en la prueba destinada a determinar el rendimiento, debido a que se trató un volumen considerable y se emplearon cantidades representativas de los reactivos y materiales.

Los puntos a evaluación se muestran en la siguiente relación:

a) Costo total en la aplicación de los mecanismos de Adsorción:

- Carbón Activado.
- Arena fina.
- Hidróxido de Sodio.
- Hipoclorito de Sodio.
- Costo de la disposición de Residuo Sólido (Arena + Carbón activado).

b) Costo total en la disposición convencional:

La disposición convencional es realizada por una empresa prestadora de servicios autorizada por la Dirección General de Salud Ambiental. Environmental Laboratories del Perú S.A.C dispone sus contramuestras peligrosas con la Empresa BEFESA. Para determinar el costo total de este procedimiento disponemos de:

- Costo total de la disposición convencional realizada semestralmente.

3.12. POBLACIÓN Y MUESTRA:

a) Población:

La población está constituida por las contramuestras peligrosas que han sido almacenadas desde el 01/01/2013 al 30/06/2013, las cuales tienen una concentración igual o superior a 0.5 mg/L de arsénico. Después de este periodo se logró obtener 18 litros de contramuestra peligrosa.

b) Muestra:

La cantidad de muestras está en función a la cantidad de análisis finales que se realizaron para determinar los resultados de cada una de las pruebas establecidas en los apartados anteriormente presentados. La cantidad de muestra es igual a la población, es decir, se trabajaron los 18 litros de contramuestra, los cuales fueron distribuidos y analizados de acuerdo al diseño de la investigación.

La tabla 3.3 resume la cantidad de análisis que se realizaron para la caracterización de la contramuestra peligrosa.

Tabla N° 6: Análisis de muestras para la caracterización de la contramuestra peligrosa

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Muestra Compuesta	Total de análisis
pH	1	1	1	1	1	1	1	7
Redox	1	1	1	1	1	1	1	7
Conductividad	1	1	1	1	1	1	1	7
Sólidos Disueltos	1	1	1	1	1	1	1	7

La caracterización de la muestra es el paso previo para la ejecución de la parte experimental del proyecto, debido a que en la segunda parte del procedimiento se buscó determinar las condiciones óptimas de trabajo, en las cuales se obtendría la eficacia en la remoción de arsénico de las contramuestras peligrosas.

La tabla 3.4 resume la cantidad de análisis que se realizaron para establecer los parámetros fisicoquímicos en los cuales se trabajaron.

Tabla N° 7: Contramuestra peligrosas, Análisis y Acondicionamiento de la Muestra

		Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los Mecanismos de Adsorción					
		Acondicionamiento de Contramuestra peligrosa	Análisis Final	Total de Análisis			
Contramuestra peligrosa de agua con alto contenido de Arsénico (compuesta)	Muestra 1	pH	Arsénico total	pH	6		
		Redox					
	Muestra 2	pH	Arsénico total				
		Redox					
	Muestra 3	pH	Arsénico total			Redox	6
		Redox					
	Muestra 4	pH	Arsénico total				
		Redox					
	Muestra 5	pH	Arsénico total	Arsénico Total	6		
		Redox					
	Muestra 6	pH	Arsénico total				
		Redox					

La concentración teórica de arsénico fue asumida de los valores obtenidos en las pruebas de caracterización de las contramuestras

peligrosas, específicamente del valor obtenido del análisis de la muestra compuesta. Es bajo este valor práctico que estimaremos la eficacia de la remoción en cada una de las muestras ajustadas bajo distintas condiciones de pH.

3.13. TÉCNICAS ANALÍTICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

3.13.1. Técnicas:

Las técnicas empleadas en el proyecto para la obtención de datos fueron principalmente:

- Observación directa.
- Análisis Químicos.
- Interpretación de Resultados.

La primera refiere principalmente al monitoreo de las variables de estudio mediante la observación de estas, debido a que por ser una investigación experimental de diseño pre experimental, fue posible ejercer control sobre las variables y la asignación de la contramuestra no fue aleatoria.

Los análisis químicos que se realizaron en esta investigación se describen brevemente a continuación:

a) Sólidos Totales Disueltos/EPA 160.1:

Este método es aplicable para agua potable, aguas subterráneas, aguas salinas, superficiales, desagües domésticos e industriales. El rango práctico de la determinación es de 10 mg/L a 20,000 mg/L. Una muestra

bien mezclada es filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio estándar. El filtrado es evaporado y secado a peso constante a $180 \pm 2^\circ\text{C}$. El sólido total disuelto está definido como los sólidos capaces de pasar a través de un filtro de fibra de vidrio y secados a peso constante a $180 \pm 2^\circ\text{C}$.

Las aguas altamente mineralizadas conteniendo concentraciones significantes de calcio, magnesio, cloruros y/o sulfatos pueden ser higroscópicas y requerirán prolongado secado, desecación y rápida pesada. Las muestras que contengan altas concentraciones de bicarbonato requerirán cuidado y posiblemente prolongado secado a $180 \pm 2^\circ\text{C}$ para asegurar que todo el bicarbonato este convertido a carbonato.

Procedimiento:

- Calentar una cápsula de porcelana limpia, a $180^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por una hora. Enfriar un desecador y guardar hasta su uso. Pesar inmediatamente antes de usar.
- Colocar con ayuda de una pinza el filtro en el aparato de filtración mientras el vacío es aplicado, lavar el filtro con tres volúmenes sucesivos de 20 ml. de agua destilada. Descartar los lavados.
- Agite vigorosamente la muestra y transfiera rápidamente aproximadamente 120 ml de muestra al embudo de filtración.
- Filtre la muestra a través del filtro de fibra de vidrio; continúe aplicando vacío por aproximadamente 3 minutos.

- Transfiera 100 ml (o un volumen más grande) del filtrado a la cápsula de porcelana y evaporar a sequedad en una plancha de calentamiento.
- La cápsula con la muestra evaporada es colocada en la estufa por lo menos una hora a $180^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$. Enfriar en un desecador y pesar. Repetir el ciclo de pesada hasta que un peso constante es obtenido ó hasta que la pérdida de peso sea menor que 0.5 mg.

b) Determinación de Conductancia /EPA 120.1:

Este Análisis es aplicable a agua potable, aguas superficiales, subterráneas, salinas, desagües domésticos e industriales y lluvia ácida (precipitación atmosférica).

La conductancia específica de una muestra es medida por el uso de un medidor de conductividad. Las muestras son analizadas preferentemente a 25°C . Si no, las correcciones de temperatura son hechas y los resultados reportados a 25°C .

El instrumento debe ser estandarizado con solución de KCl antes de su uso diario. Las variaciones de temperatura y las correcciones representan la fuente más grande de error potencial.

El procedimiento consta de la verificación del instrumento mediante el empleo de las soluciones estándar de KCl y luego se introduce el electrodo en la muestra que se desea analizar para poder obtener un valor de conductividad que se muestra en la pantalla del equipo.

c) Determinación de pH / EPA 150.1 (electrométrico):

El pH de una muestra es determinado electrométricamente usando un electrodo de vidrio en combinación con un potencial de referencia ó un electrodo de combinación.

El electrodo de vidrio, en general, no está sujeto a las interferencias de color, turbiedad, materia coloidal, oxidantes, reductores ó alta salinidad. Los errores por el sodio a niveles de pH mayores que 10 pueden ser reducidos ó eliminados usando un electrodo de “bajo error de sodio”. Los revestimientos de material aceitoso ó material particulado pueden perjudicar la respuesta del electrodo.

El procedimiento consta de la verificación del instrumento mediante el empleo de las soluciones buffer de pH 10, 7 y 4. Luego se introduce el electrodo en la muestra que se desea analizar para poder obtener un valor de pH que se muestra en la pantalla del equipo.

d) Potencial Oxidación-Reducción (REDOX) / SM 2580:

Este método es para la determinación del potencial de oxidación-reducción en agua. El procedimiento es el mismo que el aplicado para la determinación de pH, debido a que solamente se cambia de electrodo para las mediciones. Luego se verifica el instrumento mediante la lectura de una solución Zobell estandarizada. Luego se introduce el electrodo en la muestra que se desea analizar para poder obtener un valor de Oxidación-Reducción que se muestra en la pantalla del equipo.

Los valores obtenidos se reportan en mV, pudiendo ser lecturas positivas o negativas; esto en función de la capacidad oxidante o reductora de la muestra analizada.

e) Determinación de metales en agua y residuos por plasma de acoplamiento inductivo-espectrometría de emisión atómica / EPA 200.7:

Este procedimiento analítico se utiliza para determinar metales y algunos no metales en solución. Este método es un consolidado de los métodos existentes para agua, aguas residuales y sólidos. Este método es aplicable para la determinación de Arsénico y otros 31 elementos.

Para cada análisis solamente se necesitan 20 ml de muestra acondicionada a pH menor a 2, luego la muestra es analizada directamente por el equipo.

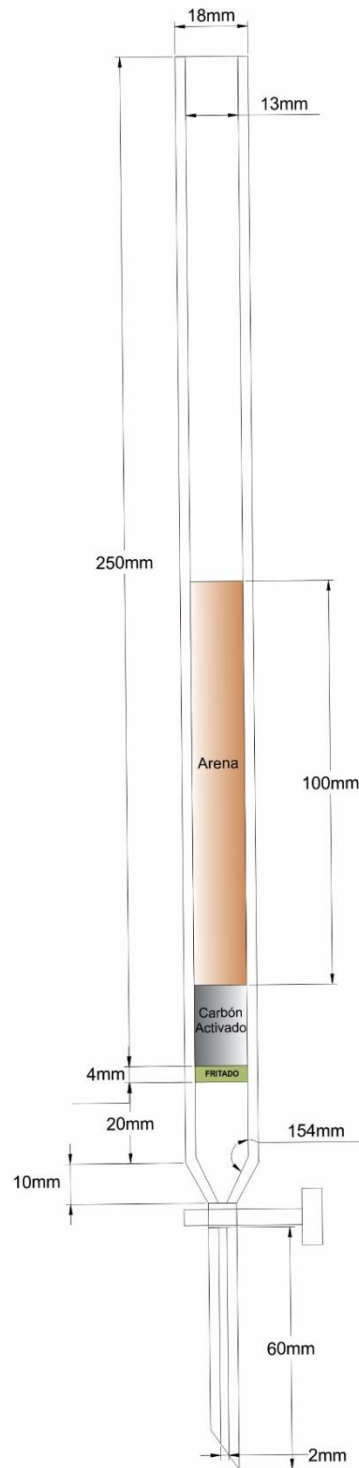
3.13.2. Instrumentos:

Los instrumentos que se emplearon permitieron obtener la información necesaria para el estudio, a continuación se detalla una lista con los instrumentos empleados:

- Columna de Adsorción.
- Potenciómetro.
- Conductímetro.
- Equipo ICP.
- Equipo de filtración al vacío.
- Estufa con rango de trabajo de 100°C a 200 °C.
- Balanza analítica.
- Agitadores magnéticos.

La figura 3.0 que se muestra a continuación muestra la columna de adsorción con sus dimensiones y los materiales de adsorción que emplearon.

Figura N° 6: Columna de Adsorción



Además se emplearon las siguientes herramientas documentarias:

- Check List del procedimiento.
- Reporte de Evaluación de Característica Físico Química de la contramuestra de agua.
- Reporte de Concentraciones de Arsénico.
- Tabla de costo de disposición tradicional de las contramuestras de agua.
- Tabla de costos de la aplicación de mecanismos de adsorción en remoción de arsénico de contramuestras de agua.

3.13.3. Fuentes:

Las fuentes de recolección de datos fueron de dos tipos:

- a) Fuentes Primarias:** Referida a aquellas que se obtuvieron por medio de la observación directa y que son recolectadas de los resultados obtenidos de las diferentes evaluaciones que se ejecutaron en el procedimiento de adsorción.
- b) Fuentes Secundarias:** Todas aquellas referencias bibliográficas que permitieron cruzar la información primaria o experimental con la información teórica, con la finalidad de poder interpretar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES:

Los resultados obtenidos de la experimentación se presentaran en este capítulo, se presentaran los resultados de las 2 pruebas que están diseñadas para afirmar o negar las hipótesis específicas planteadas en el capítulo III. De los resultados obtenidos se pudo estimar cual era la técnica más eficaz de remover el arsénico de las contramuestras de agua, y mediante este procedimiento se realizó la evaluación económica.

4.1.1. Resultados de la Evaluación de las características fisicoquímicas del material adsorbente y la contramuestra peligrosa:

La Tabla 4.0 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de las características fisicoquímicas de las muestras puntuales y de la muestra compuesta; los parámetros de evaluación se establecieron en el capítulo III en el ítem 3.4.1.

Tabla N° 8: Evaluación de las características Fisicoquímicas

Periodo 2013	Volumen de Muestra (L)	pH	Redox mV	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Sólidos Disueltos mg/L	Concentración de Arsénico mg/L
Enero	2.1	2.16	358	5233	2079	3.28
Febrero	1.3	1.59	345	5370	2183	4.28
Marzo	1.5	2.56	336	4860	1930	2.66
Abril	3.4	2.34	349	5197	2059	3.44
Mayo	4.2	2.11	385	5260	2114	2.47
Junio	5.5	2.76	301	4855	1910	5.25
Muestra compuesta	18	2.38	336	5233	2279	3.67

Fuente: Datos experimentales obtenidos de las contramuestras del Periodo Enero-Junio 2013

4.1.2. Resultados de la Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los Mecanismos de Adsorción:

La Tabla 4.1 y 4.2 muestra los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los mecanismos de adsorción; los parámetros de análisis se establecieron en el capítulo III en el ítem 3.4.2.

Tabla N° 9: Análisis Físicoquímicos y Eficacia de Remoción de Arsénico

Parámetro de Análisis	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
pH Teórico	4	5	6	7	8	9
pH Practico	4.06	5.04	5.95	7.06	8.15	8.97
Redox mV	208.4	199.7	193.1	209.4	204.3	161.3
(Muestra + Hipoclorito) Redox mV	667.4	642.5	637.4	631.1	627.5	625.3
Concentración de As mg/L (Muestra Compuesta sin Tratamiento)	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67
Concentración de As mg/L (Después de Tratamiento)	2.53	1.53	1.33	0.68	0.31	0.44

Fuente: Datos experimentales obtenidos de las contramuestras del Periodo Enero-Junio 2013.

Tabla N° 10: Capacidad de Adsorción de As del Carbón Activado a condiciones optimas

Volumen (200 ml)	pH	As mg/L (Sin Tratamiento)	As mg/L (Después del Tratamiento)	Remoción de As %
Alícuota 1	8.12	3.67	0.22	94.0
Alícuota 2	8.12	3.67	0.24	93.5
Alícuota 3	8.12	3.67	0.26	92.9
Alícuota 4	8.12	3.67	0.23	93.7
Alícuota 5	8.12	3.67	0.32	91.3
Alícuota 6	8.12	3.67	0.42	88.6
Alícuota 7	8.12	3.67	0.67	81.7
Alícuota 8	8.12	3.67	0.94	74.4
Alícuota 9	8.12	3.67	1.53	58.3
Alícuota 10	8.12	3.67	2.52	31.3

Fuente: Datos experimentales obtenidos de las contramuestras del Periodo Enero-Junio 2013.

4.1.3. Resultados de la Evaluación Económica:

La Tabla 4.3 muestra la estimación de costos obtenidos de la evaluación práctica y el costo convencional de disposición de contramuestras peligrosas con alto contenido de arsénico.

Tabla N° 11: Costo por tratamiento de 20 Litros de contramuestra Peligrosa

	Costo	Unidad	Costo de Tratamiento de 20 L de contramuestra
Carbón activado	S/. 270.00	1 Kg	S/. 135.00
Arena fina	S/. 2.00	1 Kg	S/. 30.00
Hidróxido de Sodio	S/. 120.00	1 Kg	S/. 60.00
Hipoclorito de Sodio	S/. 15.00	1 L	S/. 30.00
Disposición de residuo	S/. 500.00	50 kg	S/. 160.00
	Costo Total Aplicando Tratamiento		S/. 415.00
	Costo Total Disposición Tradicional		S/.650.00

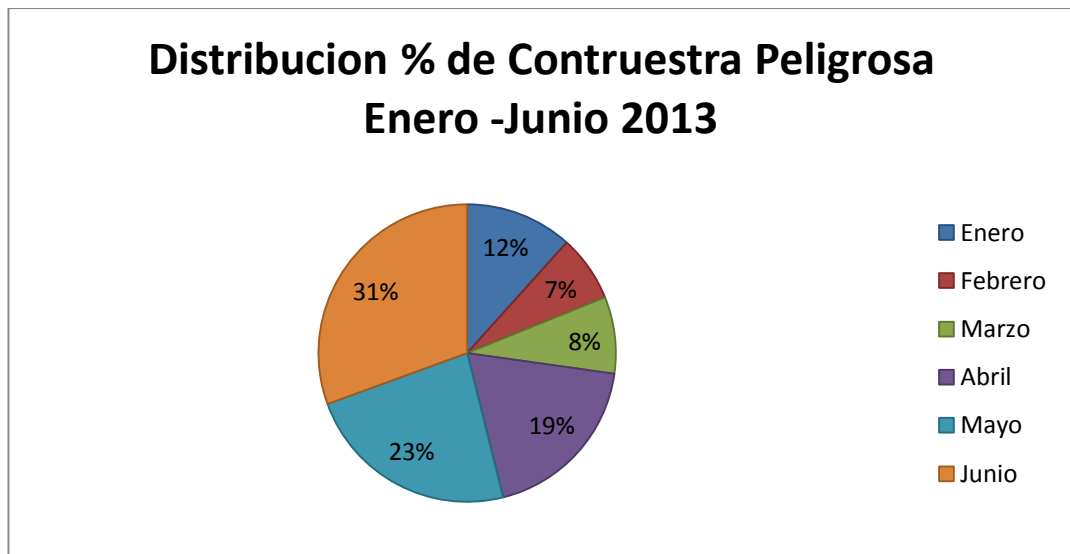
Fuente: Datos experimentales obtenidos de las contramuestras del Periodo Enero-Junio 2013.

4.2. INTERPRETACION DE RESULTADOS:

4.2.1. Análisis de los Resultados de la Evaluación de las características fisicoquímicas del material adsorbente y la contramuestra peligrosa:

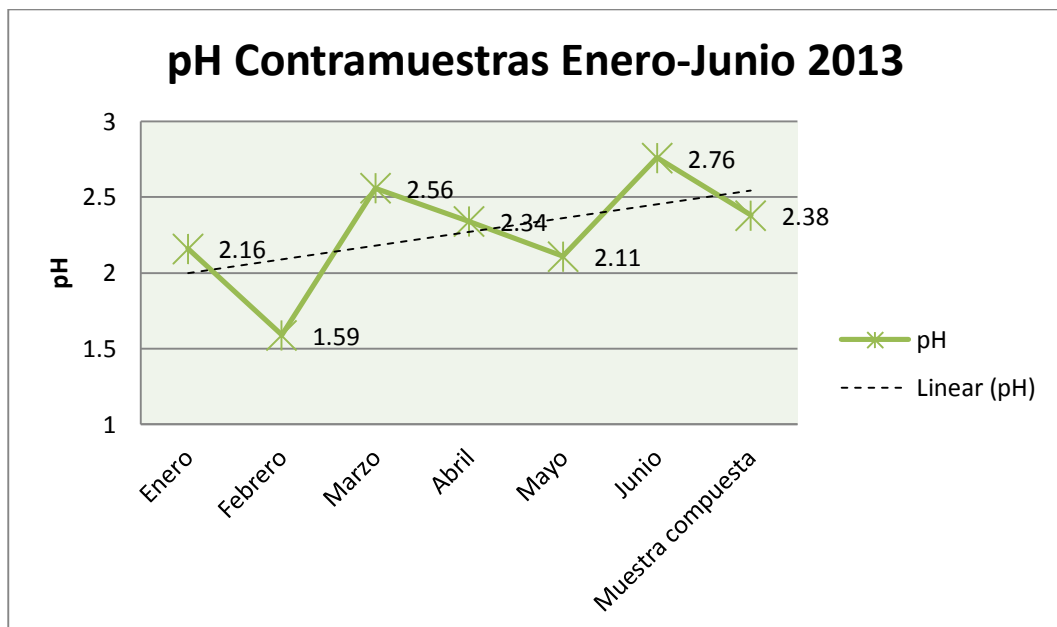
El material adsorbente que se empleo fue carbón activado de grado analítico por lo cual no se realizaron análisis para certificar la calidad del reactivo. La contramuestras peligrosas que se analizaron correspondieron al periodo comprendido entre los meses de Enero a Junio del 2013, como se muestra en la figura 4.0 se observa que la distribución volumétrica de las muestras no es homogénea por lo que en los meses de abril, mayo y junio se registró el mayor volumen de contramuestras peligrosas almacenadas en el laboratorio.

Figura N° 7: Distribución Volumétrica de Contramuestra Periodo Enero-Junio 2013



Se evaluó el pH de las muestras puntuales y finalmente se realizó la medición a la muestra compuesta, la representación gráfica se presenta en la figura 4.1.

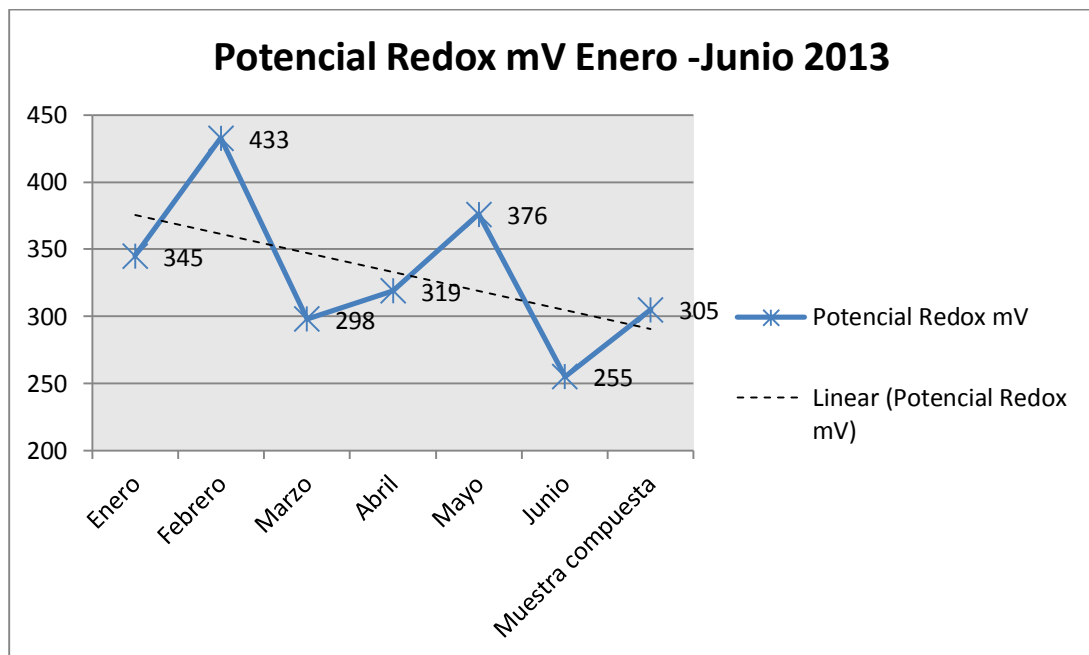
Figura N° 8: Evaluación de pH Contramuestras Peligrosas Enero-Junio 2013



En la figura 4.1 se observa que la tendencia de valores de pH no es uniforme, esto principalmente está asociado a las características de la muestra y al método de preservación al cual fueron sometidas. La metodología de preservación de muestras para metales indica que las muestras deben ser preservada a pH iguales o menores a 2; de las seis muestras analizadas solamente 1 cumple con lo establecido por lo que se puede asumir que las concentraciones de metales que existieron inicialmente no necesariamente fueron las mismas durante las pruebas.

La evaluación del ORP o Potencial Redox se presenta en la figura 4.2:

Figura N° 9: Evaluación de ORP Contramuestras Peligrosas Enero-Junio 2013

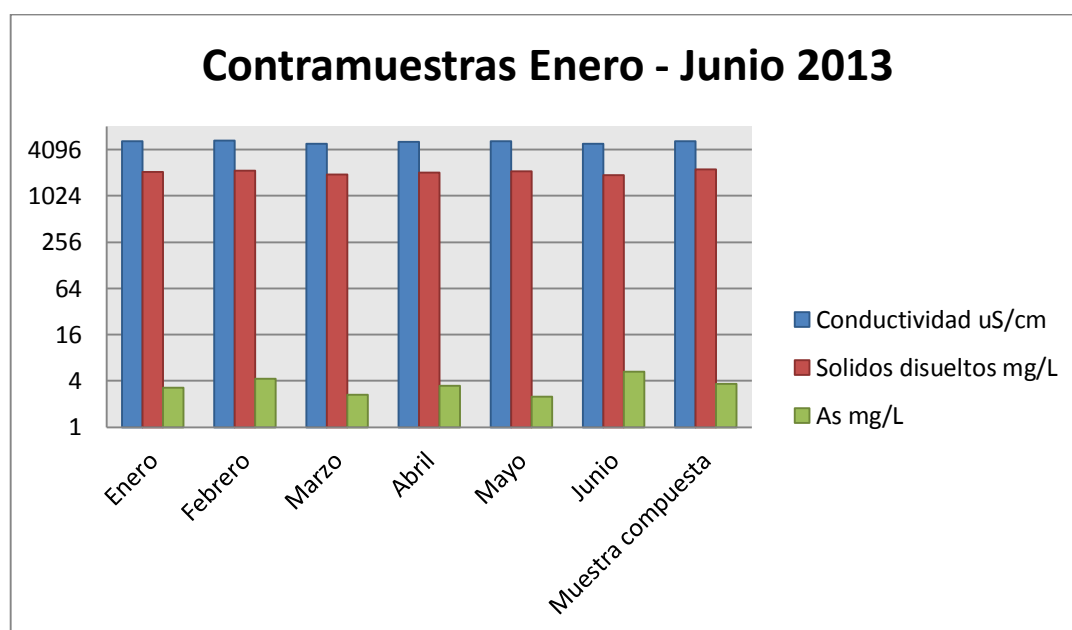


El potencial Redox es una condición necesaria para la adsorción de arsénico, se necesita un medio muy oxidante para conseguir la remoción casi total del elemento en estudio; se observa que

los valores de potencial Redox para las contramuestras peligrosas se encuentran relacionados a los valores de pH. Analizando puntualmente las contramuestras de Febrero y Junio, se aprecia que el pH en febrero es el más bajo de todos y a su vez tiene el valor de ORP más alto, de manera similar sucede con la contramuestra de junio que tiene el valor de pH más elevado y el valor de ORP más bajo.

Finalmente la caracterización de las contramuestras se centró en la evaluación cuantitativa de sólidos disueltos, conductividad y Arsénico; los resultados se muestran en la figura 4.3.

Figura N° 10: Evaluación de Cuantitativa Contramuestras Peligrosas Enero-Junio 2013



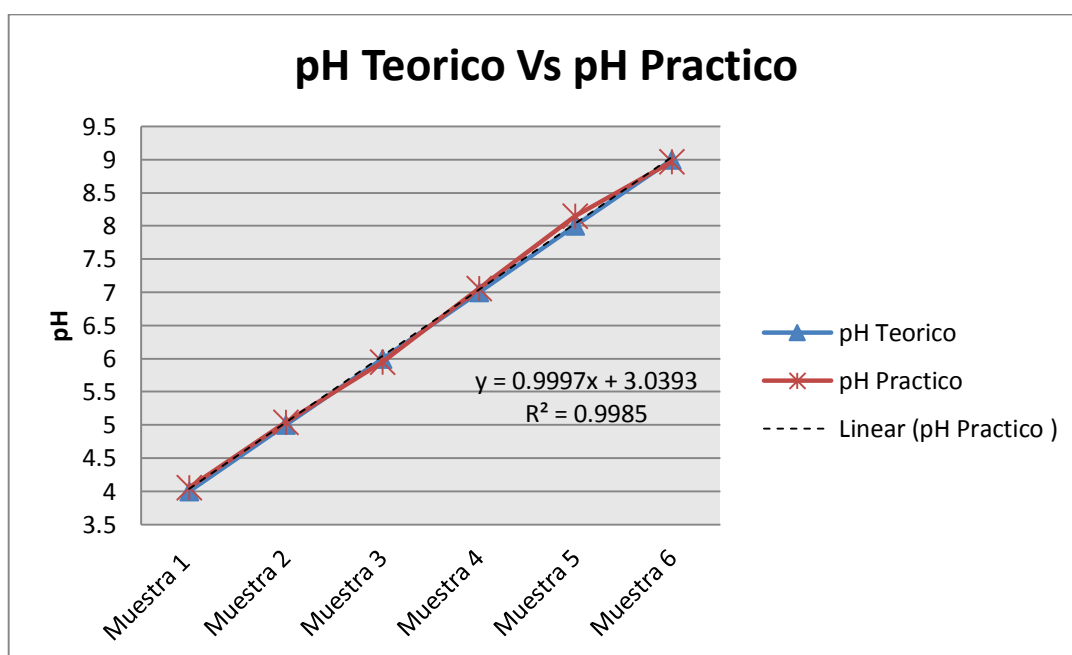
Los análisis químicos muestran que las concentraciones de arsénico son variables obteniendo las concentraciones más elevadas en el mes junio, la cual a su vez representa el 31 % en volumen de la muestra compuesta. Se obtuvo como concentración final de la contramuestra compuesta 3.67 mg/L,

este valor se encuentra aproximadamente 8 veces más concentrado que el valor máximo admisible para descargas de agua residual por red pública. Los valores de conductividad son elevados debido a la gran concentración de sólidos disueltos que tienen las contramuestras, además hay que considerar que son muestras que tiene preservantes químicos que alterón su composición inicial.

4.2.2. Análisis de los Resultados de la Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de los Mecanismos de Adsorción:

Una vez caracterizada la contramuestra se procedió a experimentar condicionando la adsorción bajo escenarios controlados, se optó por 6 escenarios en los cuales la principal variable sería el pH. La figura 4.4 muestra una regresión lineal aplicada a los valores prácticos que se obtuvieron en función a los valores teóricos establecidos.

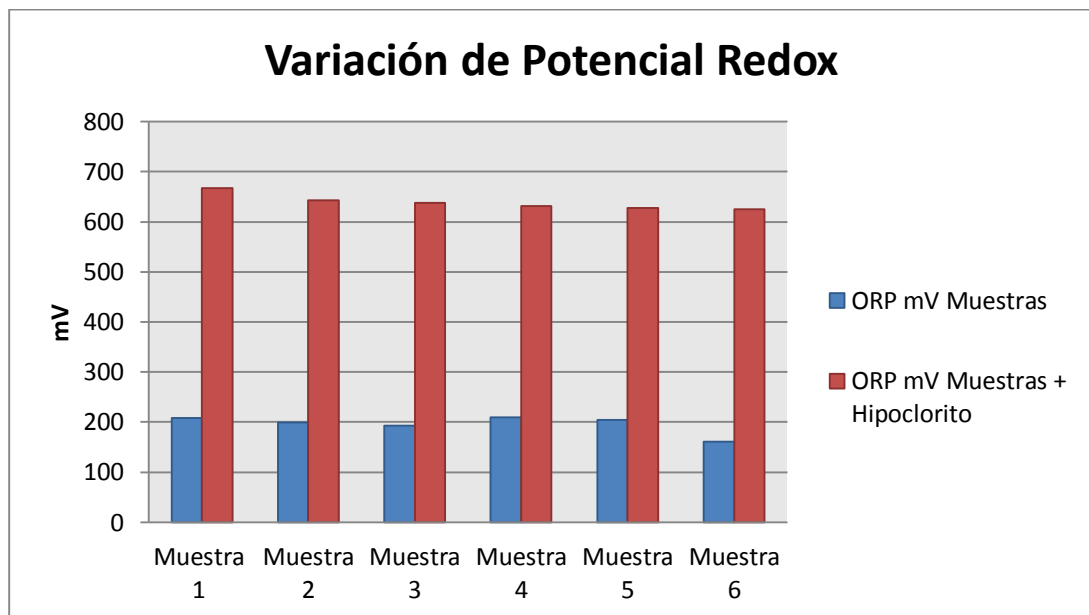
Figura N° 11: Ajuste de pH Contramuestra Peligrosa Compuesta



El coeficiente de correlación que se obtuvo fue de 0.9985, lo cual indica que los valores se encuentran cerca de los valores teóricos establecidos para evaluar a que pH se obtiene la mayor eficacia en la remoción de arsénico.

El potencial Redox fue un parámetro que se evaluó puntualmente durante el ajuste de pH de cada una de las muestras que se empleó para esta prueba, los valores base que se obtuvieron se encuentran en un rango de 161.3 mV a 209.4 mV, de esta forma se puede asumir que el ajuste de pH a los rangos establecidos no ocasiona una variación significativa en los valores de ORP por lo tanto se hace necesaria la adición del hipoclorito de sodio para aumentar el ORP a niveles que el cloro facilite la reducción del As^{+3} a As^{+5} .

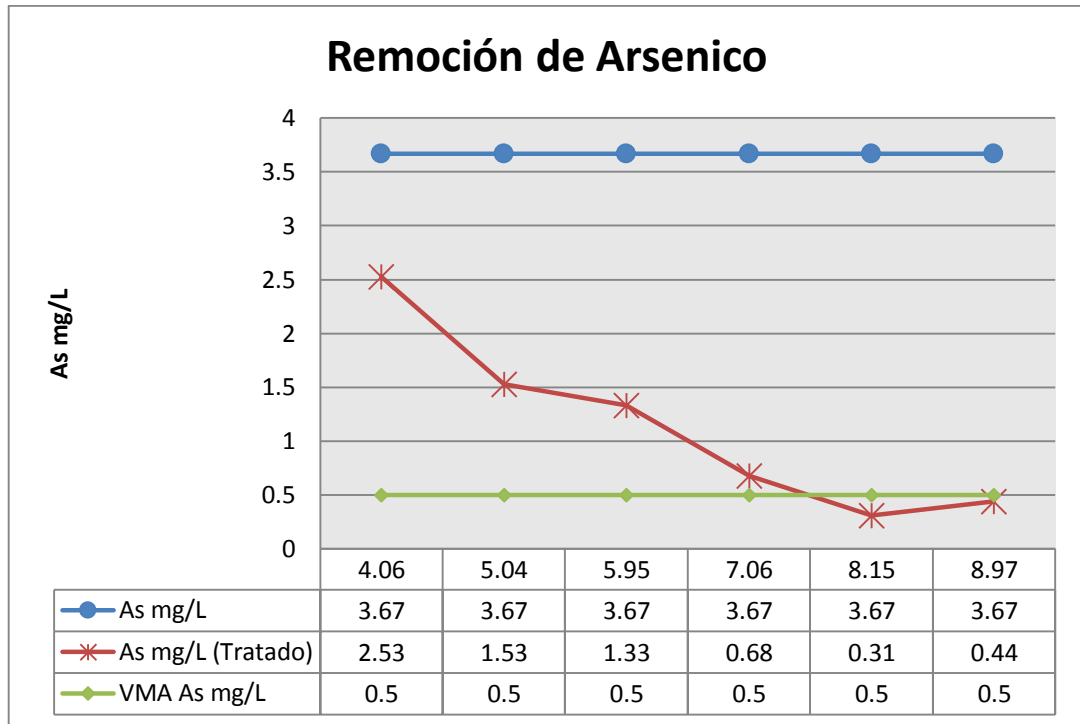
Figura N° 12: Potencial Redox Contramuestra Peligrosa Compuesta



En la figura 4.5 se aprecia como los valores de Potencial Redox se incrementa aproximadamente 3 veces en relación a los valores reportados de las muestras a condiciones normales de trabajo.

Los resultados que se obtuvieron del tratar puntalmente las muestras acondicionas se presentan a continuación:

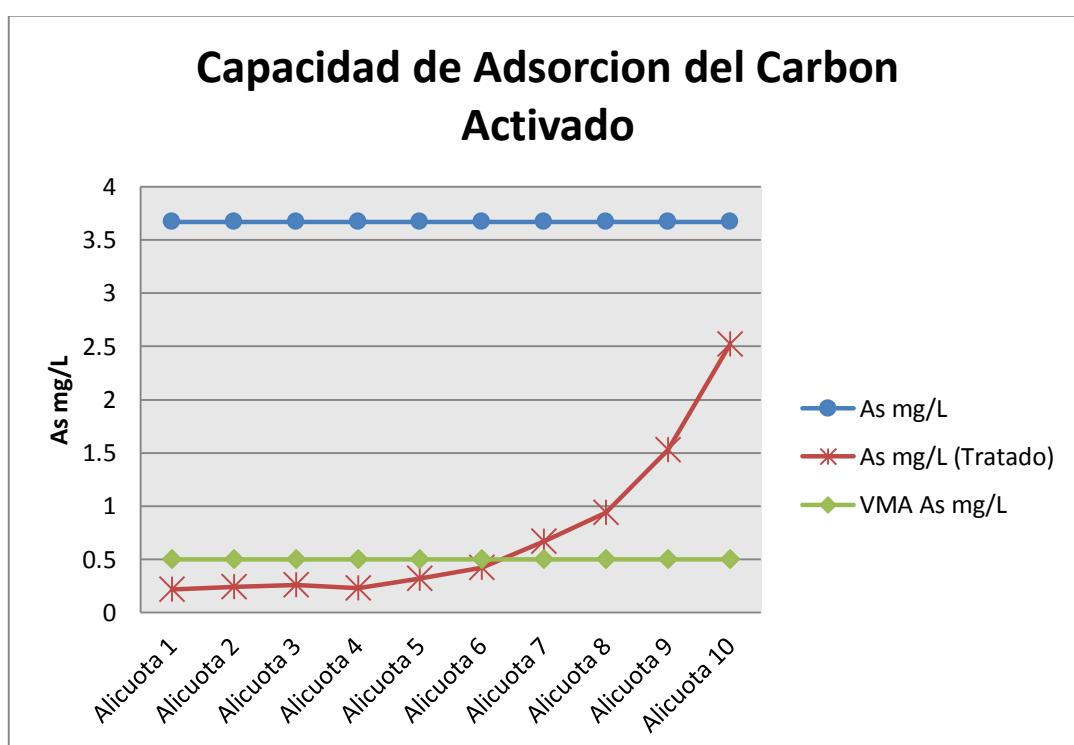
Figura N° 13: Remoción de Arsénico empleando Carbón Activado



En la figura 4.6 se asumió como valor teórico la concentración de As en mg/L determinada en la caracterización de la contramuestra compuesta, este valor es de 3.67 mg/L; sometiendo todas las muestras al tratamiento establecido se obtuvieron valores de remoción en todos los escenarios planteados, sin embargo, el interés se centrara sobre los valores inferiores a lo establecido en los Valores máximos Admisibles puesto que la finalidad del estudio es conseguir concentraciones que puedan ser consideradas como no peligrosas. A valores de pH 7 se obtuvieron concentraciones cercanas pero no inferiores a los VMA, sin embargo, a valores de pH de 8 y de 9 si se logró remover el arsénico a razón de conseguir valores inferiores a lo establecido en los VMA.

Finalmente se planteó una prueba en la cual se evaluara la capacidad máxima del carbón para adsorber arsénico; se aprecia en la figura 4.7 que las concentraciones de arsénico se adsorben eficazmente durante las 5 primeras alícuotas seleccionadas para la prueba, a partir de la alícuota 6 se aprecia que la tendencia de concentración se incrementa dejando al valor cerca al límite superior establecido por los VMA.

Figura N° 14: Capacidad de Adsorción del Carbón Activado



Las alícuotas 7, 8, 9 y 10 son superiores a los Valores máximos admisible por lo tanto no se consideran como tratados eficazmente. El carbón activado como cualquier material poroso tiene una capacidad de adsorción limitada, gráficamente se aprecia el decaimiento de la capacidad de adsorción.

4.2.3. Análisis de los Resultados de la Evaluación Económica:

Para el análisis económico se emplearon estimaciones presupuestales de los costos que maneja Environmental Laboratories del Perú S.A.C; se observa que existe una reducción del 36 % del costo de disposición de residuos sólidos peligrosos Vs la disposición tradicional. Los costos más elevados son producto del uso del carbón activado y de la disposición final de los residuos sólidos de carbón y arena.

CONCLUSIONES

- El análisis e interpretación de resultados muestra que las concentraciones de arsénico se redujeron a valores menores a lo establecido por los Valores máximos admisibles; el porcentaje de remoción supera el 90 % cuando el carbón activado no se encuentra saturado. El costo estimado de se encuentra aproximadamente a un 25 % menos de lo que costaría la disposición convencional de contramuestras peligrosas, por lo tanto la aplicación de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua es un procedimiento eficiente. Se acepta la hipótesis general.
- El análisis de las características fisicoquímicas de la contramuestra peligrosa permitieron establecer los parámetros de control y ajuste que se realizaron en las pruebas de remoción; se obtuvieron valores medios de pH de 2.38, concentraciones medias de arsénico de 3.67 mg/L y valores de 308 mV de potencial Redox; por consiguiente la contramuestra se encuentra en un medio ácido altamente oxidante. Se acepta la hipótesis específica 1.
- Se concluye que los parámetros fisicoquímicos de pH, potencial Redox y la adición de un agente oxidante son condiciones determinantes para conseguir una remoción de arsénico eficaz; esto fundamentado en que experimentalmente se demostró que el medio natural de la contramuestras es altamente oxidante, sin embargo, si no se adicionara el hipoclorito de sodio y modificara el pH entonces no tendríamos valores de remoción eficaces. Los mejores resultados se obtienen a pH superiores a 7 y menores que 9 con un potencial Redox superior a 600 mV en presencia de un agente oxidante (como lo fue el cloro). Se acepta la hipótesis específica 2.

- El costo por el tratamiento de las contramuestras peligrosas mediante la aplicación de los mecanismos de adsorción más el costo que implicaría la disposición de los residuos sólidos peligrosos producto de este procedimiento, son menores que los costos convencionales de disposición, económicamente la comparación presupuestal indica que existe un 36 % de reducción de costos al ser el costo total estimado de S/ 415.00 nuevos soles, vs S/650.00 nuevos soles de la disposición convencional.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar obligatoriamente la caracterización de las contramuestras peligrosas previa al tratamiento, debido a que estos valores permitirán conocer la verdadera naturaleza de la matriz acuosa a remediar.
- Se recomienda el análisis químico y físico del carbón activado, debido a que estos valores no pudieron ser determinados por falta de instrumentación y por el elevado costo de los para la determinación de la estructura y área superficial del carbón activado.
- Se recomienda emplear concentraciones de NaOH superiores a 0.04 N debido a que la neutralización toma mucho tiempo con esta solución diluida. Concentraciones de 5 Normal serian apropiadas para volúmenes de 1 litro de contramuestra.
- Se recomienda realizar ajustes y verificaciones cada hora a los instrumentos de laboratorio como pH y Potencial Redox; esto debido a que al estar sometidos durante un tiempo considerable a condiciones agresivas la precisión y exactitud de los equipos se ve afectada.
- Se recomienda lavar la arena previamente al uso como filtro, esto debido a que se observó en las pruebas iniciales el incremento de la turbidez de las muestras tratadas como consecuencia del lavado de la arena por el escurrimiento de la contramuestra peligrosa en la columna de absorción.
- Se recomienda realizar la evaluación económica mucho más profunda a lo presentado, enfocándose en el costo del el tiempo que dura el tratamiento del volumen de contramuestra (acondicionamiento y tratamiento). A su vez se debe considerar que el funcionamiento de equipos como campanas extractoras y agitadores magnéticos también representan un costo que seguramente disminuirá el 36 % de ahorro que se presenta como conclusión, basada en costos reactivos y disposición.

- El procedimiento debe de realizarse bajo medidas de seguridad establecidas en infraestructura adecuada; al ser las contramuestras acidas es necesario que el operador cuente con guantes de látex descartables, lentes de seguridad transparentes y con una máscara de gases.

Para estudios futuros o variaciones del procedimiento se recomienda lo siguiente:

- Para mejorar la eficiencia de los mecanismos de adsorción es posible emplear otro material adicional al arreglo presentado; se propone usar lana de acero y colocarla entre la arena y el carbón activado, parte de la bibliografía consultada contenía referencia de pruebas exitosas empleando este material.
- La caracterización de la contramuestras demostró que a pH ácidos inferiores a 2.5, el poder oxidante de las muestras es alto, sin embargo no era posible la remoción As por no tener un agente oxidante y el rango de pH apropiado para que se produzca la reducción del As^{+3} a As^{+5} . Experimentar con otros compuestos como el $KMnO_4$ o H_2O_2 serían una alternativa.
- Se recomienda que la capacidad de tratamiento de las columnas debería de ser de 1 litro, para esto el diseño y dimensiones debe proponerse a fin de poder reducir considerablemente el tiempo que el operador emplea acondicionar las columnas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- MORENO GRAU, Dolores. *TOXICOLOGIA AMBIENTAL, EVALUACION DEL RIESGO PARA LA SALUD HUMANA*. 1ª edición. ESPAÑA: Mc Grau-Hill Interamericana de España; 2003.
- SPIRO, Thomas. *QUIMICA MEDIOAMBIENTAL*. 2ª Edición. ESPAÑA: Pearson Pertice Hall, 2004.
- SEOANEZ CALVO, Mariano. *INGENIERIA DEL MEDIO AMBIENTE*. ESPAÑA: Mundi- Prensa Castello, 1996.
- CAMARA, Carmen. *TOMA Y TRATAMIENTO DE MUESTRAS*. ESPAÑA: Editorial Síntesis.
- VITELA RODRIGUEZ, Alma Verónica. *REMOCION DE ARSENICO POR MEDIO DE CARON ACTIVADO MODIFICADO CON NANOPARTICULAS DE HIDRO (OXIDOS) DE HIERRO*. Tesis para optar por el grado de Maestra en Ciencias Aplicadas. MEXICO. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica; 2011.
- CARRO PEREZ, Magalí E. *REMEDIACION DE AGUAS CON ARSENICO MEDIANTE MECANISMOS DE ADSORCION Y FLOCULACION*. Tesis para optar por el grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención en Recursos Hídricos. ARGENTINA. Universidad Nacional de Córdoba; 2009.
- LANDIN RODRIGUEZ, Lilia Esther. *PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y CONCENTRACION DE FLUOR Y ARSENICO EN EL AGUA DE LOS POZOS DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI Y LA ZONA CONURBANA. ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO: ADSORCION DE FLUOR Y ARSENICO EN LA INTERFASE Al_2O_3 ACTIVADA/SOLUCION ACUOSA*. Tesis para optar por el grado de Magister en Ciencias Ambientales. MEXICO. Universidad Autónoma de San Luis Potosí; 2006.
- MORANTE CARBALLO, Fernando Enrique. *LAS ZEOLITAS DE A COSTA DE ECUADOR (GUAYAQUIL): GEOLOGIA, CARACTERIZACION Y APLICACIONES*. Tesis para optar por el grado doctor. MADRID. Escuela Técnica Superior de ingenieros de Minas de Madrid; 2004.

- *FORES E, ARMIENTA A, MICETE S, VALLADARES M. TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO CON ALTO CONTENIDO DE ARSENICO: Estudio de un Caso en Zimapan Hidalgo-México. MEXICO. Universidad Nacional Autónoma de México; 2009.*
- *MEJIA F, VALENZUELA J, AGUAYO S, MEZA D. ADSORCION DE ARSENICO EN ZEOLITA NATURAL PRETRATAD CON OXIDOS DE MAGNESIO. MEXICO. Universidad Sonora, Blvd; 2009.*
- *AVILES FLORES, Martha. REMOCION DE ARSENICO DE AGUA MEDIANTE COAGULACION-FLOCULACION A NIVEL DOMICILIARIO. MEXICO. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; 2008.*
- *GILBOTA, Gustavo Santiago. ADSORCION DE ARSENICO EN FILTROS DE CARBON ACTIVADO COMERCIALES. ARGENTINA. Universidad Nacional del Nordeste; 2005.*
- *CAMPOS, Valquiria. ESTUDIO DE UN METODO ALTERNATIVO PARA LA PURIFICACION DE ARSENICO DEL AGUA. MEXICO. Sociedad química de México; 2003.*
- *D.S. N° 021-2009-VIVIENDA (VMA): Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de Aguas Residuales No Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario.*
- *Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, Reglamento del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.*

ANEXOS

Anexo N° 1

Tabla N° 12: D.S. N° 021-2009 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	A y G	100

Anexo N° 2

Tabla N° 13: Valores Maximos Admisibles

Valores Máximos Admisibles ⁽¹⁾			
PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	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	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH ⁽²⁾		pH	6-9
Sólidos Sedimentables ⁽²⁾	mL/L/h	S.S.	8.5
Temperatura ⁽²⁾	°C	T	<35

ANEXO N° 3

TABLA N° 14: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores	Método
<p>P. General: ¿Cuál es la eficiencia de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la eficiencia de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales.</p>	<p>“Si se reducen las concentraciones de arsénico en la contramuestra peligrosa mediante la aplicación de los mecanismos de adsorción, obteniendo concentraciones menores a las establecidas en los Valores Máximos Admisibles y a un costo menor al de la disposición convencional, entonces los mecanismos de adsorción serán un procedimiento eficiente”.</p>	<p>V.I.: Los Mecanismos de Adsorción son aquellos que permitirán adsorber el arsénico contenido en las contramuestras peligrosas de agua, para lo cual se empleara carbón activado como material adsorbente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Característica Físico Químicas del material Adsorbente. • Parámetros Físico Químicos que Influyen en la Adsorción. • Costo Total de la aplicación de los Mecanismos de Adsorción. 	<p>El método empleado en la presente investigación consiste en el desarrollo teórico del problema mediante el estudio de los indicadores y la evaluación de los valores obtenidos por las técnicas e instrumentos de recolección de datos para poder finalmente afirmar o negar la hipótesis principal y las hipótesis específicas de ser el caso.</p>

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores	Método
<p>Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del material adsorbente a emplear y la contramuestra peligrosa con alto contenido de arsénico? • ¿Cómo influyen los parámetros fisicoquímicos en la eficacia de los mecanismos de adsorción? • ¿Es económicamente viable el empleo de los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales? 	<p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar las características fisicoquímicas del material adsorbentes a emplear y la contramuestra peligrosa con alto contenido de arsénico. • Evaluar la influencia de los parámetros fisicoquímicos en la eficacia de los mecanismos de adsorción. • Determinar si es económicamente viable el empleo los mecanismos de adsorción para la remoción de arsénico en contramuestras peligrosas de agua de un laboratorio de ensayos ambientales. 		<p>V.D.: La concentración de Arsénico en contramuestras peligrosa de agua, es la variable dependiente que será sometida a los análisis que determinaran cual es eficiencia de la remoción de este elemento en las contramuestras peligrosas de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Características Físico Químicas de las contramuestras de agua. • Parámetros Físico Químicos que Influyen en el comportamiento del Arsénico en contramuestras de agua. • Costo total de la disposición tradicional de contramuestra de agua. 	

ANEXO N° 4
REGISTRO FOTOGRAFICO

FOTOGRAFIA N° 1

Carbón Activado, Balanza analítica de 4 decimales



FOTOGRAFIA N° 2

Potenciómetro Marca Thermo Electron / Proceso de Ajuste



FOTOGRAFIA N° 3

Ajuste de pH a Contramuestras Peligrosas



FOTOGRAFIA N° 4

Columna de Adsorción / Carbón Activado + Arena

