

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL

**“ADSORCIÓN DE METALES PESADOS A TRAVÉS DE CARBON
ACTIVADO A PARTIR DE *Lemna gibba L.*
PUNO, PERÚ - 2015”**

Investigación aplicada

Gestión, calidad y tratamiento de los recursos hídricos en la región Puno

Juliaca - Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

COMISION ORGANIZADORA

Dr. Edwin Catacora Vidangos
Presidente de Comisión Organizadora

Dra. Roxana del Carmen Medina Rojas
Vicepresidenta Académica

Dr. Jorge Marcelino Aranibar Aranibar
Vicepresidente de Investigación

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

M.Sc. Gustavo Luis Vilca Colquehuanca
Director General de Investigación

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Asesor

Mg.Sc. Wile Mamani Navarro

Estudiantes

Wilmer Ramiro Inofuente Ccarita

Diego Willman De la Cruz Paredes

Nelson Zea Sacachipana

Reynaldo Salas Sucaticona

Dany Mamani Coaquira

Reyder Orlando Suicapupa Mamani

DEDICATORIA

A mis maestros que en este andar por la vida influyeron, con sus lecciones y experiencias, en nuestra formación como personas de bien y preparadas para los retos que desafía la vida, a todos y cada uno de ellos les dedicamos cada una de estas páginas de investigación

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano por el apoyo brindado y a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Juliaca por financiar nuestro proyecto a través del Programa Semilleros en Investigación.

Índice

| | |
|-----------------------------------------|----|
| Resumen | 7 |
| Introducción | 8 |
| Capítulo I | 10 |
| Marco teórico | 10 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación | 10 |
| 1.2. Sustento teórico | 12 |
| 1.3. Hipótesis de investigación | 20 |
| 1.4. Sistema de variables | 21 |
| Hipótesis General: | 21 |
| Hipótesis Específicos: | 21 |
| Capitulo II | 22 |
| Diseño metodológico de la investigación | 22 |
| 2.1. Tipo y diseño de investigación | 22 |
| 2.1.1. Población de la investigación | 22 |
| 2.2. Metodología de investigación | 23 |
| 2.3. Metodología experimental | 24 |
| 2.4. Material experimental | 25 |
| 2.5. Plan de tratamiento de datos | 25 |
| Capitulo III | 27 |
| Resultados y discusión | 27 |
| 3.1. Resultados | 27 |
| 3.2. Discusión | 37 |
| Conclusiones | 38 |
| Recomendaciones | 38 |
| Bibliografía | 39 |
| Anexos | 41 |

Índice de Figuras

| | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|
| Figura 1 Representación de pruebas de adsorción | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 2 Microscopia electrónica de barrido. | 27 |
| Figura 3 Adsorción y remoción de Cobre | 29 |
| Figura 4 Adsorción y remoción de Hierro | 29 |
| Figura 5 Adsorción y remoción de Mercurio | 30 |
| Figura 6 Adsorción y remoción de Cadmio | 31 |
| Figura 7 Adsorción y remoción de Cromo | 31 |
| Figura 8 Adsorción y remoción de Arsénico | 32 |
| Figura 9 Adsorción y remoción de Níquel | 33 |
| Figura 10 Adsorción y remoción de Plomo | 34 |
| Figura 11 Adsorción y remoción de Antimonio | 34 |
| Figura 12 Adsorción y remoción de Zinc | 35 |
| Figura 13 Diagrama de Schoeller – Berkaloff | 36 |

Índice de tablas

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Diseño de investigación de preprueba - postprueba | 22 |
| Tabla 2 Coordenadas geográficas de C.P. Rinconada Lunar de Oro | 22 |
| Tabla 3 Resumen de la adsorción de metales pesados | 28 |
| Tabla 4 Parámetros de metales pesados durante los ensayos | 36 |
| Tabla 5 Porcentaje de adsorción de metales pesados | 37 |

Resumen

En este trabajo de investigación se utilizó la especie *Lemna gibba L.* que se desarrolla en el lago Titicaca, en la región de Puno, para la elaboración del Carbón Activado (CA). El proceso de obtención por activación química consistió en la impregnación de las muestras en proporciones de 1:1, previamente deshidratadas a 60 °C, durante un periodo de 72 horas, con ácido fosfórico como agente activante en concentraciones de 1 N, durante 24 horas, la carbonización en una mufla se basó en la calcinación de 1 hora a 500 °C.

Las propiedades fisicoquímicas se estudiaron mediante mediciones de adsorción de metales pesados por espectrofotometría ICP - OES y microscopia electrónica de barrido. El carbón activado obtenido de la *Lemna gibba L.* presenta un diámetro ≤ 2.094 mm de partículas de mayor tamaño y diámetros ≥ 150.5 μm de partículas de menor tamaño. El grado de porosidad presenta entre 10.48 μm y 125.3 μm de diámetro longitudinal del poro.

Se tomaron muestras de agua superficial en el área de estudio de la zona minera ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Puno, Perú. (4610 msnm 14°40'40'' LS y 69°31'56'' LW). Donde se utilizaron los carbones activados para la adsorción de metales pesados: Cobre, Hierro, Mercurio, Arsénico, Níquel, cromo cadmio, plomo y zinc. Donde la capacidad de adsorción se desarrolló en dos pruebas analíticas a nivel del laboratorio, el mercurio (Hg) fue adsorbido en un 99.34% en ambos métodos (método columna de adsorción y remoción por agitación magnética), el hierro (Fe) fue adsorbido en un 97.62% por el método de remoción por Agitación Magnética (AM) y solo en un 85.48% por el método de columna de adsorción, El cobre (Cu) fue adsorbido en un 89.13% por el método de remoción por AM, y sin embargo solo 79.29% fue adsorbido por el método de columna de adsorción. Los factores más importantes que influyen en el proceso de adsorción fueron el pH de la solución, la estructura porosa y la acides superficial del carbón activado.

Palabras claves: *Carbón activado, metales pesados, adsorción, remoción, lenteja de agua.*

Introducción

El agua en el Perú y el mundo es uno de los recursos naturales más contaminados. En los últimos años se ha registrado un aumento progresivo de la presencia de *metales pesados* en aguas residuales como consecuencia del incremento en el uso de algunos de ellos en los procesos de manufactura (Lucía, Tamayo, & María, 2010) Las grandes industrias en actividades mineras, agrícolas, curtidoras y demás representan los niveles más contaminantes en términos de descargas sólidas, líquidas y gaseosas al medio ambiente.

Los iones de los *metales pesados* no pueden ser degradados química ni biológicamente, por lo tanto, su presencia en los cuerpos de agua implica que con algunos procesos naturales estén biodisponibles, generando efectos de biomagnificación en los seres vivos; ocasionando diversos efectos negativos para el ecosistema y la salud humana.

Leyva & Flores, (2009) indican que en la actualidad se han estudiado muchos métodos para la remoción de metales pesados en estado iónico, presente en aguas residuales industriales, como lo son: intercambio iónico sobre resinas poliméricas, coagulación-floculación / precipitación química / sedimentación, en la mayoría de los casos resultan costosos y/o ineficientes, especialmente cuando la concentración de estos iones es muy baja.

De acuerdo con lo anterior, surgen tecnologías emergentes tales como la bioadsorción, proceso que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Lucía et al., 2010)

Lo anterior refleja la importancia de buscar una solución económicamente viable y eficiente para resolver esta problemática.

El presente estudio se realizó con el apoyo de laboratorios analíticos del sur – Arequipa, Megalaboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno (UNAP), y la Escuela Profesional de Ingeniería Química – UNAP. Donde se presenta una metodología para la adsorción de metales pesados utilizando el carbón activado a partir de *Lemna gibba L.*

El enunciado planteado indica ¿cuál será la tasa de remoción por adsorción de metales pesados mediante el carbón activado con *Lemna gibba L.*?

El presente proyecto de investigación justifica por todo aquello que representa la contaminación del agua, suelo por metales pesados que es uno de los problemas ambientales más severos, además de ser muy complejo de resolver. Las fuentes

más comunes de contaminación por dichos metales que son actividades mineras, las actividades agrícolas y demás. Requieren de la preservación, conservación, mejoras y restauración según corresponda la calidad del aire, agua, suelos y demás componentes del ambiente. Identificando el control de los factores de riesgo que afecten.

La ley N° 28613, ley General del Medio Ambiente, en el artículo N°113, estipula sobre la calidad ambiental, donde toda persona natural o jurídica o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes, en tal razón asumimos nuestro compromiso como agente responsable.

En el inciso “f” de la misma menciona: que se debe promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, las actividades de transferencia de conocimientos y recursos, la difusión de experiencias exitosas y otros medios para el mejoramiento de la calidad ambiental.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se realiza con el afán de contribuir con el desarrollo de la investigación científica.

En tanto los objetivos planteados son:

- Determinar la tasa de remoción por adsorción de metales pesados mediante el carbón activado con *Lemna gibba L.* Puno, Perú en el año 2015
- Evaluar en qué medida los metales pesados son adsorbidos a través del carbón activado *Lemna gibba L* por ensayo de columna de adsorción.
- Evaluar en qué medida los metales pesados son removidos a través del carbón activado *Lemna gibba L* por ensayo de agitación magnética.

Capítulo I

Marco teórico

1.1. Antecedentes de la investigación

Se realizó la búsqueda de información y se encontraron referentes locales que guardan relación con los siguientes trabajos:

Según Olivares-Marín, Fernández-González, Macías-García, & Gómez-Serrano, (2012), en su trabajo “Preparación del carbón activado a partir de piedras de cerezo por activación física en el aire. Influencia de la carbonización química con H_2SO_4 ”, estudia el uso de un método basado en la carbonización química con H_2SO_4 en solución acuosa como alternativa al método de carbonización física. Utilizando piedras de cereza (CS), AC se preparó por activación física en el aire, como de costumbre, y por carbonización con H_2SO_4 antes de activar en el aire. CS se carbonizó a $600\text{ }^\circ\text{C}$ en atmósfera de nitrógeno o con soluciones de H_2SO_4 de diversas concentraciones y los productos resultantes se activaron a $350\text{-}550\text{ }^\circ\text{C}$ en aire. La caracterización se realizó mediante análisis proximal, análisis TG-DTG, adsorción de N_2 a $-196\text{ }^\circ\text{C}$, porosimetría de mercurio, mediciones de densidad y espectroscopia FT-IR. Por la carbonización química de H_2SO_4 , se preparan AC con un menor contenido de materia inorgánica, una mayor distribución del tamaño de poro en los intervalos de meso y macroporos, mayor volumen de mesoporos y grupos de ácido carboxílico.

El mencionado trabajo arriba a las siguientes conclusiones:

El método de carbonización química produce AC con un nivel inferior de materia inorgánica, que puede aumentar el número de aplicaciones de AC, Su uso en la adsorción de solutos a partir de medios acuosos. AC posee una mesoporosidad mejor desarrollada y distribuciones más amplias de tamaño meso y macroporo. Contiene grupos funcionales de superficie del tipo de ácido carboxílico.

El método de carbonización de CS no influye significativamente en el desarrollo del área superficial y microporosidad. (Olivares-Marín *et al.*, 2012).

En tanto para Babic, Milonjic, Polovina, Cupic, & Kaludjerovic (2002) en el trabajo de “Adsorción de iones de zinc, cadmio y mercurio a partir de soluciones acuosas sobre un paño de carbón activado” Se estudió la adsorción de iones de zinc, cadmio y mercurio a partir de soluciones acuosas sobre tela de carbón activado en función de

sus concentraciones y pH de la solución. Para ello, se recogieron los datos pertinentes de la isoterma de adsorción a diferentes valores de pH. La cantidad de iones de zinc y cadmio adsorbidos aumenta mientras que la cantidad de mercurio adsorbido permanece constante con un aumento en el pH de equilibrio de la solución. Se discuten los mecanismos de adsorción de iones metálicos sobre tela de carbono activado. Bajo las condiciones investigadas, estas implican principalmente la adsorción de cationes monovalentes (Zn y Cd) o la precipitación de hidróxidos metálicos (Cd y Hg) sobre el tejido de carbón activado ensayado.

Se arribó a las siguientes conclusiones.

Las isotermas de adsorción muestran que el aumento del pH de la solución aumenta la cantidad de cationes adsorbidos. Las interacciones adsorbente-adsorbato de dispersión son dominantes según las formas isotérmicas. La adsorción multicapa y la precipitación conducen a un aumento de las cantidades adsorbidas de zinc, cadmio y mercurio. (Babic *et al.*, 2002)

En el trabajo de Karnib, Kabbani, Holail, & Olama (2014) "Eliminación de metales pesados utilizando carbón activado, sílice y sílice compuesto de carbón activado" Se llevaron a cabo experimentos en lotes para probar la capacidad del carbón activado para eliminar el plomo, el cadmio, el níquel, el cromo y el zinc del agua. Las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich se utilizaron para verificar el rendimiento de adsorción. El níquel mostró los mayores porcentajes de eliminación de carbono activado en todas las concentraciones y los porcentajes de eliminación disminuyeron a medida que aumentaba la concentración de metal pesado. El coeficiente de correlación (R²) obtenido para diferentes adsorbentes sugirió un mal ajuste de los datos experimentales a la isoterma de Langmuir para Cd, Pb, Ni y Zn, mientras que R² obtenido utilizando el modelo de Freundlich para diferentes adsorbentes indicó que encajaba bien en los datos experimentales. El compuesto de sílice / carbón activado (2: 3) fue más eficiente en la eliminación de iones de níquel que las nanopartículas de carbón activado y sílice. Se tomaron imágenes SEM para las tres partículas bajo ensayo.

Arribaron a las siguientes conclusiones:

En el presente estudio, AC mostró la mayor afinidad hacia el níquel con el 90% de porcentaje de eliminación; Los cambios en el número de ondas IR reflejaron las uniones entre AC y los metales adsorbidos como se presenta por la isoterma de Freundlich. El compuesto de sílice / AC (2: 3) mostró el mayor porcentaje de eliminación de 30 y 200 ppm de níquel. Las imágenes de SEM revelaron que AC era una micropartícula con un tamaño medio de 25 μ m, mientras que la sílice eran

nanopartículas que tenían un tamaño medio de 12 nm. El compuesto de sílice / AC (2: 3) fue la micropartícula más efectiva para la remoción de níquel y se recomienda que se utilice en el tratamiento del agua por su alta capacidad de adsorción seguida de nanopartículas de AC y sílice.(Karnib *et al.*,2014)

1.2. Sustento teórico

1.2.1. Concepto carbón activo

Es un material carbonaceo poroso, preparado por carbonización y posterior activación de sus moléculas de origen vegetal o mineral. La propiedad más importante es la gran adsorptividad, la cual es lograda por el desarrollo de una gran estructura porosa, alcanzando áreas superficiales alrededor de 900 – 1200 m²/g. Es el adsorbente más versátil de todos, pues reúne una serie de factores que lo muestran atractivo para muchos procesos. La superficie del carbón activo es esencialmente no polar, por ello no adsorbe fuertemente agua, así que puede ser utilizado para tratamiento de aguas o en procesos con gases húmedos. Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importancia.(Morales, 2007)

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados, por gramo de carbón.(Sevilla, 2002)

1.2.2. Características físico-químicas

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas.(Sevilla, 2002)

La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno.(Sevilla, 2002)
Desde el punto de vista de la estructura física, el carbón activo posee una estructura micro cristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta

estructura que presenta el carbón activo da lugar normalmente a una distribución de tamaño de poro bien determinada. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio: macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm). (Sevilla, 2002)

1.2.3. Tamaño de poros

Otra clasificación de los poros, es el de la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists), que se basan en el diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente:

- Microporo: Menores a 2 nm
- Mesoporos: Entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: Mayores a 50 nm (típicamente de 200 a 2000 nm). (Sevilla, 2002)

1.2.4. Lenteja de agua (*Lemna Gibba L.*)

De acuerdo a su taxonomía, la lenteja de agua (*Lemna gibba L.*) corresponde a la familia de Lemnaceae.

Según Cook y Gut (1974) citado (CONDORI, 2013) Lemna o lenteja de agua es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledónea, perteneciente a la familia Lemnaceae. Su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco.

Rook (2002) citado por (CONDORI, 2013) menciona que la planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5° y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los 15° y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden además tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5.

1.2.5. Metales pesados

Flexner, 1987; Lozet y Mathieu, 1991; Fu y Wang, (2011) citado por (Covelli & Lodeiro, 2013) Menciona que los metales pesados son aquellos metales cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua (≥ 5 g/cm³).

Las concentraciones en las cuales los metales pueden ser considerados tóxicos cambian de una especie a otra. Un elemento puede ser esencial a niveles bajos

para una especie, pero puede ser tóxico para otras. Entre los criterios para establecer si un metal pesado es esencial o no para el crecimiento normal de las plantas y/o los animales se consideran: El organismo no puede crecer ni puede completar su ciclo biológico sin un suministro adecuado del metal, el metal no puede ser totalmente reemplazado por otro metal y el metal tiene una influencia directa en el organismo y está involucrado en su metabolismo.

La toxicidad de estos elementos depende en gran medida de la forma química en la cual son introducidos en el organismo: por lo general los compuestos orgánicos de los metales son más tóxicos que los inorgánicos.(Covelli & Lodeiro, 2013)

- **Cobre**

Pérez (2005) citado por (Covelli & Lodeiro, 2013) resalta que El cobre es otro elemento esencial para el organismo humano, siendo necesario un aporte de 30 a 80 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{día})$. En el organismo se encuentra fundamentalmente complejado con proteínas, además de formar parte de importantes enzimas que participan en diversos procesos de oxidación.

La inhalación de polvos, humos o nieblas de sales de cobre puede causar congestión nasal y de las mucosas, y ulceración con perforación del tabique nasal. Los humos desprendidos durante el calentamiento del cobre metálico pueden producir fiebre, náuseas, gastralgias y diarrea. (Nordberg et al., 2001)

En personas que ingieren grandes cantidades de ostras o mariscos de concha, hígado, setas, nueces y chocolate, alimentos todos ellos ricos en cobre, o en mineros que trabajan y comen durante 20 años o más en un ambiente cargado con un 16% de polvo de minerales de cobre, pueden llegar a observarse concentraciones hasta 10 veces superiores a lo normal. Sin embargo, aún no se ha descrito ningún caso de toxicidad crónica primaria por cobre (perfectamente definida a partir de las observaciones de pacientes con toxicosis por cobre crónica heredada —la enfermedad de Wilson— como disfunción y lesiones estructurales hepáticas, del sistema nervioso central, de los riñones, los huesos y los ojos) excepto en personas que padecen la enfermedad de Wilson. Sin embargo, los depósitos excesivos de cobre hallados en el hígado de pacientes con cirrosis biliar primaria, colestasis y cirrosis infantil de la India pueden contribuir a la gravedad de la enfermedad hepática característica de estos procesos.(Nordberg et al., 2001).

- **Hierro**

El hierro es el segundo metal más abundante y el cuarto de todos los elementos, superado únicamente por el oxígeno, el silicio y el aluminio. Los minerales de hierro más comunes son: la hematita o mineral de hierro rojo (Fe_2O_3), que contiene un 70 % de hierro; la limonita o mineral de hierro marrón ($\text{FeO}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$), con un 42 % de hierro; la magnetita o mineral de hierro magnético (Fe_3O_4), con un alto contenido de hierro; la siderita o mineral de hierro espático (FeCO_3); la pirita (FeS_2), el mineral azufrado más común; y la pirrotita o pirita magnética (FeS). (Nordberg *et al.*, 2001)

La gravedad de la intoxicación por hierro está relacionada con la cantidad de hierro elemental ingerida. La ingestión de una cantidad de hierro elemental inferior a 20 mg/kg de peso corporal no suele tener ningún efecto tóxico. Una dosis entre 20 y 40 mg/kg de peso produce toxicidad gastrointestinal. Intoxicaciones de moderadas a severas ocurren con ingestiones entre 40 y 60 mg/kg. Más de 60 mg/kg puede llegar a producir toxicidad letal. (Díez Sáez, C; Esteban López, S; Ayala Curiel, 2008)

- **Cadmio**

Las propiedades químicas y físicas del cadmio (Cd) son muy similares a las del zinc, y con frecuencia coexiste con este metal en la naturaleza. (Nordberg *et al.*, 2001)

Campos, (1987) citado por (Covelli & Lodeiro, 2013) menciona que la toxicidad del cadmio es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tiene para formar macromoléculas reemplazando a otros metales que desempeñan un papel importante en la actividad enzimática como el hierro y el cobre. El cadmio deriva sus características toxicológicas de su semejanza química con el cinc. También la afinidad del cadmio con el grupo sulfhídrico conduce a la formación de compuestos con proteínas de cadena corta

La ingestión de bebidas contaminadas con cadmio en concentraciones superiores a 15 mg Cd/l produce síntomas de intoxicación alimentaria. Los síntomas son: náuseas, vómitos, dolor abdominal y, en ocasiones, diarrea. Las fuentes de contaminación de los alimentos pueden ser las cacerolas y sartenes recubiertos con esmalte a base de cadmio o soldaduras realizadas con cadmio que se utilizan en las máquinas expendedoras de bebidas calientes y frías. (Nordberg *et al.*, 2001)

- **Mercurio**

El mercurio no es un elemento traza esencial para el metabolismo de los organismos vivos y puede ser tóxico a concentraciones elevadas para la vida acuática. Los efectos biológicos adversos incluyen letalidad, disminución de la fertilización y alteraciones en el desarrollo de los primeros tiempos de vida de los organismos bentónicos.(Covelli & Lodeiro, 2013)

Los usos más importantes del mercurio metálico y sus compuestos inorgánicos son: el tratamiento de los minerales de plata y oro, la fabricación de amalgamas, la fabricación y reparación de aparatos de medición o de laboratorio entre otros.(Nordberg et al., 2001)

Campbell y col. (2003) citado por (Covelli & Lodeiro, 2013) indica que Las formas orgánicas del mercurio son más tóxicas que las inorgánicas además el mercurio metálico depositado en los fondos de los ríos, lagos y mares, se transforma en compuestos organometálicos por acción de la bacteria anaeróbica *Metanobacterium amelanskis*

Brack y Mendiola (2000) citado por (Covelli & Lodeiro, 2013) menciona que de las sustancias formadas, el metilmercurio (CH_3Hg^+) es la especie más peligrosa formando varios derivados extremadamente móviles (volátiles) y tóxicos. Estas bacterias que contienen metilmercurio pueden ser rápidamente adsorbidas por el fitoplancton y de ahí pasar a los organismos superiores.

- **Plata**

La plata (Ag) se encuentra en todo el mundo, pero la mayor parte se produce en México, el oeste de Estados Unidos, Bolivia, Perú, Canadá y Australia. Gran parte de ella se obtiene como subproducto de los minerales argentíferos de plomo, zinc y cobre, en los que se encuentra como sulfuro de plata, argentita (Ag_2S). También se recupera durante el tratamiento de los minerales de oro y es un constituyente esencial del telurio de oro, la calaverita ($(\text{AuAg})\text{Te}_2$). (Nordberg et al., 2001)

El contacto del líquido con los ojos puede causar graves daños en la córnea. La ingestión directa de plata puede causar molestias estomacales, náuseas, vómitos, diarrea y narcosis.

Desde el punto de vista ecotoxicológico, la responsable de la toxicidad de la plata es su forma iónica monovalente (Ag^+). En los peces de agua dulce, la toxicidad de dicha forma iónica parece estar asociada a su unión con sitios específicos en las branquias, generando una reducción en la incorporación de iones sodio y cloruro mediante la inhibición de la actividad de la enzima sodio-

potasio-adenosintrifosfatasa (NaKATPasa), causando una pérdida neta de iones del plasma sanguíneo, fallos circulatorios por el colapso de la regulación del volumen de fluido y, finalmente, la muerte del pez.(Covelli & Lodeiro, 2013)

- **Cromo**

La concentración de Cr en aguas intercontinentales no contaminadas es de 0.1 a 0.5 ppm, mientras que en aguas negras, municipales y residenciales oscila entre 0.1 a 36 mg/ cápita/día. Así, se ha establecido que la toxicidad del Cr (como cromato de potasio) en humanos es de 0.5 a 1 g por vía oral

Aunque el Cr existe en estados de oxidación que van de -2 a +6, las formas más estables y abundantes son las especies trivalente Cr (III) y hexavalente Cr (VI). El Cr (VI) comúnmente está presente en solución formando los oxianiones hidrocromato (HCrO_4^-), cromato (CrO_4^{2-}) o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), dependiendo del pH. El Cr (VI) existe en forma de anión soluble en agua, el cual puede persistir en este ambiente por largos periodos y es considerado como un contaminante importante por el Departamento de Energía de sitios de desecho de EUA. Por otra parte, los derivados del Cr (III) son menos móviles y principalmente existen en el ambiente formando complejos estables con ligandos orgánicos o inorgánicos.(Ramírez-Díaz, Riveros-Rosas, Campos-García, & Cervantes, 2009)

Los efectos nocivos de los compuestos de cromo se observan generalmente entre las personas que trabajan en lugares donde está presente el Cr^{VI} , especialmente durante su fabricación o utilización, y afectan principalmente a la piel y al aparato respiratorio.(Nordberg et al., 2001)

- **Arsénico**

El origen natural del arsénico en América Latina está relacionado con el volcanismo y la actividad hidrotermal asociada de la cordillera de los Andes que atraviesa de norte a sur muchos países, entre ellos, el Perú.(Chávez Quijada & Miglio Toledo, 2011)

Se oxida fácilmente en contacto con el aire húmedo y produce trióxido. Siempre se le descubre como impureza de otros metales, cobre, plomo, cinc u oro y es raro hallarlo puro en la naturaleza. Es muy tóxico, aunque algunas de sus formas orgánicas intervienen en los procesos metabólicos de varias especies. Su nombre deriva del griego arsenikos, que significa potente.(Ramirez, 2013)

La presencia de arsénico en aguas para consumo humano constituye una amenaza para la salud pública; el valor máximo admisible recomendado por la

Organización Mundial de la Salud es de 0,01 mg As/L. El consumo frecuente de agua contaminada con arsénico podría producir cáncer a la vejiga, pulmón, piel, riñón, hígado y próstata. (Chávez Quijada & Miglio Toledo, 2011)

Su toxicidad depende de la forma química; así, del arsénico inorgánico (iAs) la forma trivalente (iAs³⁺) es más tóxica que la pentavalente (iAs⁵⁺) y ambas más que sus compuestos metilados: el ácido monometilarsónico (MMA) y el ácido dimetilarsínico (DMA). Los arsenicales orgánicos arsenobetaina, arsenocolina y arsenoazúcares son considerados no tóxicos. (Ramírez, 2013)

- **Níquel**

El níquel es probablemente un elemento esencial para los seres humanos, con varias funciones posibles en el mantenimiento y la producción de células corporales¹. También produce un efecto tóxico general en el organismo de los humanos, causando nasofaringitis, enfermedades pulmonares y dermatológicas, y tumores malignos. (Peña, Rondón, & Carrero, 2010)

Los compuestos de níquel están clasificados por la IARC en el grupo de agentes cancerígenos, mientras que el níquel metálico se encuentra clasificado en el grupo de elementos posiblemente cancerígenos para humanos (Covelli & Lodeiro, 2013)

- **Plomo**

Igwe y Abia (2006) citado por (Covelli & Lodeiro, 2013) donde considera que el plomo es un metal pesado tóxico que forma complejos con diferentes enzimas para afectar virtualmente todos los pasos en el proceso de la síntesis de la hemoglobina, además de influir en el metabolismo de las porfirinas. Altos niveles de plomo en el ser humano han sido relacionados con encefalopatías, ataques o retrasos mentales.

Este metal existe en forma inorgánica y orgánica. La forma inorgánica puede encontrarse en las pinturas, tierra, polvo y en otros productos de manufactura. Los gases de la combustión de la gasolina, a la que se le ha agregado plomo, contiene la forma orgánica del metal (plomo tetra etilo); nuestro cuerpo absorbe esta forma más fácilmente, por lo que resulta más tóxica que la forma inorgánica. Con la eliminación del plomo de la gasolina en la mayoría de países la contaminación con la forma orgánica de plomo se limita a casos de contaminación ocupacional. (Pedro, 2008).

- **Antimonio**

El antimonio es estable a temperatura ambiente, pero cuando se calienta, arde brillantemente, desprendiendo un humo blanco y denso de óxido de antimonio (Sb_2O_3) con un olor característico parecido al del ajo. Desde el punto de vista químico, el antimonio está muy relacionado con el arsénico. Se combina fácilmente con el arsénico, el plomo, el estaño, el zinc, el hierro y el bismuto.

El antimonio puede penetrar en el organismo a través de la piel, aunque la vía principal es la respiratoria. Desde los pulmones, la sangre absorbe el antimonio, y en especial el antimonio libre, y lo distribuye a los tejidos. Los estudios sobre trabajadores y los experimentos con antimonio radiactivo muestran que la mayor parte del antimonio absorbido se metaboliza en las primeras 48 horas y se elimina con las heces y, en menor proporción, con la orina. La cantidad restante en el organismo permanece en la sangre durante bastante tiempo, observándose una concentración de antimonio varias veces superior en los eritrocitos que en el suero. (Nordberg et al., 2001)

- **Zinc**

El Zn se caracteriza por ser un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, pero no es abundante, ya que representa sólo el 0,012% de la corteza terrestre. En los suelos su concentración media es de 50 mg/kg³. (Rubio et al., 2007)

Este elemento traza es un micronutriente esencial para la mayor parte de los organismos y actúa como cofactor en más de 200 enzimas, pero elevadas concentraciones en el ambiente pueden ser tóxicas. La biota acuática exhibe un amplio rango de sensibilidades al cinc, sin embargo parece no haber diferencias sistemáticas en la toxicidad de esta sustancia entre peces, invertebrados y plantas acuáticas. (Covelli & Lodeiro, 2013)

- **Adsorción**

La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como "fuerzas de Van Der Waals". Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser. (Sevilla, 2002)

Según la naturaleza de las fuerzas involucradas, la adsorción es de dos tipos: fisisorción y quimisorción. En el caso de la fisisorción, el adsorbato se encuentra

unido débilmente a la superficie del sólido por fuerzas de van der Waals, las cuales se asemejan a las fuerzas de cohesión involucradas en la condensación de vapores a líquidos. En cambio, la quimisorción involucra un intercambio o una compartición de electrones entre las moléculas de adsorbato y la superficie del adsorbente dando como resultado una reacción química. La quimisorción es la etapa inicial de cualquier proceso catalítico.(PAREDES DOIG, 2011)

Muchas tecnologías como adsorción, precipitación, filtración de membrana y el intercambio de iones se han utilizado para eliminar contaminantes de metales del agua, Sin embargo, la adsorción ha demostrado ser económica y eficiente para la eliminación de metales pesados, contaminantes orgánicos y colorantes de aguas contaminadas. Varios adsorbentes como el carbón activado, sílice y grafeno pueden ser utilizados en la purificación de agua.(Karnib et al., 2014).

1.2. Hipótesis de investigación

- **Hipótesis general**

- Los metales pesados serán adsorbidos eficazmente a través del carbón activado a partir de *Lemna gibba L.*

- **Hipótesis específico**

- Los metales pesados serán adsorbidos eficazmente a través del carbón activado *Lemna gibba L.* por columna de adsorción.
- Los metales pesados serán removidos eficazmente a través del carbón activado *Lemna gibba L.* por agitación magnética.

1.3. Sistema de variables

| PROBLEMA DE INVESTIGACION | OBEJTIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | INDICE | ESTADISTICO |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Pregunta General: •¿CUÁL SERÁ LA TASA DE REMOCIÓN POR ADSORCIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE EL CARBÓN ACTIVADO CON Lemna Gibba L.? | Objetivo General: • Determinar la tasa de remoción por adsorción de metales pesados mediante el carbón activado con <i>Lemna Gibba L.</i> Puno, Perú en el año 2015 | Hipótesis General: • Los metales pesados serán adsorbidos eficazmente a través del carbón activado a partir de <i>Lemna Gibba L.</i> | VARIABLE INDEPENDIENTE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE <i>Lemna Gibba L.</i> | <ul style="list-style-type: none"> ○ CARBON ACTIVADO A PARTIR DE <i>Lemna Gibba L.</i> ○ ACTIVACIÓN QUÍMICA DE <i>Lemna Gibba L.</i> | <ul style="list-style-type: none"> ○ CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE METALES PESADOS. | mg/L | Análisis descriptivo en Diagrama de Schoeller Berkaloff – |
| Preguntas Específicos: • ¿EN QUÉ MEDIDA LOS METALES PESADOS SON ADSORBIDOS A TRAVÉS DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE <i>Lemna Gibba L.</i> POR COLUMNA? | Objetivos Específicos: • •Evaluar en qué medida los metales pesados son adsorbidos a través del carbón activado <i>Lemna Gibba L.</i> por ensayo de columna de adsorción. | Hipótesis Específicos: •Los metales pesados serán adsorbidos eficazmente a través del carbón activado a partir <i>Lemna Gibba L.</i> Por columna. | VARIABLE DEPENDIENTE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS | <ul style="list-style-type: none"> ○ COBRE ○ HIERRO ○ MERCURIO ○ PLATA ○ CADMIO ○ CROMO ○ ARSENICO ○ NIQUEL ○ PLOMO ○ ANTIMONIO ○ ZINC | <ul style="list-style-type: none"> ○ DISMINUCIÓN DE CONCENTRACIONES | mg/L | Análisis descriptivo en Diagrama de Schoeller Berkaloff – |
| • ¿EN QUÉ MEDIDA LOS METALES PESADOS SON REMOVIDOS A TRAVÉS DEL CARBON ACTIVADO A PARTIR DE <i>Lemna Gibba L.</i> POR AGITACION MAGNETICA? | • Evaluar en qué medida los metales pesados son removidos a través del carbón activado a partir <i>Lemna Gibba L.</i> Por agitación magnética. | •Los metales pesados serán removidos eficazmente a través del carbón activado a partir <i>Lemna Gibba L.</i> Por agitación magnética. | VARIABLE CONTROL DE | <ul style="list-style-type: none"> ○ pH ○ TEMPERATURA | NIVEL DE ACIDEZ-ALCALINIDAD. CONTENIDO DE LA ENERGÍA INTERNA DE LAS MOLÉCULAS. | 0 – 14 °C | |

Capítulo II

Diseño metodológico de la investigación

2.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación asumida en el presente trabajo de investigación es de tipo experimental y el diseño corresponde al *Diseño De Investigación Preprueba – Postprueba Con Un Solo Grupo al respecto* propuesto por hernandez sampieri, donde recoge datos en dos o más muestras para poder observar el comportamiento de una variable, tratando de controlar estadísticamente otras variables que se considera pueden afectar la variable estudiada. (Variable dependiente)".

El diseño de investigación de preprueba - postprueba con un solo grupo se ciñe al tabla 1.

Tabla 1

Diseño de investigación de preprueba – postprueba.

| Muestra | Observación | Tratamiento | Observación |
|----------------|----------------|-------------|----------------|
| M ₁ | O ₁ | X | O ₂ |
| M ₂ | O ₃ | X | O ₄ |

Fuente: Diseño de investigación de preprueba - postprueba (Hernandez Sampieri)

2.1.1. Población de la investigación

- **Población**

La población se establece de acuerdo al área de estudio de la zona minera ubicada en la Provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, del Centro Poblado la Rinconada del sector Lunar de Oro.

Tabla 2

Coordenadas geográficas de C.P. Rinconada Lunar de Oro.

| Latitud del sur | Longitud del oeste | altura (msnm) |
|-----------------|--------------------|---------------|
| 14°40'40'' | 69°31'56'' | 4610 |

Fuente: Elaboración Propia.

- **Muestra**

La muestra se realiza como matrices ambientales; los puntos de cuerpos de agua en dicha zona, donde la muestra se realizan *in situ*.

El muestreo se realiza de juicio y no probabilístico, donde las muestras son tomadas de forma o tipo *continuo*. En caso de recoger la muestra de un lago, embalse u otra fuente de agua superficial: Sumergir el envase unos 30 cm. debajo de la superficie en una zona representativa de la masa de agua. Evitar las zonas de aguas estancadas o tranquilas. Si hay corriente, tomar la muestra a contra corriente. (Buelta Serrano, A, n.d.), en razón a ello se siguió el mismo protocolo tomando en consideración que se recolecto seis muestras puntuales.

2.2. Metodología de investigación

Los ensayos fueron realizados a nivel de laboratorio en los Laboratorios Analíticos del Sur, laboratorio de ensayo acreditado por la dirección de acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) con registro N° LE-050, además con la colaboración de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno (UNAP), a través de la Escuela Profesional de Ingeniería Química y Megalaboratorio.

Los ensayos por Columna de adsorción y remoción por agitación magnética (Figura 1) se ciñen acorde a la metodología experimental propuesta en el presente trabajo de investigación.

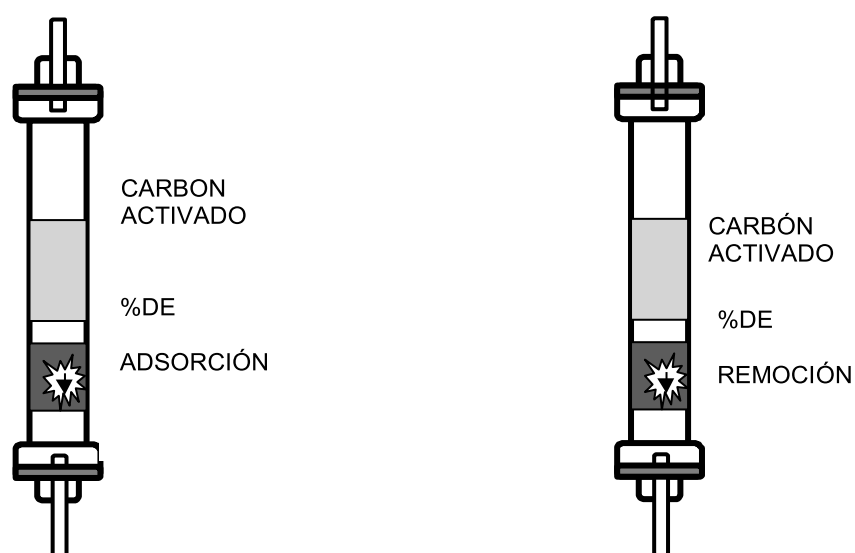


Figura 1. Representación de pruebas de adsorción. Columnas de adsorción y remoción por agitación magnética.

2.3. Metodología experimental

La metodología experimental aplicada en el desarrollo de la investigación se basó en 3 etapas: i) obtención del carbón activado; ii) caracterización física y textural; y iii) Método experimental por columna de adsorción y remoción por agitación magnética.

2.3.1. Obtención del carbón activado

La especie *Lemna gibba L.* se obtuvieron del Lago Titicaca de la ciudad de Puno, Perú, como parte del resultado de la contaminación que sufre el Lago Titicaca, los materiales precursores del CA fueron transportadas al laboratorio donde se deshidrataron durante tres días a 60 °C en una estufa, posterior a ello se almacenó hasta su activación y/o análisis.

Para la activación se pesaron 50 g del material precursor (*Lemna gibba L.*) y se adicionaron 50 mL de ácido fosfórico a una concentración de 1N, es decir la impregnación de las muestras fueron en proporciones de 1:1. El material impregnado se dejó 24 horas en contacto. Transcurrido el tiempo de activación, se carbonizó la muestra en mufla eléctrica de 500 °C a 600 °C durante una hora. El material carbonizado obtenido se dejó enfriar a temperatura ambiente y fue lavado varias veces con suficiente agua destilada hasta ajustar su pH entre 6.5 y 7.

2.3.2. Caracterización física y textural

El carbón activado obtenido fue caracterizado determinando el diámetro de las partículas y del poro, entre las técnicas de caracterización usadas para el material del CA (*Lemna gibba L.*) se empleó Microscopía electrónica de barrido: Se empleó un equipo modelo ZEISS y un tamizador marca FORNEY, modelo LA-0441 que soporta hasta 8 tamices más la charola para polvos. El rango obtenido del tamiz para el carbón activado (*Lemna gibba L.*) es del No. 60 al No. 200.

El carbón activado obtenido de la especie (*Lemna gibba L.*) presenta ≤ 2.094 mm de diámetro como partículas de mayor tamaño y ≥ 150.5 μm de diámetro como partículas de menor tamaño. El grado de porosidad presenta entre 10.48 μm y 125.3 μm de diámetro longitudinal del poro.

2.3.3. Método experimental por columna de adsorción y remoción por agitación magnética.

Los ensayos de adsorción se llevaron a cabo por dos procesos experimentales: Columna de adsorción y remoción por agitación magnética.

Previo a los ensayos se realizó un análisis de metales pesados por espectrofotometría ICP - OES en las muestras de agua superficial tomadas en el área de estudio de la zona minera ubicada en la Provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, Centro Poblado la Rinconada, sector Lunar de Oro. Donde previo a los ensayos las muestras han sido preservadas con Ácido nítrico. Posterior a ello se dio un tratamiento para evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado (*Lemna gibba L.*) que se desarrolló en dos pruebas analíticas a nivel del laboratorio.

2.4. Material experimental

A continuación se detallan los equipos, materiales empleadas en el estudio de adsorción.

2.4.1. Equipos

- Balanza analítica.
- Medidor de pH/iones.
- Mufla.
- Agitador magnético.
- Espectrofotometría ICP – OES
- Tamizador FORNEY, modelo LA-0441
- Microscopía electrónica de barrido modelo ZEISS

2.4.2. Materiales

- Matraces aforados de 25 - 50 - 100 - 500 -1000 mL.
- Vasos precipitado 100 mL.
- Embudos de vidrio
- Matraces erlenmeyer de 50 mL
- Papel filtro
- Pipetas parciales y totales de 1 - 5 - 10 – 20 – 50 - 100 ml
- Soporte Universal

2.4.3. Reactivos

- Ácido Fosfórico.
- Agua destilada.

2.5. Plan de tratamiento de datos

El análisis que se aplicó en el presente trabajo de investigación es un software AquaChem que es un programa diseñado por Waterloo Hydrogeologic para realizar análisis numéricos y gráficos que sirven para interpretar datos de calidad de aguas.(Universidad de Chile, 2006).

La prueba utilizada es el Diagrama de Schoeller – Berkaloff que nos permite el análisis del comportamiento de adsorción y remoción de metales pesados presentes en las muestras de evaluación.

Capítulo III

Resultados y discusión

3.1. Resultados

Se reportan los resultados del análisis de la característica física del CA de *Lemna Gibba L.* (Figura 2)

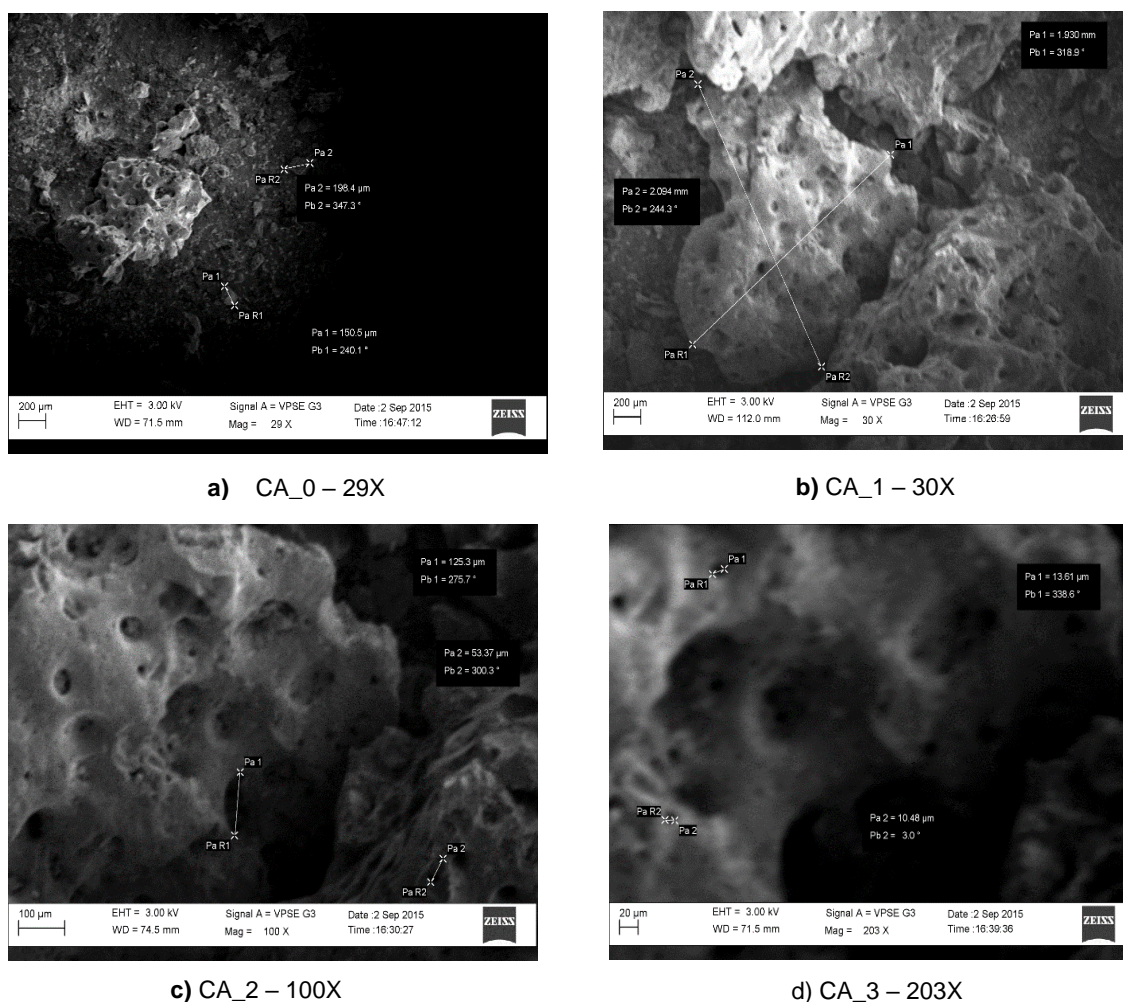


Figura 1. Microscopia electrónica de barrido, a) CA_0, c) CA_2 (lado izquierdo) y b) CA_1, d) CA_3 (lado derecho) con aumentos entre 29X y 203X.

En la Figura 2 se observa las imágenes de microscopia de barrido electrónico donde la figura 1 a) muestra CA_0, CA_1, CA_2 y CA_3 a una magnificación de 29X, 30X, 100X y 203X. La muestra CA_0 y CA_1, muestran imágenes de las partículas de carbón activado (*Lemna Gibba L.*) en las diferentes dimensiones donde presentan un diámetro ≤ 2.094 mm de partículas de mayor tamaño y diámetros ≥ 150.5 μm de partículas de

menor tamaño y las imágenes de CA_2, CA_3 evidencian el grado de porosidad del material donde presenta entre 10.48 μm y 125.3 μm de diámetro longitudinal del poro.

Tabla 3

Resumen de la adsorción de metales pesados.

| METALES PESADOS | antes (mg/L) | columna de adsorción (mg/L) | Agitación Magnética (mg/L) |
|------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Cobre | 0.1637 | 0.0339 | 0.0178 |
| Hierro | 116.5 | 16.913 | 2.77 |
| Mercurio | 0.6186 | 0.0004 | 0.0004 |
| Cadmio | 0.0270 | 0.1205 | 0.0103 |
| Cromo | 0.0263 | 0.4009 | 0.4378 |
| Arsénico | 1.2810 | 0.1095 | 6.9770 |
| Níquel | 1.1609 | 0.8420 | 1.0814 |
| Plomo | 0.1941 | 0.5735 | 0.0274 |
| Antimonio | 0.0085 | 0.0034 | 0.00551 |
| Zinc | 3.6460 | 3.0498 | 3.2480 |

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur

En la Figura 3, se muestra la adsorción y remoción de Cobre antes y después del tratamiento.

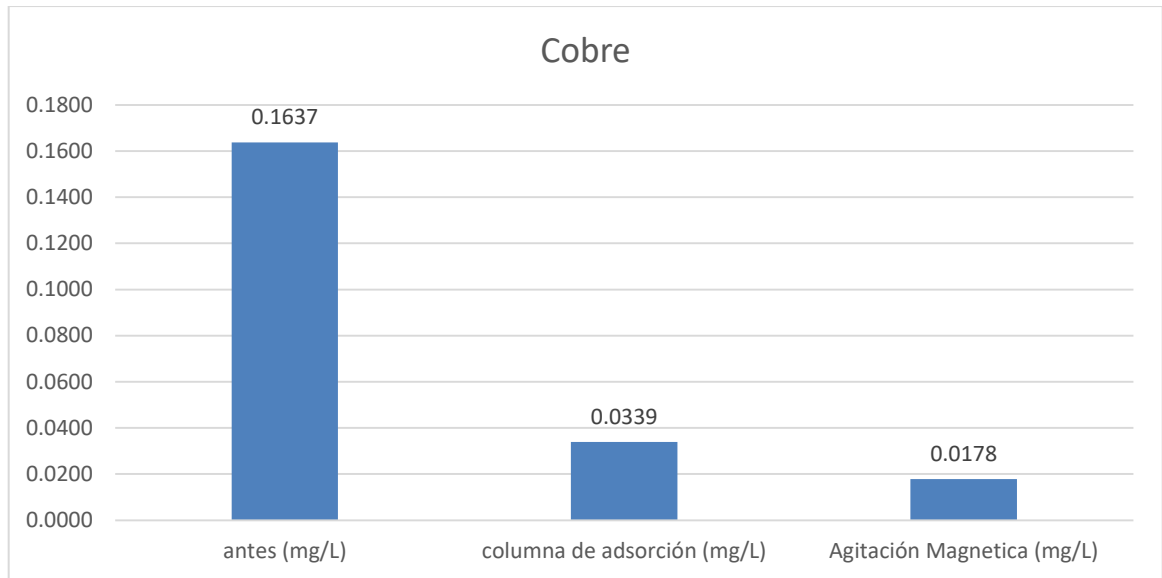


Figura 2. Adsorción y remoción de Cobre

En la figura 3 se observa la adsorción por columna de adsorción y agitación magnética donde antes de los ensayos hay presencia de Cobre en un 0.1637 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa en la adsorción por columna donde disminuye a 0.0339 mg/L, mientras que por agitación magnética llega a disminuir en un 0.0178 mg/L.

En la figura 4 se muestra la adsorción y remoción de Hierro antes y después del tratamiento

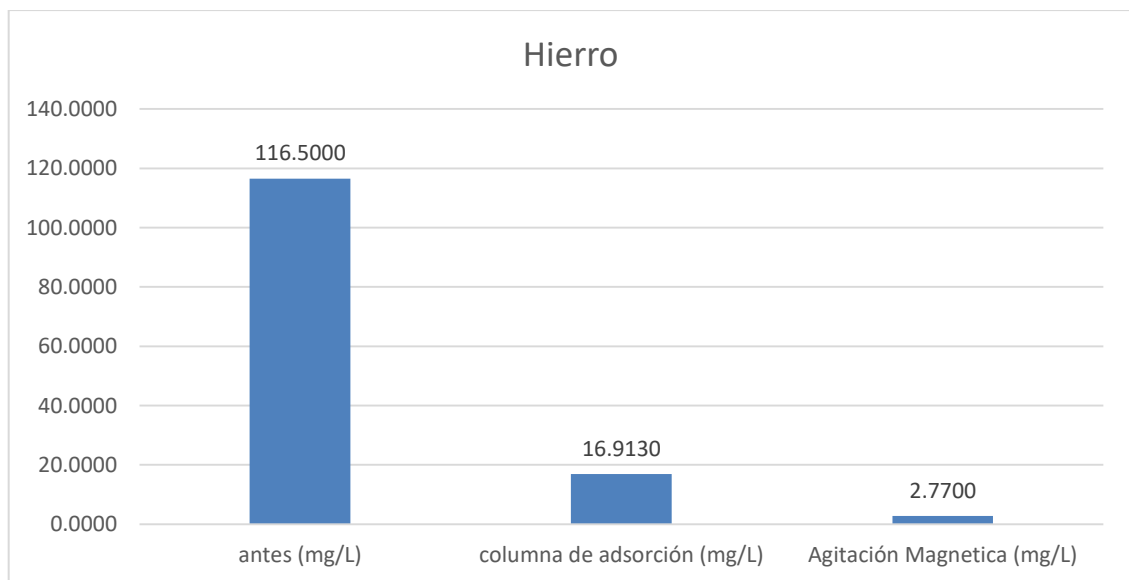


Figura 3. Adsorción y remoción de Hierro

En la figura 4 se observa la adsorción por columna de adsorción y agitación magnética donde antes de los ensayos hay presencia de Hierro en un 116.5 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa en la adsorción por columna donde disminuye notablemente a 16.91 mg/L, mientras que por agitación magnética llega a disminuir en un 2.77 mg/L.

En la figura 5 se muestra la adsorción y remoción de Mercurio antes y después del tratamiento

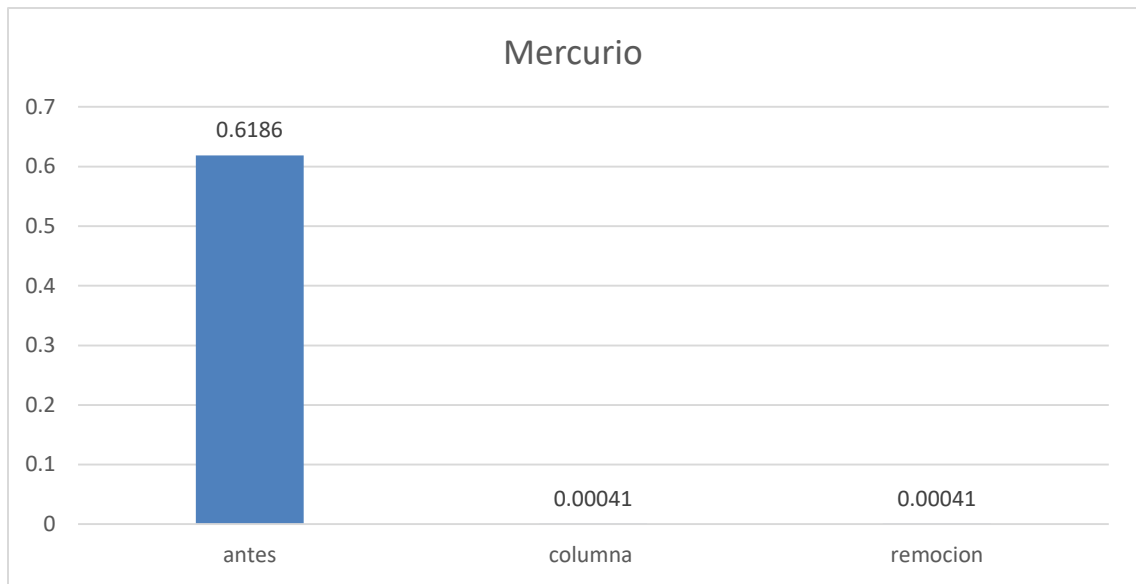


Figura 5. Adsorción y remoción de Mercurio.

En la figura 5 se observa que antes de los ensayos de remoción por agitación magnética y adsorción por columna, hay presencia de Mercurio en un 0.6186 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa en la adsorción por columna donde disminuye notablemente a <0.00041 mg/L, al igual que por el ensayo de agitación magnética.

En la figura 6 se muestra la adsorción y remoción de Cadmio antes y después del tratamiento

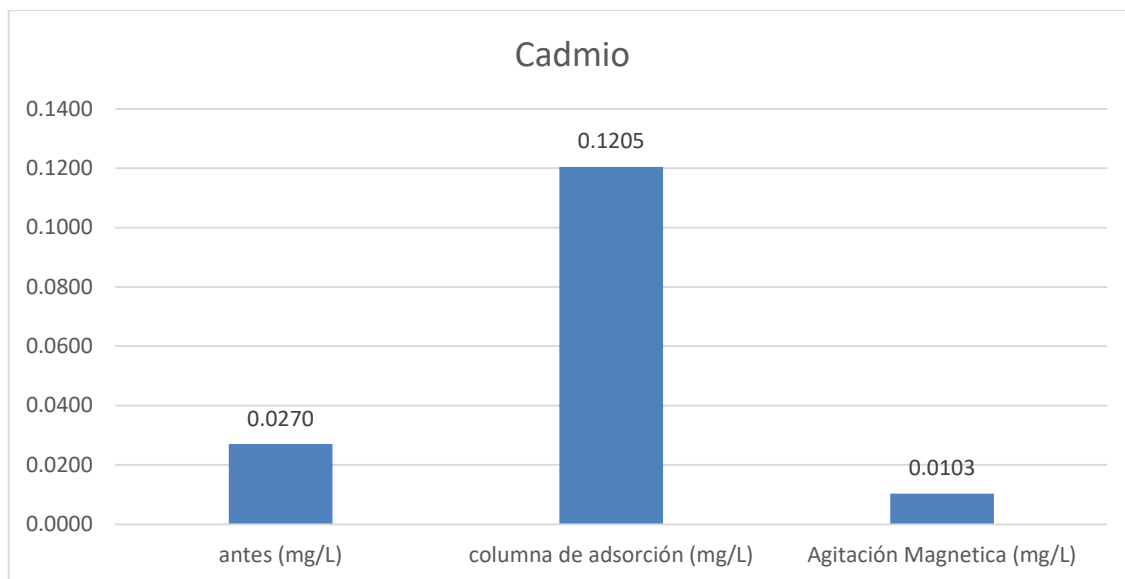


Figura 5. Adsorción y remoción de Cadmio

En la figura 6 se observa que antes de los ensayos de remoción (por agitación magnética y adsorción por columna), hay presencia de Cadmio en un 0.0270 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por agitación magnética donde disminuye notablemente a 0.0103 mg/L, mientras que por columna de adsorción llega a aumentar a 0.1205 mg/L por efecto pH. En la figura 7 se muestra la adsorción y remoción de Cromo antes y después del tratamiento

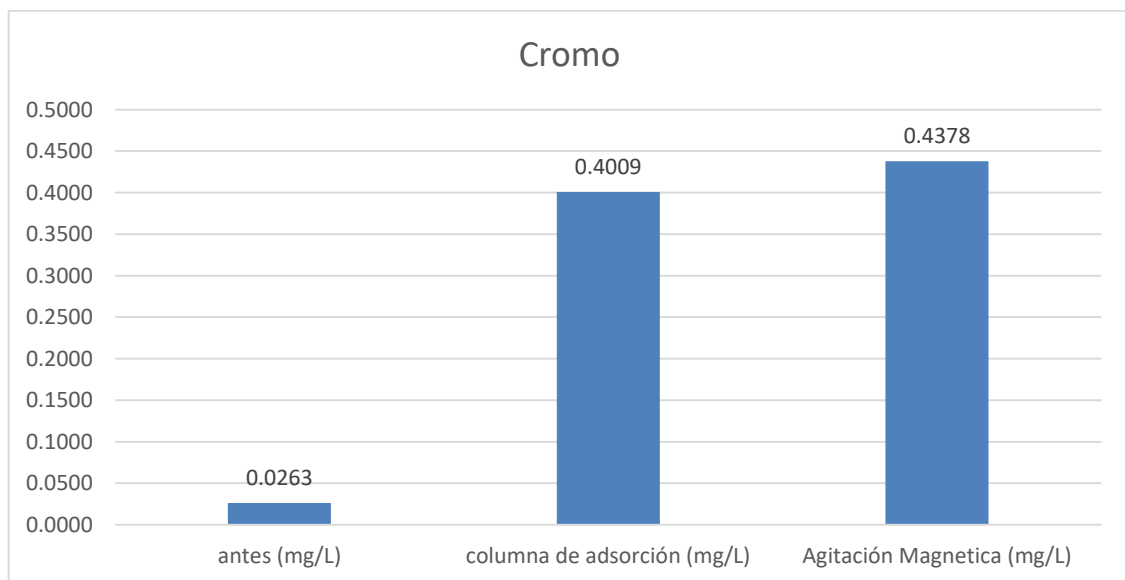


Figura 6. Adsorción y remoción de Cromo

En la figura 7 se observa que antes de los ensayos por agitación magnética y adsorción por columna, hay presencia de Cromo en un 0.0263 mg/L en la muestra analizada, sin embargo, después de los ensayos existe aumento significativo en la adsorción por columna y agitación magnética, donde se le atribuye al efecto pH.

En la figura 8 se muestra la adsorción y remoción de Arsénico antes y después del tratamiento

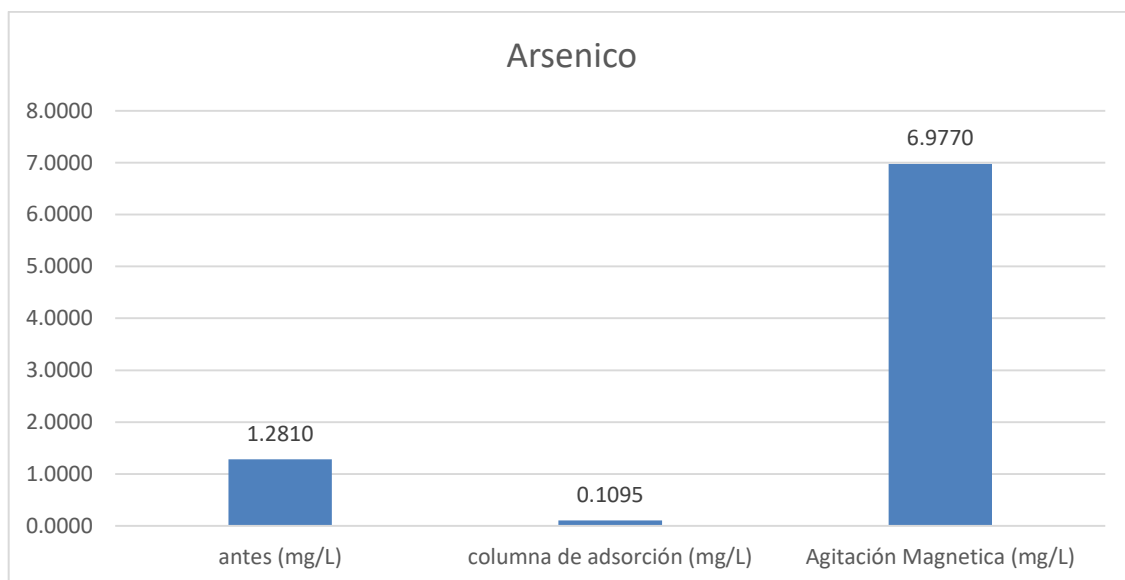


Figura 7. Adsorción y remoción de Arsénico

En la siguiente figura 8 se observa que antes de los ensayos por agitación magnética y adsorción por columna, hay presencia de arsénico en un 1.281 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por columna de adsorción donde disminuye notablemente a 0.1095 mg/L, mientras que por el ensayo de agitación magnética tiende a aumentar por el fenómeno del efecto pH.

En la figura 9 se muestra la adsorción y remoción de Níquel antes y después del tratamiento

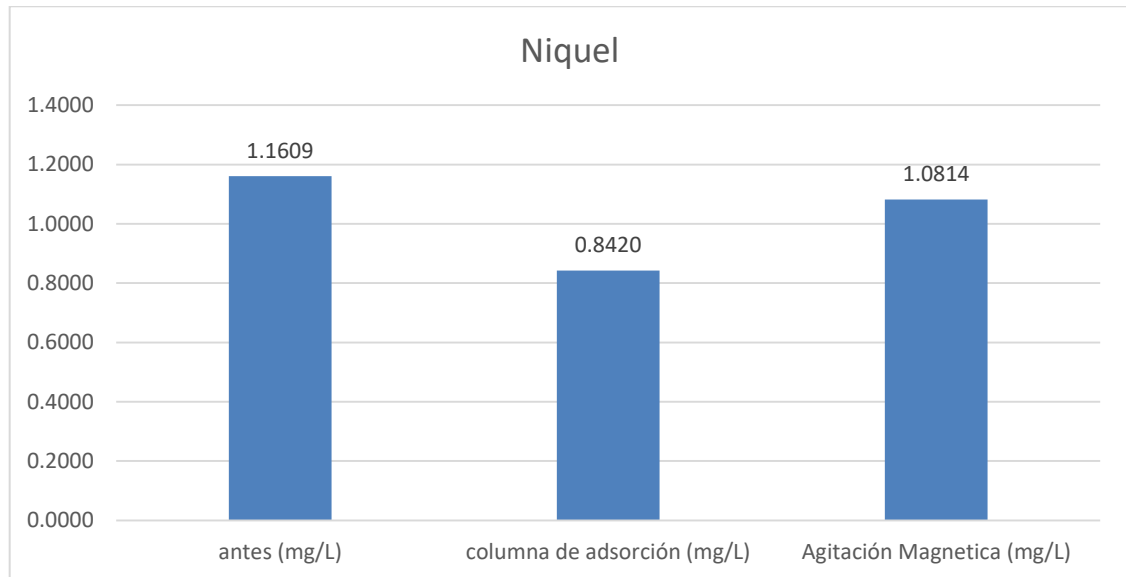


Figura 8. Adsorción y remoción de Níquel

En la siguiente figura 9 se observa que antes de los ensayos de agitación magnética y columna de adsorción, hay presencia de Níquel en un 1.1609 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por columna de adsorción donde disminuye notablemente a 0.8420 mg/L, mientras que por el ensayo de agitación magnética llega a disminuir a 1.0814mg/L.

En la figura 10 se muestra la adsorción y remoción de Plomo antes y después del tratamiento.

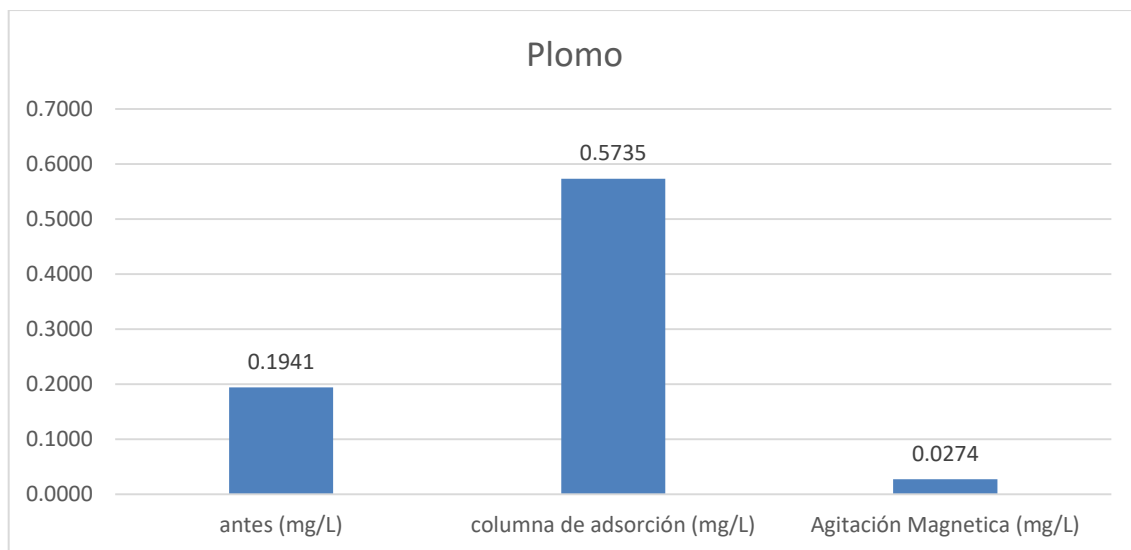


Figura 9. Adsorción y remoción de Plomo

En la siguiente figura 10 se observa que antes de los ensayos de agitación magnética y columna de adsorción, hay presencia de Plomo en un 0.1941 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por agitación magnética donde disminuye notablemente a 0.0274 mg/L, mientras que por el ensayo de columna de adsorción no llega a disminuir por efecto de pH.

En la figura 11 se muestra la adsorción y remoción de Antimonio antes y después del tratamiento

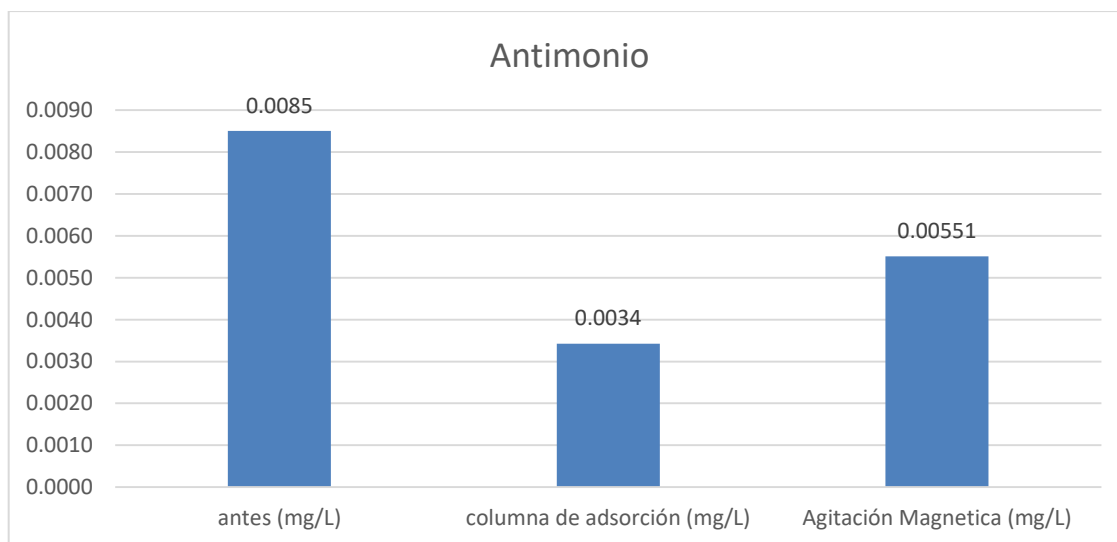


Figura 10. Adsorción y remoción de Antimonio

En la figura 11 se observa que antes de los ensayos por agitación magnética y columna de adsorción, hay presencia de Antimonio en un 0.0085 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por columna de adsorción donde disminuye notablemente a 0.0034 mg/L, mientras que por el ensayo de agitación magnética llega a disminuir a 0.00551 mg/L.

En la figura 12 se muestra la adsorción y remoción de Zinc antes y después del tratamiento

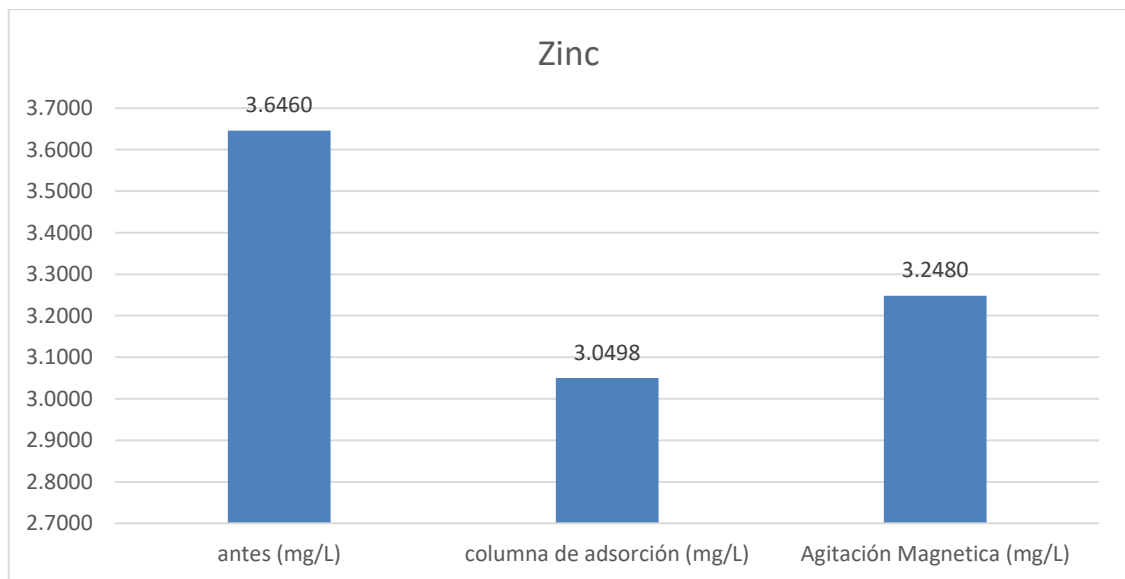


Figura 11. Adsorción y remoción de Zinc

En la figura 12 se observa que antes de los ensayos por agitación magnética y columna de adsorción, hay presencia de Zinc en un 3.6460 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por columna por adsorción donde disminuye notablemente a 3.0498 mg/L, mientras que por el ensayo de remoción llega a disminuir notablemente a 3.2480 mg/L.

En la Tabla 4 se reportan los resultados de metales pesados como parámetros del ensayo, previo al tratamiento tenemos entre los metales pesados con mayor toxicidad e incidencia: mercurio con 0.6186 mg/L, arsénico con 1.281 mg/L, plomo 0.1941 mg/L y para cadmio 0.027015 mg/L en promedio, sobrepasando el parámetro establecido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para la categoría 4 conservación del ambiente acuático, donde tenemos: 0,05 mg/L para arsénico, 0,004

mg/L para cadmio, 0.001 mg/L para Plomo y en tanto para la categoría 3 tenemos el mercurio con 0,001 mg/L. (DS N° 002 – 2008 - MINAM).

Tabla 4

Parámetros de metales pesados durante los ensayos

| ENSAYOS | Cu (mg/L) | Fe(mg/L) | Hg(mg/L) | Ag(mg/L) | Cd(mg/L) | Cr(mg/L) | As(mg/L) | Ni(mg/L) | Pb(mg/L) | Sb(mg/L) | Zn(mg/L) |
|----------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| ANTES - M1 | 0.1683 | 116 | 0.06852 | < 0.0024 | 0.02683 | 0.02759 | 1 | 1.1646 | 0.1968 | 0.0118 | 3.701 |
| ANTES - M2 | 0.1588 | 117 | 0.0552 | < 0.0024 | 0.0272 | 0.02503 | 1 | 1.1571 | 0.1914 | 0.0052 | 3.591 |
| ADSORCION - MA | 0.0144 | 0.619 | < 0.00041 | < 0.0024 | 0.00085 | 0.05329 | 0.1494 | 0.38232 | 0.0313 | 0.00854 | 0.8794 |
| ADSORCION - MB | 0.062 | 46 | < 0.00041 | < 0.0024 | 0.26261 | 0.01231 | 0.1075 | 1.2032 | 1.102 | < 0.00049 | 3.819 |
| ADSORCION - MC | 0.0253 | 4.12 | < 0.00041 | < 0.0024 | 0.09796 | 0.04693 | 0.0717 | 0.94052 | 0.5871 | 0.00125 | 4.451 |
| REMOCION - MD | 0.0178 | 2.77 | < 0.00041 | < 0.0024 | 0.01034 | 0.01816 | 7 | 1.0814 | 0.0274 | 0.00551 | 3.248 |

Fuente: Laboratorios analíticos del Sur.

En la figura 13 tenemos el diagrama de Schoeller – Berkaloff, donde nos permite describir la capacidad de adsorción del carbón activado en relación a los metales pesados como parámetros analizados, en la tabla 5 podemos observar que el mercurio (Hg) fue adsorbido en un 99.34% en ambos métodos (*método columna de adsorción y remoción por agitación magnética*), el hierro (Fe) fue adsorbido en un 97.62% por el método de remoción por AM y solo en un 85.48% por el método de columna de adsorción, El cobre (Cu) fue adsorbido en un 89.13% por el método de remoción por AM, y sin embargo solo 79.29% fue adsorbido por el método de columna de adsorción.

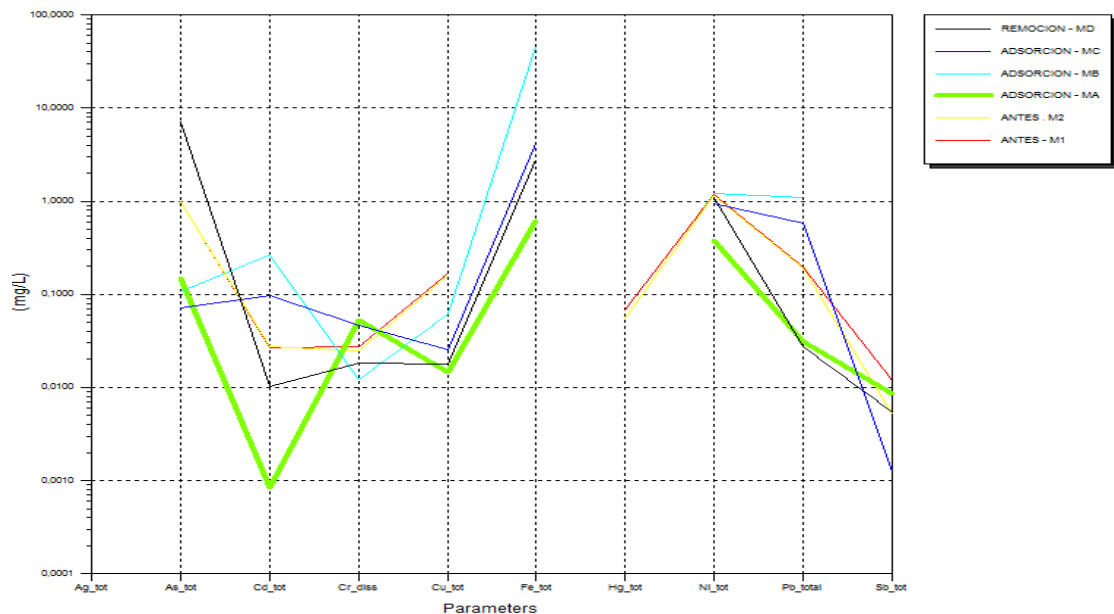


Figura 12. Diagrama de Schoeller – Berkaloff

Tabla 5

Porcentaje de adsorción de metales pesados.

| METALES PESADOS | Porcentaje de adsorción | |
|-----------------|-------------------------|--------|
| | Columnas | A.M. |
| Arsénico | 91.45% | - |
| Cadmio | - | 61.72% |
| Cromo | - | - |
| Plomo | - | 85.88% |
| Cobre | 79.29% | 89.13% |
| Hierro | 85.48% | 97.62% |
| Mercurio | 99.34% | 99.34% |
| Níquel | 28.04% | 6.84% |
| Antimonio | 59.69% | 35.18% |
| Zinc | 16.35% | 10.92% |

Fuente: Elaboración propia

3.2. Discusión

Efecto del pH

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la superficie y la porosidad. La presencia de oxígeno, hidrógeno y nitrógeno en forma de grupos funcionales en la superficie del carbón ejerce un gran efecto en las propiedades adsorbentes, especialmente frente a moléculas polares o polarizables (Rodríguez, 2007).

Los factores más importantes que influyen en el proceso de adsorción son el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado. La acidez superficial del carbón, la porosidad del adsorbato y el pH de la solución son las variables determinantes en el proceso de adsorción de los iones Cd^{2+} , $\text{Cr}(\text{Total})$ y Pb^{2+} utilizando carbón activado. (Sun-Kou & Obregon, 2014).

Conclusiones

El carbón activado obtenido a partir de *Lemna gibba L.* presenta un diámetro ≤ 2.094 mm de partículas de mayor tamaño y diámetros ≥ 150.5 μm de partículas de menor tamaño. El grado de porosidad presenta entre 10.48 μm y 125.3 μm de diámetro longitudinal del poro. En las pruebas realizadas con el empleo del CA de *Lemna gibba L.* se alcanzó un porcentaje de 99,34% de adsorción del mercurio (Hg), por los métodos de columna de adsorción y remoción por agitación magnética, llegando minimamente a adsorberse níquel (Ni) en un 28,04% por el método de la columna de adsorción y en un 6,84% de adsorción por el método de remoción por agitación magnética.

Las propiedades adsorbentes del carbón activado *Lemna gibba L.* no dependen únicamente de la superficie y la porosidad, sino también de otros factores más importantes que influyen en el proceso de adsorción como el pH de la solución, esto nos indicaría que en soluciones acuosas a pH menores al punto isoeléctrico la superficie del CA se encuentra cargada en forma positiva lo cual crearía repulsiones electroestáticas con los metales pesados como: cromo (Cr), Cadmio (Cd) y plomo (Pb), lo que indicaría el efecto contrario a la adsorción.

Recomendaciones

Desarrollar estudios sobre la capacidad de adsorción de otras biomásas que correspondan a materiales residuales abundantes y de bajo costo, además de realizar investigaciones con variables determinantes como el grado pH y temperatura para la adsorción de los metales pesados de As, Cr, Cd y Pb.

Referencias Bibliográficas

- Babic, B. M., Milonjic, S. K., Polovina, M. J., Cupic, S., & Kaludjerovic, B. V. (2002). Adsorption of zinc, cadmium and mercury ions from aqueous solutions on an activated carbon cloth. *Carbon*, 40(7), 1109–1115. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00256-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00256-1)
- Buelta Serrano, A, M. R. (n.d.). Guía Básica De Control De Calidad De Agua. (ONGAWA, Ed.). Madrid/España: ONGAWA. Retrieved from <http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2015/09/Agua-CAS-revisar2.pdf>
- Chávez Quijada, M. L., & Miglio Toledo, M. (2011). Enseñanza de la Química: REMOCIÓN DE ARSÉNICO POR OXIDACIÓN SOLAR EN AGUAS PARA CONSUMO HUMANO. *Soc. Quím. Perú*, 77(4), 307–314.
- CONDORI, Y. J. (2013). APLICACIÓN DEL AULA TALLER EN EL MANEJO DE LA LENTEJA DE AGUA COMO ABONO ORGÁNICO Y SU INFLUENCIA EN LA ACTITUD AMBIENTAL DE LOS ESTUDIANTES DEL QUINTO GRADO DE SECUNDARIA DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LA CIUDAD DE PUNO 2013. Presentada.
- Covelli, L. J. M., & Lodeiro, A. R. (2013). TÉCNICAS DE PRECONCENTRACIÓN EN EL ANÁLISIS DE METALES TRAZA -Tesis Doctoral – 2013. *FACULTAD DE CIENCIAS DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA - UCA*, 1–567. Retrieved from file:///C:/Users/General/Downloads/Tesis-Hafida-El-Mai-Marzo-2013-metales-pesados.pdf
- Díez Sáez, C; Esteban López, S; Ayala Curiel, J. (2008). Intoxicaciones por hierro y otros metales. In *Mintegi Raso, Santiago. Sociedad Española de Urgencias de Pediatría. Manual de intoxicaciones en pediatría* (pp. 269–280).
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., & Olama, Z. (2014). Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite. *Energy Procedia*, 50, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>
- Lucía, M., Tamayo, C., & María, A. (2010). Redalyc “ Influencia del pH en la bioadsorción de Cr (III) sobre cáscara de naranja : Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo ” Influence of the pH in the Biosorption of Cr (III) on orange shell : Determination of the cond, (lii).
- Morales, C. J. (2007). ESTUDIO PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS. *Universidad Nacional de Colombia*, 1–96.

- Retrieved from file:///C:/Users/General/Downloads/claudiajohanamorales.2007.pdf
- Nordberg, G., Langard, S., Sunderman, F. W., Mager Stellman, J., Osinsky, D., Markkanen, P., ... Atsdr. (2001). Metales: propiedades químicas y toxicidad. *Enciclopedia de Salud Y Seguridad En El Trabajo*, 1–76.
- Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Macías-García, A., & Gómez-Serrano, V. (2012). Preparation of activated carbon from cherry stones by physical activation in air. Influence of the chemical carbonisation with H₂SO₄. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.019>
- PAREDES DOIG, A. L. (2011). ESTUDIO DE LA ADSORCION DE COMPUESTOS AROMATICOS MEDIANTE CARBON ATIVADO PREPARADO A PARTIR DE CASCARA DE CASTAÑA. *Test*. Perú. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pedro, A. (2008). Lead effects on humans. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(Universidad Nacional Mayor de San Marcos Perú), 120–126.
- Peña, Y. P. De, Rondón, W., & Carrero, P. (2010). Determinación de níquel en cereales y derivados mediante extracción y preconcentración en línea con detección por EAA.
- Ramírez-Díaz, M. I., Riveros-Rosas, H., Campos-García, J., & Cervantes, C. (2009). Reducción Bacteriana de Cromo Hexavalente: Mecanismos y Aplicaciones. *Reb*, 28(3), 73–79.
- Ramirez, A. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico - Actualización bibliográfica para investigación científica. *Anales de La Facultad de Medicina*, 74(3), 237–247.
- Rubio, C., González Weller, D., Martín-Izquierdo, R. E., Revert, C., Rodríguez, I., & Hardisson, A. (2007). El zinc: Oligoelemento esencial. *Nutricion Hospitalaria*, 22(1), 101–107.
- Sevilla, U. P. (2002). Manual Del Carbón Activo. *Aula.Aguapedia.Org*, 1–89. Retrieved from http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod_resource/content/1/CARBoN ACTIVO DEFINITIVO tar.pdf
- Universidad de Chile, D. de ingeniería C. (2006). *TUTORIAL DE AQUACHEM 4.0*. Chile. Retrieved from http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Hidro_MOD5/Tutorial AQUACHEM.pdf

Anexos

Panel fotográfico



Presencia de lenteja de agua en el lago Titicaca



Selección de lenteja de agua como materia prima para elaborar carbón activado



Secado de lenteja de agua previo al proceso de carbonización



Limpieza de impurezas en el secado de la lenteja de agua



Impregnación de ácido fosfórico para la elaboración de carbón activado



Equipo de Mufla para la obtención de carbón activado



Obtención del carbón activado de 500°C a 600 °C



Lavado del carbón activado hasta llevar el pH a 7 aproximadamente



Adsorción de metales pesados y metales generales a través de columna de adsorción



Lunar de oro – Centro poblado la rinconada



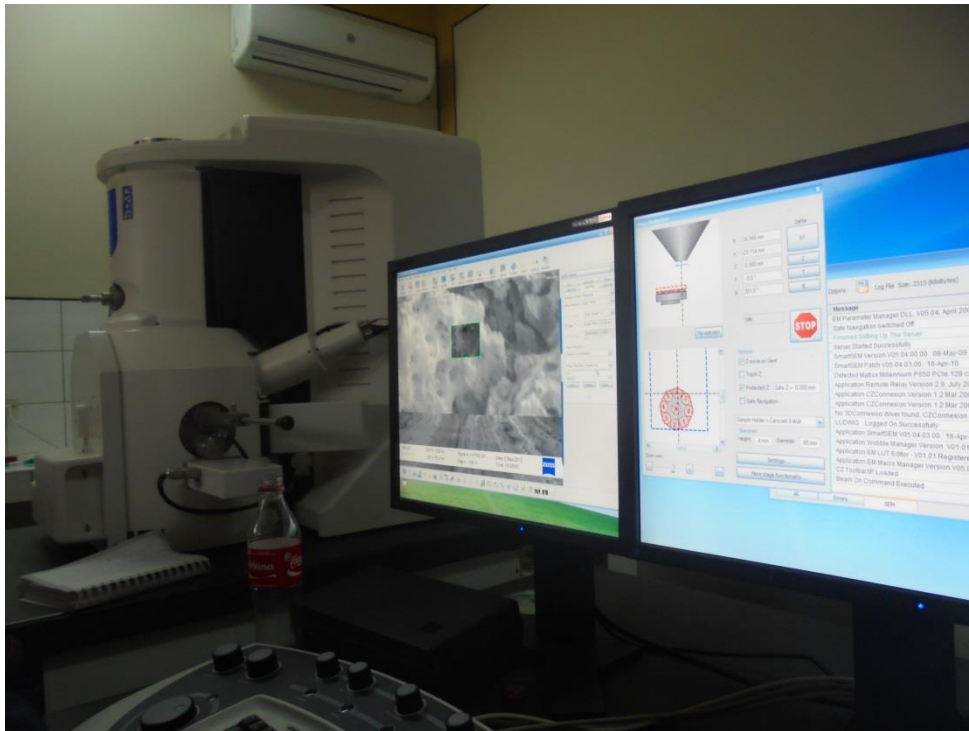
Muestreo de aguas superficiales



Trabajo en campo del equipo técnico del semillero “Reto Ambiental”



Equipo técnico de semilleros de investigación “reto ambiental”



Trabajo de microscopia electrónica de barrido

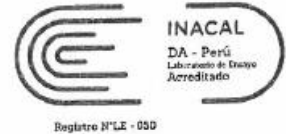


Remoción de metales pesados por agitación magnética



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-15-05872

Pág: 1/4


Hoja de datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 Dirección: AV. NUEVA ZELANDIA NRO. 631 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 Proyecto: ----
 Nro de muestras: 2
 Toma de muestra realizado por: Cliente: Wilmer Ramiro Inofuente Carita
 Registro de muestreo: 236-15
 Fecha de recepción: 06/10/2015
 Fecha de ensayo: 06/10/2015
 Fecha de emisión: 10/10/2015
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: Datos proporcionados por el cliente

Metodo de ensayo aplicado

- 802 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 800 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Mercurio (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

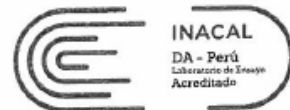
| Cod Int. # | Nombre de muestra | Matriz de la muestra | Lugar de muestreo | Punto de muestreo y/o coordenadas | Fecha de inicio de muestreo | Hora de inicio de muestreo |
|------------|-------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| AG15000865 | MUESTRA N° 01 | Agua Residual - Agua Residual Industrial | LUNAR DE ORO / ANANEA / SAN ANTONIO DE PUTINA / PUNO | S 14°37'31.5" W 69° 27' 08,7" | 04/10/15 | 01:10 p.m. |
| AG15000866 | MUESTRA N° 02 | Agua Residual - Agua Residual Industrial | LUNAR DE ORO / ANANEA / SAN ANTONIO DE PUTINA / PUNO | S 14°37'31,5" W 69° 27' 08,7" | 04/10/15 | 01:12 p.m. |


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



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-15-05872


10/10/2015

Hoja de resultados

Pág.: 2/4

MT=metales totales

| Código Interno # | Nombre de Muestra | 802 Ag MT mg/L | 802 Al MT mg/L | 796 As MT mg/L | 802 B MT mg/L | 802 Ba MT mg/L | 802 Be MT mg/L | 802 Ca MT mg/L | 802 Cd MT mg/L | 802 Co MT mg/L | 802 Cr MT mg/L |
|------------------|-------------------|------------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| AG15000865 | MUESTRA N° 01 | a<math> < 0,0024 </math> | 36,5 | 1,294 | a<math> < 0,0053 </math> | 0,08519 | 0,016672 | 172 | 0,02683 | 0,477325 | 0,02759 |
| AG15000866 | MUESTRA N° 02 | a<math> < 0,0024 </math> | 36,3 | 1,268 | a<math> < 0,0053 </math> | 0,07115 | 0,016560 | 171 | 0,02720 | 0,473429 | 0,02503 |


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



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-15-07546

Pág: 1/4


Hoja de datos

Señores: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 Dirección: AV. NUEVA ZELANDIA NRO. 631 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
 Atención: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
 Proyecto: ---
 Nro de muestras: 4
 Toma de muestra realizado por: Cliente: Wilmer Ramiro Inofuente Carita
 Registro de muestreo: 302-15
 Fecha de recepción: 09/12/2015
 Fecha de ensayo: 09/12/2015
 Fecha de emisión: 17/12/2015
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras previamente preservadas
 Observaciones: Datos proporcionados por el cliente

Metodo de ensayo aplicado

- 802 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
 796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
 800 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Mercurio (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

| Cod Int. # | Nombre de muestra | Matriz de la muestra | Lugar de muestreo | Punto de muestreo y/o coordenadas | Fecha de inicio de muestreo | Hora de inicio de muestreo |
|------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| AG15001095 | MA- ADSORCION | Agua de Proceso - Agua Purificada | URB. CAPILLA/JULIACA/SAN ROMAN/ PUNO | S 152916,1 W 700859,4 | 17/11/15 | 11:20 a.m. |
| AG15001096 | MB-ADSORCION | Agua de Proceso - Agua Purificada | JULIACA/SAN ROMAN/ PUNO | S 152916,1 W 700859,5 | 18/11/15 | 11:00 a.m. |
| AG15001097 | MC- ADSORCION | Agua de Proceso - Agua Purificada | JULIACA/SAN ROMAN/ PUNO | S 152916,1 W 700859,6 | 19/11/15 | 11:05 a.m. |
| AG15001098 | MD- ADSORCION | Agua de Proceso - Agua Purificada | JULIACA/SAN ROMAN/ PUNO | S 152916,1 W 700859,7 | 23/11/15 | 12:27 p.m. |


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



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS-15-07546

Hoja de resultados

17/12/2015

Pág.: 2/4

MT=metales totales

| Codigo Interno # | Nombre de Muestra | 802 Ag MT mg/L | 802 Al MT mg/L | 796 As MT mg/L | 802 B MT mg/L | 802 Ba MT mg/L | 802 Be MT mg/L | 802 Ca MT mg/L | 802 Cd MT mg/L | 802 Co MT mg/L | 802 Cr MT mg/L | 802 Cu MT mg/L |
|------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| AG15001095 | MA- ADSORCION | <0,0024 | 3,62 | 0,1494 | <0,0053 | 0,62330 | <0,000079 | >250 | 0,00085 | 0,061475 | 0,05329 | 0,0144 |
| AG15001096 | MB-ADSORCION | <0,0024 | 17,4 | 0,1075 | 0,5189 | 0,03120 | 0,013021 | 175 | 0,26261 | 0,505159 | 0,01231 | 0,0620 |
| AG15001097 | MC- ADSORCION | <0,0024 | 4,46 | 0,0717 | 0,1270 | 0,06619 | 0,001226 | 219 | 0,09796 | 0,636160 | 0,04693 | 0,0253 |
| AG15001098 | MD- ADSORCION | <0,0024 | 18,1 | 6,977 | <0,0053 | 0,10292 | 0,012734 | 187 | 0,01034 | 0,437754 | 0,01816 | 0,0178 |

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