



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE BIOADSORCIÓN DE METALES PESADOS DE DRENAJE ACIDO DE MINA UTILIZANDO CASCARA DE LIMÓN”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Irvin Arlinst Valverde Rodriguez

Asesor:

M. Cs. Juan Carlos Flores Cerna

ORCID: **0000-0001-7638-3456**

Cajamarca – Perú

2022

DEDICATORIA

Siempre agradecido profundamente a mis padres Maritza y Wilmer por ser ejemplo de lucha, a ellos por todo su apoyo incondicional que me siguen brindando.

A mis abuelos Lidia y Bernardo por todo el tiempo brindado, a ella por ser una sobreviviente después de todo lo que ha pasado, a él en la eternidad.

A mi hermano Wilmer por todos los ánimos brindados para seguir estudiando, a mi cuñada Ingrid, sobrinos Sebastián y Dafne.

A todos los caídos de esta coyuntura pandémica.

Disculpen si me olvidé de mencionar a alguien.

AGRADECIMIENTO

Al M. Cs. Juan Carlos Flores Cerna, por su apoyo en el asesoramiento de la presente tesis, por su tiempo y dedicación.

A Maritza Vásquez Valerio por el tiempo e ideas brindadas para desarrollar esta investigación.

A mis amigos del Laboratorio Regional del Agua, en especial al señor Freddy López León por el apoyo y en el procesamiento de las muestras y las ideas brindadas.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| DEDICATORIA..... | 2 |
| AGRADECIMIENTO..... | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| RESUMEN | 8 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| CAPÍTULO II. MÉTODO..... | 23 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 30 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 43 |
| REFERENCIAS..... | 57 |
| ANEXOS | 63 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1: Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-Metalúrgicas. | 13 |
| Tabla 2: Datos de campo de la muestra de drenaje ácido de mina. | 30 |
| Tabla 3: Resultados de las concentraciones iniciales encontradas en drenaje ácido de mina. | 30 |
| Tabla 4: Resultados de las concentraciones de metales pesados del Grupo experimental 1, conteniendo 10 g de cáscara de limón por litro de drenaje ácido de mina, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 32 |
| Tabla 5: Resultados de las concentraciones de metales pesados del Grupo experimental 2, conteniendo 20 g de cáscara de limón por litro de drenaje ácido de mina, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 33 |
| Tabla 6: Resultados de las concentraciones de metales pesados del Grupo experimental 3, conteniendo 30 g de cáscara de limón por litro de drenaje ácido de mina, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 34 |
| Tabla 7: Promedio de la concentración de metales pesados del grupo experimental 1, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 35 |
| Tabla 8: Promedio de la concentración de metales pesados del grupo experimental 2, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 35 |
| Tabla 9: Promedio de la concentración de metales pesados del grupo experimental 3, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 36 |
| Tabla 10: Porcentaje de biosorción del grupo experimental 1, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 36 |
| Tabla 11: Porcentaje de biosorción del grupo experimental 2, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 37 |
| Tabla 12: Porcentaje de biosorción del grupo experimental 3, evaluados en diferentes periodos de tiempo. | 38 |

| | |
|---|-----------|
| Tabla 13: Porcentaje de biosorción del Arsénico. | 39 |
| Tabla 14: Porcentaje de biosorción del Cadmio. | 39 |
| Tabla 15: Porcentaje de biosorción del Cobre. | 40 |
| Tabla 16: Porcentaje de biosorción del Plomo. | 40 |
| Tabla 17: Porcentaje de biosorción del Zinc. | 41 |
| Tabla 18: Coeficientes de correlación de Pearson (r) para la biosorción de metales pesados de drenaje ácido de mina usando cáscara de limón. | 42 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Diagrama de procedimiento experimental. | 27 |
| Figura 2: Porcentaje de Biosorción de cada metal del Grupo 1, en diferentes periodos de tiempos. | 44 |
| Figura 3: Porcentaje de Biosorción de cada metal del Grupo 2, en diferentes periodos de tiempos. | 44 |
| Figura 4: Porcentaje de Biosorción de cada metal del Grupo 3, en diferentes periodos de tiempos. | 45 |
| Figura 5: Comparación de porcentaje de Biosorción de Arsénico en los diferentes grupos. | 49 |
| Figura 6: Comparación de porcentaje de Biosorción de Cadmio en los diferentes grupos. | 50 |
| Figura 7: Comparación de porcentaje de Bioadsorción de Cobre en los diferentes grupos. | 51 |
| Figura 8: Comparación de porcentaje de Bioadsorción de Plomo en los diferentes grupos. | 52 |
| Figura 9: Comparación de porcentaje de Bioadsorción de Zinc en los diferentes grupos. | 53 |

RESUMEN

En este trabajo se ha evaluado el porcentaje de bioadsorción de metales pesados de drenaje ácido de mina utilizando cáscara seca de limón, la cual se obtuvo de los residuos orgánicos de una cevichería, el drenaje ácido se obtuvo de una bocamina de la zona conocida como el Sinchao-Hualgayoc- Cajamarca, se analizaron las concentraciones iniciales de los metales a evaluar. La biomasa fue lavada, picada y secada en una estufa a 60° C. se formaron 3 grupos experimentales, el grupo experimental 1 (G1) se trabajó con 10 g de cáscara por 1 L de drenaje ácido de mina; G2 se trabajó con 20 g de cáscara por 1 L y G3 se trabajó con 30 g de cáscara por 1 L; se evaluó la concentración de estos metales a las 2, 4, 6 y 8 horas de contacto del drenaje con el material bioadsorbente. Se determinó que el cobre tuvo una mejor remoción (87%) y esto se logró en el G2, el plomo ocupó el segundo lugar con un 77.2% en el G1, el cadmio ocupó el tercer lugar con un 69.1% en el G3, el cuarto fue el zinc con un 63.4% en el G3 y finalmente el arsénico fue el que más bajo porcentaje se obtuvo con un 32% en el G3.

Palabras clave: Porcentaje de bioadsorción, drenaje ácido de mina, metales pesados y cáscara de limón.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Los drenajes ácidos de antiguos minados de la minería metálica son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo. Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo. Estos drenajes son tóxicos en diversos grados para el hombre, la fauna y la vegetación, contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y escombreras de mina. Existen reportes de la muerte de miles de peces y crustáceos de ríos, afecciones ha ganado y destrucción de cultivos y riveras, así como la introducción de una coloración y turbiedad en aguas de ríos y lagos (Aduvire, 2006, p.1).

La generación de ácidos de mina, su liberación, movilidad y atenuación implican algunos procesos complejos acompañados por una combinación de factores físicos, químicos y biológicos; por ejemplo, la geología de la región de mineralización, microorganismos, temperatura y la disponibilidad de agua y oxígeno (Corzo, 2015, p. 39). Estos drenajes ácidos de mina además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre. Debido al

elevado coste que representa el tratamiento en depuradoras convencionales es necesario buscar una solución a este problema (Aduvire, 2006, p. 1).

La constante preocupación debido a la contaminación ambiental ha dado como resultado un incremento en la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta. Como resultado, la introducción de tecnologías limpias en la gran mayoría de procesos industriales ha logrado disminuir las descargas de sustancias contaminantes al medio ambiente. A pesar de todo, en la mayoría de las empresas todavía se generan aguas residuales con concentraciones bajas de sustancias contaminantes (Villanueva, 2006, p. 11).

Entre los procesos comúnmente utilizados para tratar efluentes con metales pesados se encuentran: carbón activado, intercambio iónico, extracción con solventes, micro/nano/ultrafiltración, osmosis inversa y flotación no convencional. Algunos de estos procesos pueden llegar a ser muy costosos, implicando elevados costos de operación y requerimientos energéticos, lo que ocasiona que los micro y pequeños empresarios no tengan acceso a ellos y generalmente opten por verter sus aguas residuales a fosas sépticas comunes o incluso a pozos profundos (Villanueva, 2006, p. 11).

Sin embargo, la necesidad de conseguir métodos económicos y más efectivos para la eliminación de los metales pesados ha tenido como resultado el desarrollo de novedosas tecnologías de separación. Entre ellos, existen varios procesos que están siendo investigados con el fin de retirar metales pesados de residuos líquidos, destacando: la precipitación extracelular, la biosorción y la captación a través de biopolímeros purificados

y de otras moléculas especializadas derivadas de células microbianas, basadas las dos últimas en la capacidad de los metales para unirse por distintos mecanismos a materiales biológicos (Pagnanelli, et al. 2005, p. 1641).

Uno de los procesos por el cual se puede retirar metales pesados del agua es la biosorción la cuál captura estos elementos metálicos mediante el uso de biomasa completa (viva o muerta) a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva los mecanismos metabólicos de captación también pueden contribuir en el proceso. Todo esto involucra dos fases una sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente es agua) que contiene las especies disueltas que van a ser adsorbidas en toda su estructura (sorbato, en iones metálicos) (Acosta, et al. 2012, p. 913).

Se sabe que en Perú tenemos diferentes sectores industriales los cuales son fuentes de contaminación de metales pesados según su actividad que realizan entre ellos tenemos: la minería como principal fuente de contaminación de metales pesados nocivos para el medio ambiente y para la salud, ya que muchas mineras dejaron al descubierto muchos de sus pasivos ambientales que en la actualidad constituyen un riesgo permanente para el ecosistema circundante y potencial para la salud de la población. También nos podemos enfocar en otros sectores industriales tales como: sector siderúrgico, hidrocarburos, galvanoplastia, industria del cemento, colorantes, curtiembre, farmacéuticas, laboratorios de minerales, producción de energía, fabricación de baterías, fabricación de textiles, pinturas, pigmentos y tintes.

El departamento de Cajamarca presenta distintos problemas ambientales ocasionados principalmente por la minería que se asentó, tal es el caso del centro minero El Sinchao que está ubicado en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, en donde se observan pasivos ambientales mineros como lo indica Dávila y Walter (2018), quien señala que dicho paraje incluye 07 socavones, 02 zonas en las que se encuentran grandes cantidades de tierra (Desmontes), 01 cancha de relave. (p.14)

El distrito de Chugur se encuentra localizada la Quebrada del Sinchao, en dicha quebrada se han observado anteriormente diferentes problemas causados por actividades mineras realizadas en sus alrededores, es así como se identificaron 17 pasivos Ambientales Mineros, consistentes en tajos abiertos, depósitos de relaves, bocaminas, que generan efluentes ácidos que discurren hacia la quebrada de El Sinchao. Por tal motivo el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) como su primer proyecto realizó el diseño de una planta de tratamiento de aguas ácidas, a fin de evitar que las concentraciones de las aguas descargadas a la quebrada superen los niveles máximos permisibles establecidos. (Dávila y Walter, 2018, p. 18).

La mayor cantidad de pasivos ambientales mineros están concentrados en el distrito de Hualgayoc, la actividad minera en esta zona está presente desde hace 250 años, producto de ello han destruido toda clase de vida animal y vegetal en las cuencas de los ríos Hualgayoc-Arascorgue y Tingo-Maygasbamba, esta continua contaminación es producto de los 1253 pasivo ambientales (desperdicios mineros dejados por empresas mineras y el estado) abandonados por quienes durante más de dos siglos y medio dejaron

a la deriva relaves mineros con alto contenido de plomo, manganeso, cianuro y otras sustancias contaminantes utilizadas en esta actividad. (Herrera, 2013, p. 266).

El Perú no es ajeno a la realidad y problemática ambiental la cual nos viene acechando desde hace décadas, para ello el gobierno cuenta con el Ministerio del Ambiente MINAM, que es el órgano encargado de velar por el medio ambiente y los ecosistemas que lo rodean. En agosto del 2010 se promulgo el Decreto Supremo N°010-2010-MINAM, el cual aprueba los parámetros y Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minera.

Tabla 1:

Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero- Metalúrgicas.

| Parámetro | Unidad | Límite en cualquier momento | Límite para el promedio anual |
|-----------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| pH | | 6-9 | 6-9 |
| Sólidos totales suspendidos | mg/L | 50 | 25 |
| Aceites y grasas | mg/L | 20 | 16 |
| Cianuro total | mg/L | 1 | 0.8 |
| Cadmio total | mg/L | 0.05 | 0.04 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 0.1 | 0.08 |
| Cobre total | mg/L | 0.5 | 0.4 |
| Hierro (disuelto) | mg/L | 2 | 1.6 |
| Plomo total | mg/L | 0.2 | 0.16 |
| Mercurio total | mg/L | 0.002 | 0.0016 |
| Zinc total | mg/L | 1.5 | 1.2 |

Nota: tomado de Ministerio del Ambiente 2010.

1.1.1 Antecedentes

Marshall y Espinoza, (2016) en su investigación desarrollada en Guayaquil - Ecuador “Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas” El cual trabajó en dos fases; la 1era. consiste en trabajar con cáscaras de cítricos molidas sin reticulación solamente reguladas a pH ligeramente ácido entre 4-6 con (HCl 0.1M) lo cual favorece la biosorción. La 2da. fase trabajó con cáscaras de cítricos reticuladas con una solución de CaCl_2 0.2 M reguladas a pH 5 (HCl 0.1M); tomando los mejores resultados obtenidos de la primera etapa experimental con el objetivo de incrementar el poder biosorbente. Se evaluaron los porcentajes, eficiencias y las cinéticas de biosorción dando los mejores resultados para las cáscaras de toronja, 93.54% de biosorción de plomo utilizando 3.0 g de biosorbente con un tamaño de partícula de 630 μm , para la cáscara de limón, 96.08% utilizando 1.5 g de biosorbente con un tamaño de partícula de 630 μm . (p.16)

En la tesis desarrollada en Nicaragua de: García y Granillo, (2017) “Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensislinnosbeck*), laboratorios de química UNAM-Managua, II semestre 2016.” Preparó carbón activado a partir de la cascara de naranja proveniente del proceso de manufactura de una agroindustria de ese país. En dicha investigación apunta a aumentar el rendimiento económico y productivo de pymes y microempresas al brindarle valor agregado a los desechos orgánicos provenientes de sus procesos, dando pauta a las procesadoras de Nicaragua a incrementar el aprovechamiento de todos los subproductos. (P.8)

Villanueva (2006) en su tesis: “Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus limonium* (limón) y *Opuntia ficus* (palmeta de nopal)”. Las biomásas que utilizó fueron tratadas con cloruro de calcio, el cual le da una mayor estabilidad mecánica al material biosorbente. Los experimentos sobre el efecto del pH en el proceso de biosorción de Cu (II) por los materiales biosorbentes mostraron que el rango óptimo de pH se encuentra entre 4.5 – 5.0. Los datos experimentales obtenidos se procesaron usando las ecuaciones de adsorción de Langmuir y Freundlich. La máxima capacidad de biosorción de Cu (II) por las biomásas fueron: 36.1011 mg/g para la cáscara de *Citrus sinensis*; 47.0436 mg/g para cáscara de *Citrus limonium* y 44.2567 mg/g para el *Opuntia ficus*. (P.7)

Armijo et al. (2009) en la investigación “Biosorción de Cr (VI) por cáscara de limón, *Citrus limonium*, modificada”. Realizaron ensayos de biosorción con cromo (VI) y utilizaron cáscara de limón, *Citrus limonium*, que fue modificada. La cáscara de limón original pasa primero por la etapa de desmetoxilación con hidróxido de sodio, 0.2 M, pH 10; y en la segunda etapa es sometida a un proceso de reticulación con solución de bicloruro de calcio, 0.2 M, pH 2. Los ensayos muestran que el cromo (VI) es removido de las soluciones acuosas, hasta un 75% de su concentración inicial en veinte minutos. (P.45)

Alvarado (2017). En su tesis: “Efecto del tiempo de residencia y tamaño de partícula en la reducción de plomo mediante bioadsorción con *Citrus cinensis* en efluente minero del C.P. tambillo – Cajamarca, 2017”. En la experimentación que hizo utilizó una solución con contenidos de plomo el cual fue sometido a diferentes tiempos de residencia los tiempos

fueron de 1, 2 y 3 horas, y también a diferentes tamaños de partículas del *Citrus cinensis* que fueron de 0.4 mm, 0.6 mm y 0.8 mm, con una concentración inicial de plomo de 98.93 ppm. Obtuvo como resultado que la reducción de plomo (concentración inicial: 98.93 ppm) a 1.0 hora y con 0.4 mm de tamaño de grano de *Citrus cinensis* fue de 95.12 % (4.83 ppm Pb) y a medida que el tiempo de residencia aumentaba y el tamaño de partícula disminuía, la reducción de plomo aumentaba, es así como se llegó a obtener una recuperación de 99.73 % (0.27 ppm Pb) a un parámetro de 2.0 horas y 0.4 mm de tamaño de partícula del *Citrus cinensis*. (P.11)

1.1.2 Definiciones Conceptuales

- Bioadsorción: Se entiende por bioadsorción la técnica de eliminación de compuestos en disolución utilizando diferentes tipos de biomasa muerta que actúa mediante procesos no metabólicos. Este término hace referencia a un tipo de adsorción basado en el uso de una fase sólida, el adsorbente, que puede ser cualquier tipo de biomaterial o biomasa. El prefijo “bio” significa que el adsorbente es de origen biológico, es decir, la superficie de contacto con el contaminante será una matriz biológica (Chojnacka, 2010, p.299)
- Adsorción: Este proceso consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido, en este fenómeno superficial se denomina adsorbato al soluto y adsorbente a la fase sobre la cual se acumula; En estos procesos la sustancia queda adsorbida en la superficie del adsorbente mediante fuerzas físicas (fuerzas electrostáticas o de Van der Waals), este proceso tiene lugar sobre una gran variedad de materiales, entre ellos destacan: carbón activo, óxidos de hierro

y aluminio, arcilla, materiales sintéticos y otros sustratos de diferentes orígenes.

La capacidad de adsorción de un material es función de su superficie interna y externa, es por ello por lo que los materiales altamente porosos facilitan el contacto entre el adsorbato y los lugares activos del material adsorbente (Ordoñez, 2014, p. 24).

Este proceso es continuo hasta que alcance la concentración del sorbato disuelto en la solución y la concentración de sorbato presente sobre el biosorbente (concentración de equilibrio o final); caracterizada por la saturación del sorbato en el biosorbente. (Santos, 2010, p. 15).

La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas y iones; para que el proceso se pueda realizar con éxito, debe existir una gran afinidad entre los grupos funcionales del biosorbente y el contaminante, ya que este último debe ser atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos (Marshall y Espinoza, 2016, p.39).

- **Arsénico**

El arsénico es un metaloide, cristalino de un color gris y no es tóxico. Es utilizado en aleaciones con el fin de aumentar su dureza y resistencia al calor, como en las aleaciones con plomo para la fabricación de municiones y de baterías de polarización. También se utiliza para la fabricación de ciertos tipos de vidrio, como componente de dispositivos eléctricos y como agente de adulteración en los productos de germanio y silicio en estado sólido (Hughes et al. 2011, p. 125).

La forma más tóxica en la que se puede encontrar al arsénico es cuando se encuentra como anhídrido arsenioso que reacciona muy lentamente en el agua transformándose en ácido arsenioso (Juan de Dios, 2018, p. 26).

Las principales fuentes de exposición son: el agua destinada a consumo humano, los cultivos regados con agua contaminada y los alimentos preparados con agua contaminada (Gisbert, 2001, p. 1021).

Algunos compuestos de arsénico se pueden solubilizar fácilmente en agua y, de ahí, ser tomados por los microorganismos, dando lugar a altos niveles de biodisponibilidad. Debido a su toxicidad, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera perjudicial para el ser humano el consumo de agua con una concentración de arsénico superior a 10 (23, 24) mg/L. (Gisbert, 2001, p. 1021).

- **Cadmio**

Es un metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño (Gisbert, 2001, p. 1056)

Las principales fuentes de contaminación son: la minería metalúrgica de metales no ferrosos, del hierro y acero, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de madera, carbón o "plásticos", la combustión de aceite y gasolina y las aplicaciones industriales de cadmio (Gisbert, 2001, p. 1056).

El cadmio ingresa al organismo por inhalación, ingestión y por vía cutánea. El tamaño y la solubilidad de las partículas inhaladas determinan la concentración y la posibilidad de difusión del cadmio de los pulmones hacia la sangre (Gisbert, 2001, p. 1057).

- Cobre

El cobre es un metal rojo que aparece en la naturaleza principalmente como compuestos de Cu (I) y Cu (II), que presentan propiedades muy distintas al metal.

Una de las mayores aplicaciones es su utilización como conductor, ya que, además de la plata, el cobre es el elemento que presenta mejores propiedades para conducir el calor y la electricidad. También se emplea cobre en tuberías, utensilios de cocina, en material químico y farmacéutico y como pigmento (Ernest y Thomas, 1991, p.350).

Se trata de un elemento esencial para el ser humano, sin embargo, grandes dosis pueden resultar extremadamente tóxicas para los organismos vivos. Algunas evidencias indican que incluso puede ser un elemento carcinogénico. Puede causar daños a la fauna acuática y es fitotóxico (Mudhoo et al. 2012, p.806.); (Wase y Forster, 1997, p.148).

- Plomo

El plomo está considerado como una sustancia tóxica que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos potencialmente dañinos para los niños de corta edad, quienes son más vulnerables al plomo porque su organismo tiende a absorber mayores cantidades de este metal en caso de carencia de otros nutrientes, como el calcio. El plomo se distribuye en el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo (Laura, 2018, p. 8)

- Zinc

El zinc (Zn) considerado un micronutriente muy importante que participa en el crecimiento de las algas. Los sistemas biológicos lo necesitan como factor estructural y catalítico de proteínas y enzimas; así como, ingrediente vital para el desarrollo normal de los organismos. En exceso, este micronutriente y otros metales pesados relacionados como el cadmio, el mercurio y el plomo, pueden ser extremadamente tóxicos para las células, inhibiendo actividades enzimáticas, cuando las condiciones naturales son excedidas. El zinc, ocasiona fitotoxicidad, interfiriendo fuertemente con la segmentación celular, interviniendo en el desarrollo, crecimiento y la regulación de las estructuras de las plantas (Romero, 2017, p. 16).

Siendo el Perú un gran productor y consumidor de cítricos y de sus derivados ya sea para en su gastronomía y para diferentes fines que se pueda utilizar. Sin embargo, por la escasa o nula difusión de las diferentes características que tiene la cascara de limón no se presta la atención debida y son considerados residuos no aprovechables desperdiciándose y terminando en los diferentes botaderos que hay en el país.

Esta investigación tiene por justificación, el aprovechamiento de los desechos orgánicos ya que, de esta manera, podríamos reducir dos grandes problemas de índole ambiental que serían: 1) la contaminación de aguas por metales pesados de efluentes mineros, 2) la disminución de residuos orgánicos generados ya sea en el domicilio, microempresa o agroindustria, mediante un método práctico de remediación de bajo

costo, para el tratamiento de aguas ácidas de mina. Este tratamiento consiste en el uso de cáscara de limón picada y secada la cual se evaluará la cantidad de su masa y el tiempo de contacto con el drenaje ácido de mina, que se obtuvo del área denominada el Sinchao ubicada en el distrito minero de Hualgayoc, Cajamarca, la cual fue tomada en el mes de abril del presente año.

Hoy en día las leyes medio ambientales de los diferentes sectores Industriales han conllevado a buscar nuevas tecnologías y alternativas de solución, se sabe que el proceso para la obtención de minerales genera miles de litros de drenaje ácido de las diferentes del agua contaminándolas con metales pesados y bajar su pH. El presente trabajo busca aprovechar los residuos que generan las Agroindustrias y pequeñas empresas (cevicherías, restaurantes, juguerías) que en su línea de proceso se obtenga como residuos la cáscara del limón (*Citrus limonum*), teniendo así una buena alternativa de biorremediación. En este sentido, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

1.2 Formulación del problema

¿Cómo será el comportamiento de la bioadsorción de metales pesados de drenaje ácido de mina utilizando cáscara de limón?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la bioadsorción de metales pesados de drenaje ácido de mina utilizando cáscara de limón.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc del drenaje ácido de mina previos a evaluar la cascara de limón como material bioadsorbente.
- Determinar las concentraciones de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc del drenaje ácido de mina después de la bioadsorción con cascara de limón.
- Determinar la cantidad de cáscara de limón y tiempo óptimos para lograr bioadsorber la mayor cantidad de metales pesados.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

- La de cáscara de limón tiene la capacidad de remover los metales pesados del drenaje ácido de mina mediante el proceso de bioadsorción.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Las concentraciones de metales pesados en el drenaje ácido de mina se encuentran por encima de los límites máximos permisibles.
- Los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina tienden a adsorberse por la cascara de limón.
- La capacidad óptima de bioadsorción de metales está relacionada con el tiempo de exposición y la cantidad de cascara de limón.

CAPÍTULO II.

MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación según su naturaleza de datos tiene un enfoque cuantitativo basados en la medición de la concentración de metales pesados en el drenaje ácido de mina luego de un determinado tiempo de exposición al bioadsorbente de cáscara de limón; por la manipulación de las variables es de tipo experimental, ya que podemos medir el efecto de la variable independiente (capacidad de bioadsorción) sobre la variable dependiente (eliminación de metales pesados); de acuerdo al propósito de la investigación es aplicada nos enfocamos en la eliminación de los metales como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc. Por su profundidad es explicativa ya que no solo pretende observar variables, sino estudiar el efecto que tiene una de ellas sobre la otra.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población de esta investigación es el drenaje ácido de mina, el cual se encuentra situada en el área el Sinchao- Hualgayoc, Cajamarca, donde hay diversos pasivos ambientales.

2.2.2. Muestra

Como muestra se extrajeron 10 L del drenaje ácido de mina ubicado en la siguiente coordenada: E 758263, N 9256629 y a una altura de 3777 m.s.n.m.

2.3. Materiales, equipos y reactivos

2.3.1. Materiales

- Recipiente de plástico
- 10 botellas de 1 L de polietileno
- Agua de destilada
- Cooler
- Guantes
- Cadena de custodia
- Plumón indeleble
- Libreta de campo
- Vasos de precipitación de 1 L
- Cuchillo
- Pipeta graduada
- Probetas de 1 L
- Cáscara de limón
- Bolsa ziploc
- Recipiente de aluminio
- Bombilla de goma
- Cinta indicadora de pH

2.3.2. Equipos

- Multiparámetro
- GPS de Marca Garmin

- Agitador magnético
- Estufa
- Balanza analítica
- Cámara fotográfica

2.3.3. Reactivo

- Ácido nítrico al 50 % para la preservación de la muestra.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Punto de muestreo y recolección de la muestra de drenaje ácido.

El punto de muestreo es conocido como el área de Sinchao, ubicado en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca.

Para la recolección de la muestra se realizó de acuerdo con el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales” (Resolución Jefatural N° 010-2016- ANA), teniendo en cuenta las medidas de seguridad para una toma de muestra segura.

Se llegó a la zona establecida, ubicando un punto accesible para poder realizar la toma de muestra. La bocamina que se selecciono estaba al costado de la carretera, el drenaje que sale se mezcla con el agua de un canal que pasa a unos 50 metros aproximadamente, para una mejor ubicación del punto se utilizó un GPS de marca Garmin para que nos de las coordenadas, seguidamente buscamos un ingreso seguro para poder ubicar los equipos y realizar el trabajo de campo.

Primero se procedió hacer la medición del pH y la conductividad, se anotó en libreta de campo, posteriormente se tomó la muestra de drenaje ácido en 10 frascos de 1 litro y se transportó en cooler hasta el lugar de experimentación.

2.4.2. Preparación del material bioadsorbente

De acuerdo con la finalidad de la presente investigación, la cáscara de limón que se usó como bioadsorbente se obtuvo de los residuos orgánicos de una cevichería.

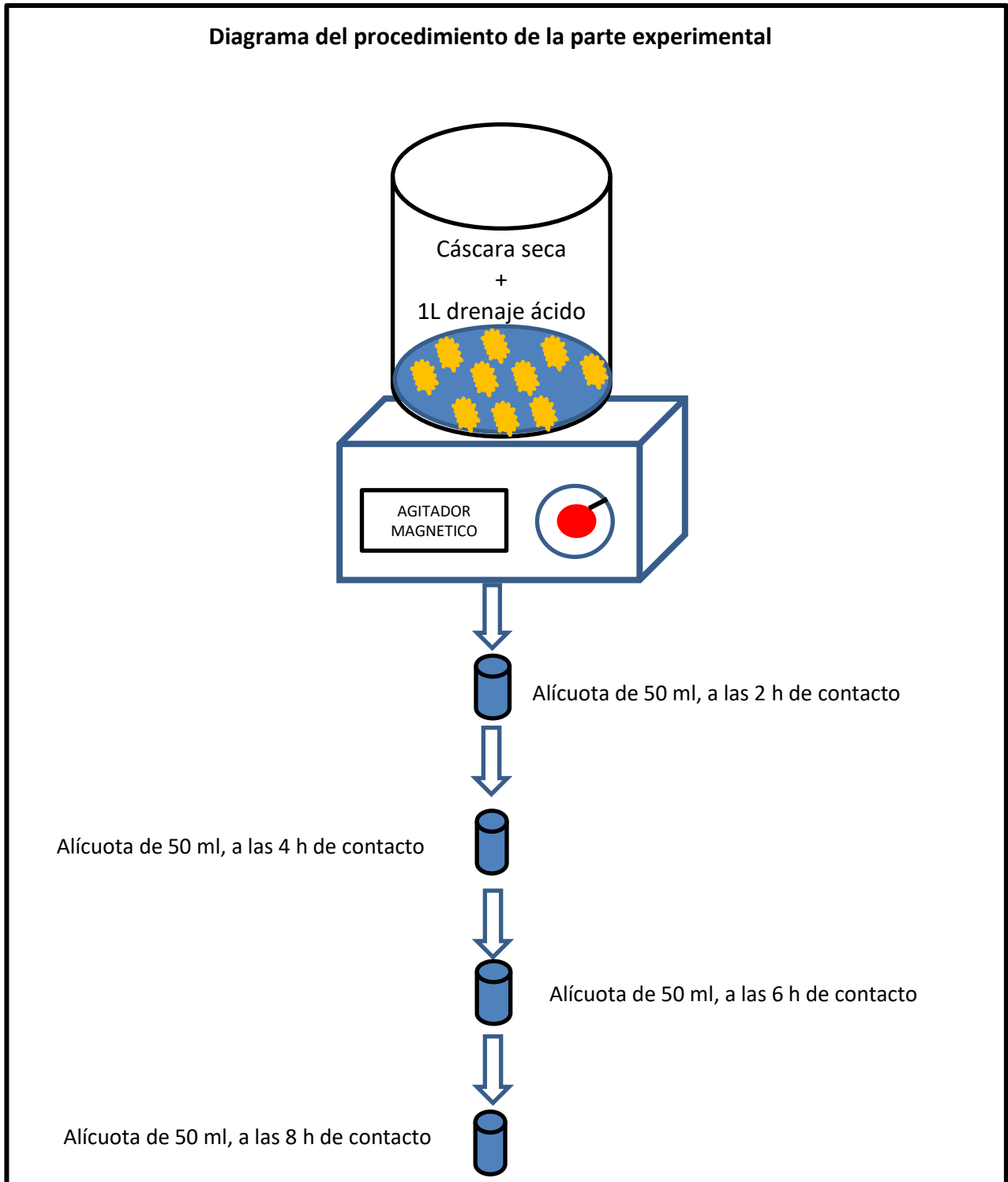
Ya en el lugar de la experimentación se procedió a seleccionar y lavar aproximadamente 2 kg de cáscara de limón con abundante agua de caño para eliminar todo tipo de impurezas que pudiera traer, posteriormente se procedió a un lavado con abundante agua destilada, posteriormente la cáscara se dejó escurrir el exceso de agua que tenía.

Una vez escurrida el agua de la cascara se procedió a hacer un picadillo de ésta con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable, para posteriormente colocarla en una estufa a 60° C hasta que se encuentre completamente seca. Trascorrido el tiempo las cáscaras secas fueron colocadas en bolsas ziploc para evitar que se contaminen o se hidraten.

Antes de realizar la parte experimental se envió una muestra del drenaje ácido de mina al laboratorio para determinar las concentraciones iniciales de los metales en estudio.

2.4.3. Procedimiento de la parte experimental.

Figura 1: Diagrama de procedimiento experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Para desarrollar la parte experimental de esta investigación se tuvo en cuenta los siguientes

Grupos experimentales:

Grupo 1 (G 1): se experimentó con 1 L de drenaje ácido con 10 g de cascara de limón.

Grupo 2 (G 2): se experimentó con 1 L de drenaje ácido con 20 g de cascara de limón.

Grupo 3 (G 3): se experimentó con 1 L de drenaje ácido con 30 g de cascara de limón.

- Se distribuyó 1 L de muestra para cada grupo de trabajo en vasos de precipitación.
- Se procedió al pesado de la cáscara de limón previamente trabajada de acuerdo con los grupos de trabajo.
- Se añadió la cascara pesada a cada vaso de precipitación ya rotulado para cada grupo de trabajo.
- Cada vaso de precipitación se mantuvo en agitación constante a una velocidad de 200 rpm mediante un agitador magnético.
- Se extrajo alícuotas de 50 ml cada 2 horas de cada grupo los cuales fueron depositadas en diferentes viales respectivamente rotulados.
- Las alícuotas obtenidas durante la experimentación, fueron preservadas con ácido nítrico al 50 %, para posteriormente ser enviadas a un laboratorio externo para su respectivo análisis y entrega de resultados.
- La determinación de metales pesados se realizó según EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014. Determination of Metals and Trace Elements in

- Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Este fue analizado por el Laboratorio Regional del Agua.
- Estos resultados fueron entregados por el laboratorio los cuales fueron procesados en tablas y analizados mediante gráficos.
- Para determinar el porcentaje de bioadsorción de la cáscara de limón se utilizó la siguiente ecuación matemática N° 01:

$$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \dots \dots \dots ec.01$$

% = porcentaje de biosorción

C_i = concentración inicial de la muestra

C_f = concentración final de la muestra

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados del análisis del drenaje ácido de mina previo al tratamiento.

Tabla 2:

Datos de campo de la muestra de drenaje ácido de mina.

| Parámetro de campo | Lectura del equipo |
|-----------------------------|--------------------|
| Potencial de Hidrogeno (pH) | 3.16 |
| Conductividad (uS/cm) | 2165 |

Tabla 3:

Resultados de las concentraciones iniciales encontradas en drenaje ácido de mina.

| Metal Pesado | Concentración inicial (mg/L) |
|---------------|------------------------------|
| Arsénico (As) | 1.58 |
| Cadmio (Cd) | 0.149 |
| Cobre (Cu) | 4.865 |
| Plomo (Pb) | 0.432 |
| Zinc (Zn) | 22.72 |

Nota. Resultados emitidos por el laboratorio externo.

En la tabla 3 se muestra los resultados de las concentraciones de los metales arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc encontrado en el drenaje ácido de mina de la población en estudio, estos valores se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas

según D.S. N.º 010-2010-MINAM y son la base para poder realizar la parte experimental de esta investigación, a partir de ellos se realizaron la experimentación en 3 grupos con cantidades diferentes de material bioadsorbente de cáscara de limón.

En las tablas N ° 4, 5 y 6 se muestra los resultados por cada grupo experimental evaluadas en diferentes periodos de tiempo (2, 4, 6 y 8 horas). Estas muestras se trabajaron por duplicado para disminuir el error, cuyos resultados se muestran como C1 y C2.

Tabla 4:

Resultados de las concentraciones de metales pesados del Grupo experimental 1, conteniendo 10 g de cáscara de limón por litro de drenaje ácido de mina, evaluados en diferentes periodos de tiempo.

| METAL PESADO | 2 horas | | | 4 horas | | | 6 horas | | | 8 horas | | |
|-----------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. |
| Arsénico (mg/L) | 1.348 | 1.349 | 1.349 | 1.295 | 1.305 | 1.300 | 1.150 | 1.153 | 1.152 | 1.135 | 1.136 | 1.135 |
| Cadmio (mg/L) | 0.088 | 0.086 | 0.087 | 0.086 | 0.088 | 0.087 | 0.070 | 0.071 | 0.071 | 0.055 | 0.056 | 0.056 |
| Cobre (mg/L) | 2.570 | 2.574 | 2.572 | 1.673 | 1.676 | 1.675 | 1.127 | 1.141 | 1.134 | 0.878 | 0.877 | 0.877 |
| Plomo (mg/L) | 0.120 | 0.121 | 0.120 | 0.106 | 0.107 | 0.107 | 0.100 | 0.101 | 0.101 | 0.099 | 0.098 | 0.099 |
| Zinc (mg/L) | 15.910 | 16.000 | 15.955 | 15.782 | 15.778 | 15.780 | 12.823 | 12.837 | 12.830 | 10.190 | 10.200 | 10.195 |

Nota: C1 y C2 hace referencia a las muestras trabajadas por duplicado.

Tabla 5:

Resultados de las concentraciones de metales pesados del Grupo experimental 2, conteniendo 20 g de cáscara de limón por litro de drenaje ácido de mina, evaluados en diferentes periodos de tiempo.

| METAL PESADO | 2 horas | | | 4 horas | | | 6 horas | | | 8 horas | | |
|-----------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|---------|
| | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. |
| Arsénico (mg/L) | 1.444 | 1.446 | 1.445 | 1.348 | 1.346 | 1.347 | 1.262 | 1.260 | 1.261 | 1.197 | 1.198 | 1.198 |
| Cadmio (mg/L) | 0.087 | 0.088 | 0.088 | 0.073 | 0.075 | 0.074 | 0.064 | 0.068 | 0.066 | 0.055 | 0.056 | 0.056 |
| Cobre (mg/L) | 1.305 | 1.306 | 1.306 | 0.758 | 0.759 | 0.759 | 0.653 | 0.651 | 0.652 | 0.630 | 0.631 | 0.630 |
| Plomo (mg/L) | 0.111 | 0.112 | 0.112 | 0.110 | 0.109 | 0.110 | 0.107 | 0.108 | 0.108 | 0.104 | 0.105 | 0.105 |
| Zinc (mg/L) | 15.430 | 15.480 | 15.455 | 12.971 | 12.969 | 12.970 | 11.370 | 11.420 | 11.395 | 9.663 | 9.669 | 9.666 |

Nota: C1 y C2 hace referencia a las muestras trabajadas por duplicado.

Tabla 6:

Resultados de las concentraciones de metales pesados del Grupo experimental 3, conteniendo 30 g de cáscara de limón por litro de drenaje ácido de mina, evaluados en diferentes periodos de tiempo.

| METAL PESADO | 2 horas | | | 4 horas | | | 6 horas | | | 8 horas | | |
|-----------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|
| | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. | C1 | C2 | C prom. |
| Arsénico (mg/L) | 1.473 | 1.475 | 1.474 | 1.265 | 1.268 | 1.267 | 1.159 | 1.156 | 1.158 | 1.075 | 1.075 | 1.075 |
| Cadmio (mg/L) | 0.089 | 0.090 | 0.089 | 0.068 | 0.069 | 0.068 | 0.053 | 0.054 | 0.053 | 0.047 | 0.045 | 0.046 |
| Cobre (mg/L) | 1.589 | 1.584 | 1.587 | 1.010 | 1.008 | 1.009 | 0.723 | 0.724 | 0.724 | 0.679 | 0.678 | 0.679 |
| Plomo (mg/L) | 0.138 | 0.137 | 0.138 | 0.121 | 0.120 | 0.121 | 0.116 | 0.115 | 0.116 | 0.111 | 0.110 | 0.110 |
| Zinc (mg/L) | 15.770 | 15.800 | 15.785 | 12.183 | 12.220 | 12.202 | 9.192 | 9.194 | 9.193 | 8.307 | 8.315 | 8.311 |

Nota: C1 y C2 hace referencia a las muestras trabajadas por duplicado.

Tabla 7:

Promedio de la concentración de metales pesados del grupo experimental 1, evaluados en diferentes periodos de tiempo.

| Metal Pesado | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Arsénico (mg/L) | 1.349 | 1.300 | 1.152 | 1.135 |
| Cadmio (mg/L) | 0.087 | 0.087 | 0.071 | 0.056 |
| Cobre (mg/L) | 2.572 | 1.675 | 1.134 | 0.877 |
| Plomo (mg/L) | 0.120 | 0.107 | 0.101 | 0.099 |
| Zinc (mg/L) | 15.955 | 15.780 | 12.830 | 10.195 |

Tabla 8:

Promedio de la concentración de metales pesados del grupo experimental 2, evaluados en diferentes periodos de tiempo

| Metal Pesado | 2 h | 4 h | 6 h | 8 h |
|-----------------|--------|--------|--------|-------|
| Arsénico (mg/L) | 1.445 | 1.347 | 1.261 | 1.198 |
| Cadmio (mg/L) | 0.088 | 0.074 | 0.066 | 0.056 |
| Cobre (mg/L) | 1.306 | 0.759 | 0.652 | 0.630 |
| Plomo (mg/L) | 0.112 | 0.110 | 0.108 | 0.105 |
| Zinc (mg/L) | 15.455 | 12.970 | 11.395 | 9.666 |

Tabla 9:

Promedio de la concentración de metales pesados del grupo experimental 3, evaluados en diferentes periodos de tiempo

| Metal Pesado | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Arsénico (mg/L) | 1.474 | 1.267 | 1.158 | 1.075 |
| Cadmio (mg/L) | 0.089 | 0.068 | 0.053 | 0.046 |
| Cobre (mg/L) | 1.587 | 1.009 | 0.724 | 0.679 |
| Plomo (mg/L) | 0.138 | 0.121 | 0.116 | 0.110 |
| Zinc (mg/L) | 15.785 | 12.2015 | 9.193 | 8.311 |

Tabla 10:

Porcentaje de bioadsorción del grupo experimental 1, evaluados en diferentes periodos de tiempo

| Metal Pesado | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| Arsénico (As) | 14.7 | 17.7 | 27.1 | 28.2 |
| Cadmio (Cd) | 41.8 | 41.7 | 52.7 | 62.7 |
| Cobre (Cu) | 47.1 | 65.6 | 76.7 | 82.0 |
| Plomo (Pb) | 72.2 | 75.3 | 76.7 | 77.2 |
| Zinc (Zn) | 29.8 | 30.5 | 43.5 | 55.1 |

En la tabla 10 se muestra los porcentajes de bioadsorción de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina, que fue expuesto a 10 g de material bioadsorbente de cascara de limón por litro de muestra de drenaje (grupo experimental 1). En la figura 1 se puede comparar estos valores, con las gráficas de barras, el porcentaje de bioadsorción de cada metal a diferentes horas de exposición

Tabla 11:

Porcentaje de bioadsorción del grupo experimental 2, evaluados en diferentes periodos de tiempo

| Metal Pesado | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| Arsénico (As) | 8.5 | 14.7 | 20.2 | 24.2 |
| Cadmio (Cd) | 41.3 | 50.4 | 55.8 | 62.8 |
| Cobre (Cu) | 73.2 | 84.4 | 86.6 | 87.0 |
| Plomo (Pb) | 74.2 | 74.6 | 75.1 | 75.8 |
| Zinc (Zn) | 32.0 | 42.9 | 49.8 | 57.5 |

En la tabla 11 se muestra los porcentajes de bioadsorción de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina, que fue expuesto a 20 g de material bioadsorbente de cascara de limón por litro de muestra de drenaje (grupo experimental 2). En la figura 2 se puede comparar estos valores, con la gráfica de barras, el porcentaje de bioadsorción de cada metal a diferentes horas de exposición.

Tabla 12:

Porcentaje de bioadsorción del grupo experimental 3, evaluados en diferentes periodos de tiempo

| Metal Pesado | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| Arsénico (As) | 6.7 | 19.8 | 26.7 | 32.0 |
| Cadmio (Cd) | 40.2 | 54.2 | 64.3 | 69.1 |
| Cobre (Cu) | 67.4 | 79.3 | 85.1 | 86.0 |
| Plomo (Pb) | 68.2 | 72.1 | 73.2 | 74.5 |
| Zinc (Zn) | 30.5 | 46.3 | 59.5 | 63.4 |

En la tabla 12 se muestra los porcentajes de bioadsorción de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina, que fue expuesto a 30 g de material bioadsorbente de cascara de limón por litro de muestra de drenaje (grupo experimental 3). En la figura 3 se puede comparar estos valores, con la gráfica de barras, el porcentaje de bioadsorción de cada metal a diferentes horas de exposición.

Tabla 13:

Porcentaje de bioadsorción del Arsénico.

| Grupo | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| Grupo 1 | 14.7 | 17.7 | 27.1 | 28.2 |
| Grupo 2 | 8.5 | 14.7 | 20.2 | 24.2 |
| Grupo 3 | 6.7 | 19.8 | 26.7 | 32.0 |

En la tabla 13 se muestran los porcentajes de bioadsorción del arsénico de los 3 grupos experimentales, estos valores se comparan en la figura 4.

Tabla 14:

Porcentaje de bioadsorción del Cadmio.

| Grupo | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| Grupo 1 | 41.8 | 41.7 | 52.7 | 62.7 |
| Grupo 2 | 41.3 | 50.4 | 55.8 | 62.8 |
| Grupo 3 | 40.2 | 54.2 | 64.3 | 69.1 |

En la tabla 14 se muestran los porcentajes de bioadsorción del cadmio de los 3 grupos experimentales, estos valores se comparan en la figura 5.

Tabla 15:

Porcentaje de bioadsorción del Cobre.

| Grupo | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| Grupo 1 | 47.1 | 65.6 | 76.7 | 82.0 |
| Grupo 2 | 73.2 | 84.4 | 86.6 | 87.0 |
| Grupo 3 | 67.4 | 79.3 | 85.1 | 86.0 |

En la tabla 15 se muestran los porcentajes de bioadsorción del cobre de los 3 grupos experimentales, estos valores se comparan en la figura 6.

Tabla 16:

Porcentaje de bioadsorción del Plomo.

| Grupo | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| Grupo 1 | 72.2 | 75.3 | 76.7 | 77.2 |
| Grupo 2 | 74.2 | 74.6 | 75.1 | 75.8 |
| Grupo 3 | 68.2 | 72.1 | 73.2 | 74.5 |

En la tabla 16 se muestran los porcentajes de bioadsorción del plomo de los 3 grupos experimentales, estos valores se comparan en la figura 7.

Tabla 17:

Porcentaje de bioadsorción del Zinc.

| Grupo | 2 horas | 4 horas | 6 horas | 8 horas |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| Grupo 1 | 29.8 | 30.5 | 43.5 | 55.1 |
| Grupo 2 | 32.0 | 42.9 | 49.8 | 57.5 |
| Grupo 3 | 30.5 | 46.3 | 59.5 | 63.4 |

En la tabla 17 se muestran los porcentajes de bioadsorción del zinc de los 3 grupos experimentales, estos valores se comparan en la figura 8.

Tabla 18:

Coefficientes de correlación de Pearson (r) para la bioadsorción de metales pesados de drenaje ácido de mina usando cáscara de limón.

| Metal pesado | | Arsénico (As) | Cadmio (Cd) | Cobre (Cu) | Plomo (Pb) | Zinc (Zn) | | | |
|---------------|-----|---------------|-------------|------------|------------|-----------|-----|--------|---|
| Arsénico (As) | | 1 | | | | | | | |
| Cadmio (Cd) | G 1 | 0.9219 | G 1 | | | | | | |
| | G 2 | 0.9956 | G 2 | 1 | | | | | |
| | G 3 | 0.9977 | G 3 | | | | | | |
| Cobre (Cu) | G 1 | 0.9440 | G 1 | 0.8428 | G 1 | | | | |
| | G 2 | 0.9053 | G 2 | 0.9065 | G 2 | 1 | | | |
| | G 3 | 0.9856 | G 3 | 0.9854 | G 3 | | | | |
| Plomo (Pb) | G 1 | 0.9114 | G 1 | 0.7781 | G 1 | 0.9939 | | | |
| | G 2 | 0.9797 | G 2 | 0.9850 | G 2 | 0.8201 | 1 | | |
| | G 3 | 0.9931 | G 3 | 0.9848 | G 3 | 0.9889 | | | |
| Zinc (Zn) | G 1 | 0.9308 | G 1 | 0.9995 | G 1 | 0.8591 | G 1 | 0.7972 | |
| | G 2 | 0.9976 | G 2 | 0.9996 | G 2 | 0.9126 | G 2 | 0.9820 | 1 |
| | G 3 | 0.9934 | G 3 | 0.9987 | G 3 | 0.9869 | G 3 | 0.9786 | |

En la tabla 18 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson, de los porcentajes de bioadsorción de los metales en estudio en los 3 grupos experimentales; se puede observar que la correlación es alta ya que son cercanas a 1, siendo el valor más bajo obtenido 0.7781 y esto se dio entre los metales cobre y cadmio del G1, a pesar de que su valor es el más bajo de la tabla, la correlación es considerada alta si tenemos en cuenta a 0.75 de correlación como límite bajo.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados, las concentraciones iniciales de los metales en estudio del drenaje ácido de mina se encuentran muy por encima de los Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-Metalúrgicas decretados por el MINAM 2010. Además, el pH se encuentra a 3.16 siendo muy bajo para este tipo de efluente, siendo el Límite Máximo Permissible de 6 a 9 respecto a pH.

Muñoz (2007) en su investigación utilizando como material de biosorción la cáscara de naranja para remover Plomo (II) de agua sintética, encontró que con los valores de pH entre 3.6 y 4.1 se obtienen mejores resultados; siendo cercano al valor de pH con el cual se trabajó el drenaje ácido de la presente investigación. Sin embargo, en otra investigación realizada por Cardona et al. (2013) evaluando el poder biosorbente de la cáscara de naranja para la eliminación de Plomo (II) y Zn (II) trabajando con pH muy cercano a 2 y 9 encontró que el pH no representa un efecto en la biosorción de Plomo (II). Sin embargo, Muñoz (2007) y Villanueva (2006) concuerdan en que la magnitud de adsorción está determinada por el tipo y estado iónico de los grupos funcionales de la pared celular de la cáscara del cítrico, principalmente los grupos carboxílicos; la biosorción depende de la protonación o desprotonación de estos grupos funcionales. Cuando el pH está bajo los ligandos de la pared celular estaría asociado a los iones hidronio (H_3O^+) que restringen el acceso a los ligandos de iones metálicos como resultado de fuerzas repulsivas, sin embargo, esta fuerza disminuye

cuando aumenta el pH siendo aprovechado por los iones metálicos para unirse a los grupos carboxilos.

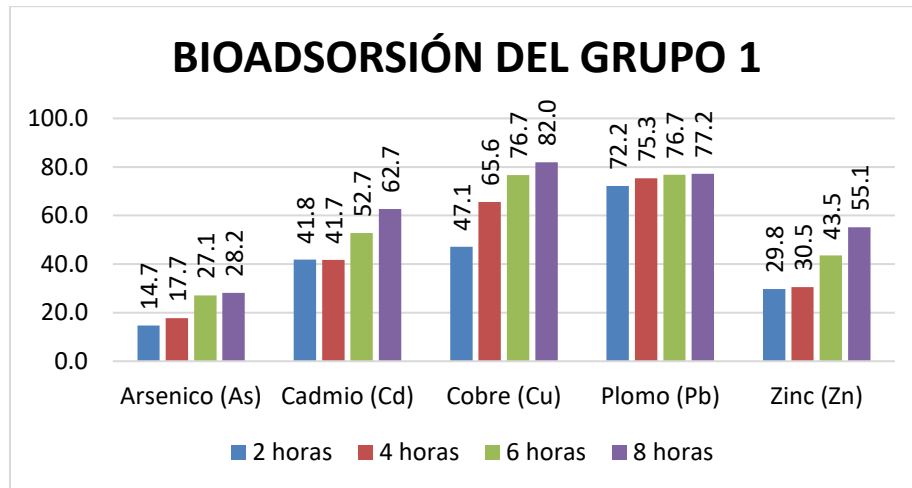


Figura 2: Porcentaje de Bioadsorción de cada metal del Grupo 1, en diferentes periodos de tiempos.

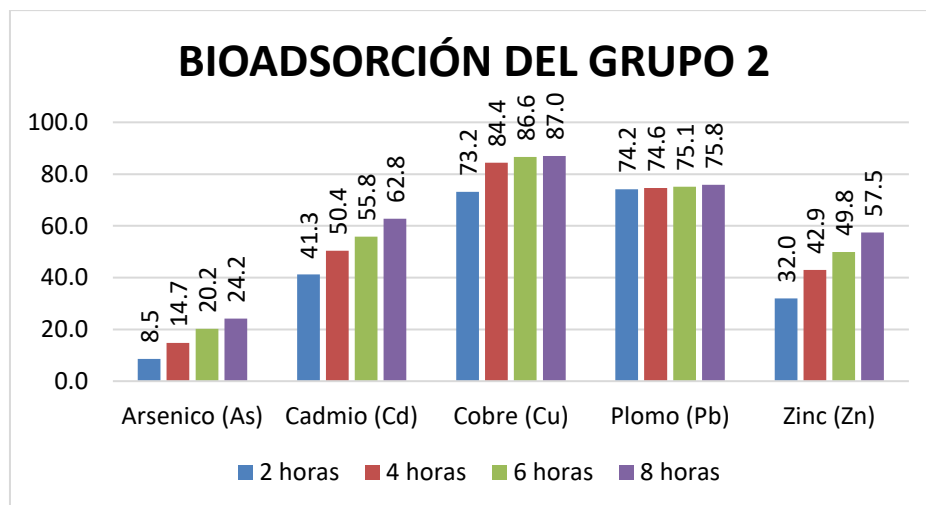


Figura 3: Porcentaje de Bioadsorción de cada metal del Grupo 2, en diferentes periodos de tiempos.

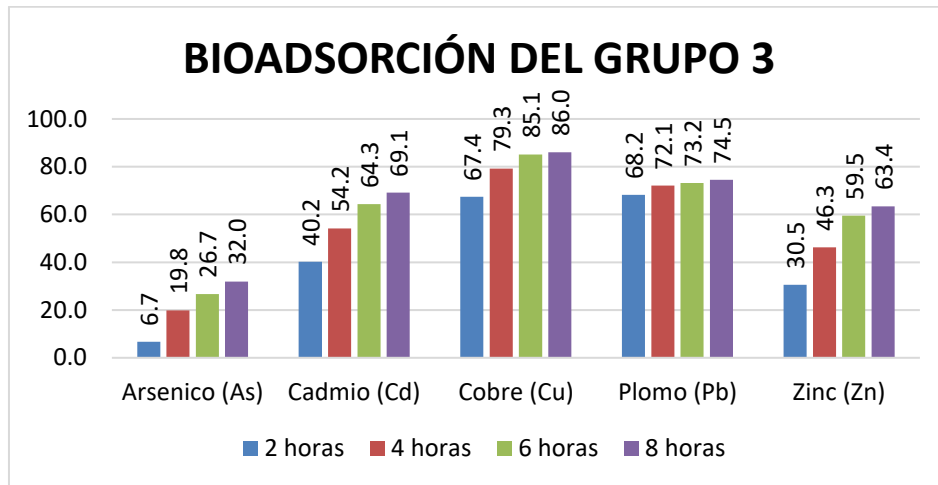


Figura 4: Porcentaje de Bioadsorción de cada metal del Grupo 3, en diferentes periodos de tiempos.

Las figuras 2, 3 y 4 refleja los resultados obtenidos en los grupos experimentales, luego de exponer 1 litro de drenaje ácido de mina con 10 g de cascara de limón (en el grupo 1), 20g de cascara de limón (en el grupo 2) y 30 g de cascara de limón (en el grupo 3) las concentraciones fueron evaluadas a las 2, 4, 6 y 8 horas de exposición, se puede apreciar que el cobre es el elemento con mayor porcentaje de bioadsorción y el arsénico es el que menor porcentaje tiene, esto se corrobora en todos los grupos experimentales. En la investigación realizada por Vizcaíno y Fuentes (2015) quienes usaron cáscara de naranja como uno de los materiales biosorbentes para el tratamiento de agua sintética multimetálica a un pH de 3.55 conteniendo cadmio, plomo y zinc los cuales se obtuvieron porcentajes de remoción del 99.5 %, 98.0 % y 40.1 % respectivamente usando cáscara de naranja sin tratamiento químico previo, al comparar sus resultados con los resultados obtenidos en la presente investigación se aprecia una significativa diferencia, la adsorción de los metales cadmio y plomo fue superior, mientras que la biosorción de zinc fue inferior esos posiblemente se deba a que los autores usaron agua sintética conteniendo únicamente estos metales que a diferencia de la

presente investigación se trabajó con agua de drenaje ácido y ésta contiene otros elementos orgánicos e inorgánicos que pueden lograr tener cierta interferencia para un mejor resultado de bioadsorción de los elementos metálicos de interés ambiental ya que en concentraciones elevadas logra alterar las características de las aguas superficiales.

En la investigación realizada por Villanueva (2006) utilizando cascara de limón como bioadsorbente para la remoción de cobre en agua sintética trabajando a un pH de 3.20 (es cual fue cercano al pH trabajado en la presente investigación) obtuvo un porcentaje de remoción del 74.86 % para el cobre II en comparación con los resultados que se obtuvo en esta investigación para el mismo metal fue de un 87.0 % (en el grupo 2), sin embargo cuando trabajó con un pH de 4.12 obtuvo una mejor remoción de este metal (97.74 %).

Laura (2018) usó la pectina reticulada de diferentes cítricos, naranja, mandarina y limón, como floculante para el tratamiento por un proceso de coagulación floculación in vitro de aguas superficiales del río Chili en Arequipa, las cuales contenían entre sus elementos los metales pesados arsénico, cromo y plomo, encontrando que se logró remover un 40.89 % de arsénico al usar cáscara de limón a pH 3, en cambio para el plomo se observó que sus valores se incrementaron al usar la cascara de limón. En la presente investigación se obtuvo mejores resultados para la remoción de plomo lográndose remover entre el 74.5 % y 77.2 % de plomo. Sin embargo, para el arsénico se logró un 28.2 % a 32 % de remoción, teniendo en cuenta que son cuerpos de agua diferentes y que cada una tiene características y composiciones diferentes; además que se realizaron procedimientos diferentes en las experimentaciones.

Rebollo (2012) en su trabajo de fin de máster observó que el biosorbente natural de pomelo actuaba como una resina de intercambio iónico, con diferente afinidad y especificidad

en la unión de distintos metales pesados, demostrándose que la capacidad de retención de Cd (II) por este biosorbente, en presencia de una mezcla de metales pesados, era menor que la correspondiente a condiciones no competitivas. De hecho, la capacidad de eliminación de Cd (II) como componente único se obtuvo un 68.28 % de biosorción; junto a los iones como Na^+ y Ca^{2+} se obtuvo un 30.81 %; con la presencia de los metales pesados Ni (II), Cu (II) y Pb (II) se logró obtener un 24.05 %; finalmente, con la presencia de los anteriores metales pesados además de Na^+ y Ca^{2+} se obtuvo solamente un 16.31 %. En otras palabras hay un comportamiento de competencia de biosorción entre metales, según su afinidad, esto podría dar una explicación del porqué ciertos metales que son biosorbidos en menor porcentaje a diferencia de otros, ya que están compitiendo entre ellos además de ciertos iones que también compiten estos metales para su biosorción, esto explicaría el bajo porcentaje de biosorción del arsénico 28.2 % en el grupo 1; 24.2 % en el grupo 2 y 32 % en el grupo 3 que a diferencia del cobre se obtuvo hasta un 87 % en el grupo 2, ya que estos estaban compitiendo entre ellos, además de otros metales, iones y demás elementos presentes en el drenaje ácido de mina.

Además, se observa que hay una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de bioadsorción de los metales en estudio y la 1ª energía de ionización según la tabla periódica, mientras aumenta esta energía expresada en KJ/mol menor será la bioadsorción del metal, sin embargo, el plomo es el único metal que no cumple con esta relación.

Collantes (2019) en su trabajo de tesis: capacidad de biosorbente de plomo de la cascara de naranja (*Citrus sinensis (l) osbeck*) y la vaina de taya (*Caesalpiniaspinosa(molina) kuntze*) analizó la influencia de la concentración inicial de plomo y la capacidad de biosorción encontrando que mientras más alta sea la concentración inicial de este metal, mayor es la capacidad biosorbente de plomo coincidiendo las investigaciones de Cardona et al (2013) y Salas y Sarcco (2017), indicando que a concentraciones más altas, todos los iones del plomo de la solución pueden interactuar con los sitios de unión, logrando la saturación del biosorbente y alcanzar una mayor capacidad de biosorción. Por otro lado, las concentraciones iniciales bajas del metal tienen menor capacidad biosorbente, esto puede deberse a que el plomo no llega a alcanzar la saturación de los sitios activos para aprovechar el máximo rendimiento. Esto puede explicar el por qué algunas investigaciones obtuvieron altos porcentajes de bioadsorción muy cercanas al 100 %, ya que los investigadores usaron concentraciones altas en sus soluciones iniciales; Villanueva (2006) utilizó una concentración inicial de cobre de 99.65 ppm y obtuvo una adsorción del 97.64 %; Marshall y Espinoza (2016) utilizaron una concentración inicial de 20 ppm de plomo y logró obtener un porcentaje de biosorción entre 87.09 % y 95.59 % usando cáscara de limón.

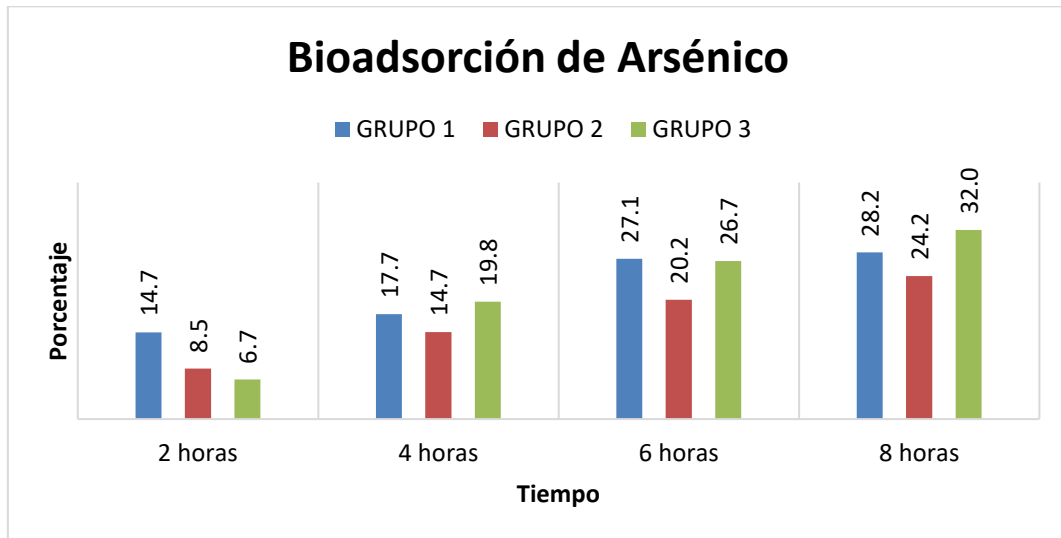


Figura 5: Comparación de porcentaje de Biosorción de Arsénico en los diferentes grupos.

En la figura 5 se compara el porcentaje de bioadsorción de arsénico de los tres grupos evaluados a diferentes horas, se observa que el grupo 1 a las 2 horas de exposición tiene mejores porcentajes de adsorción que los otros grupos, sin embargo, a las 8 horas el grupo 3 tiene mejores resultados; el grupo 2 se mantiene en el tercer lugar en las 3 últimas horas. Se observa que la adsorción ha sido de manera progresiva y entre las 6 y 8 horas se empieza a saturar el material biosorbente.

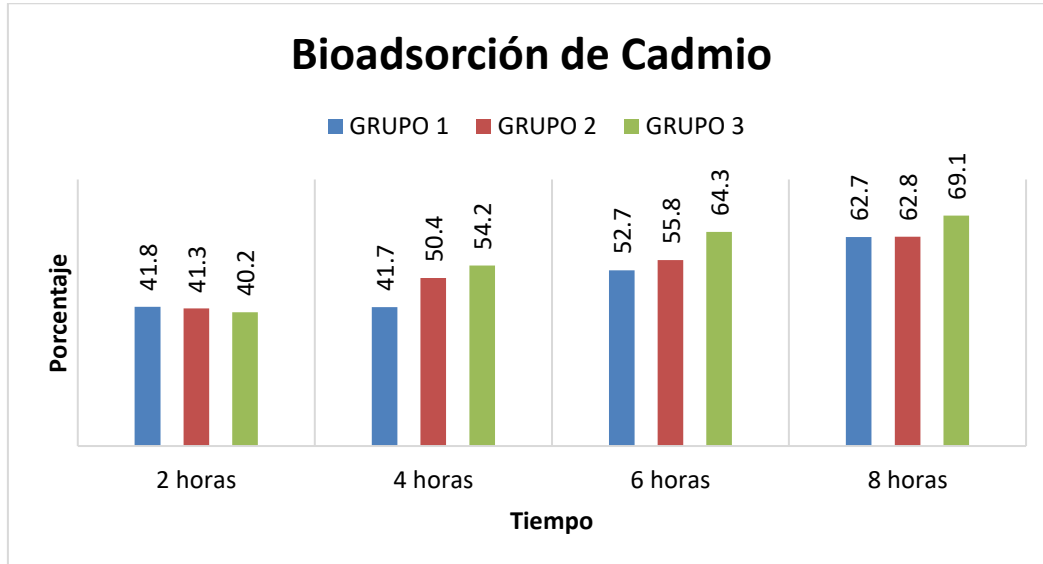


Figura 6: Comparación de porcentaje de Biosorción de Cadmio en los diferentes grupos.

En la figura 6 se compara el porcentaje de bioadsorción de cadmio de los tres grupos evaluados a diferentes horas, se observa que el porcentaje de bioadsorción fue similar en los 3 grupos, siendo la 8va hora la que tiene mejores resultados y el grupo experimental 3 tiene una ligera ventaja respecto a la adsorción.

Sánchez et al. (2014) en su estudio sobre la cinética de biosorción de iones de cadmio (II) en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja, determino que el pH óptimo para la adsorción de cadmio es de 5.5. Además, encontró que mientras la concentración inicial de cadmio es alta se obtiene un mejor rendimiento de biosorción que cuando la concentración es baja, esto posiblemente debido a que cuando la concentración es alta, todos los iones de cadmio de la solución pueden interactuar con los sitios de unión, logrando de esta manera la saturación del biosorbente y alcanzar su capacidad máxima de adsorción. Por otro lado, cuando las concentraciones son bajas el rendimiento disminuye porque

probablemente no se llegó a alcanzar la saturación de los sitios activos para aprovechar al máximo su rendimiento.

Además, encontró que la cantidad de 0.15 g de pectina con 100 ml de solución de cadmio fue la que mayor saturación de biosorbente con iones metálicos obtuvo y esto se debe a que hay menor disponibilidad de los sitios de unión para la formación de complejos iones metálicos.

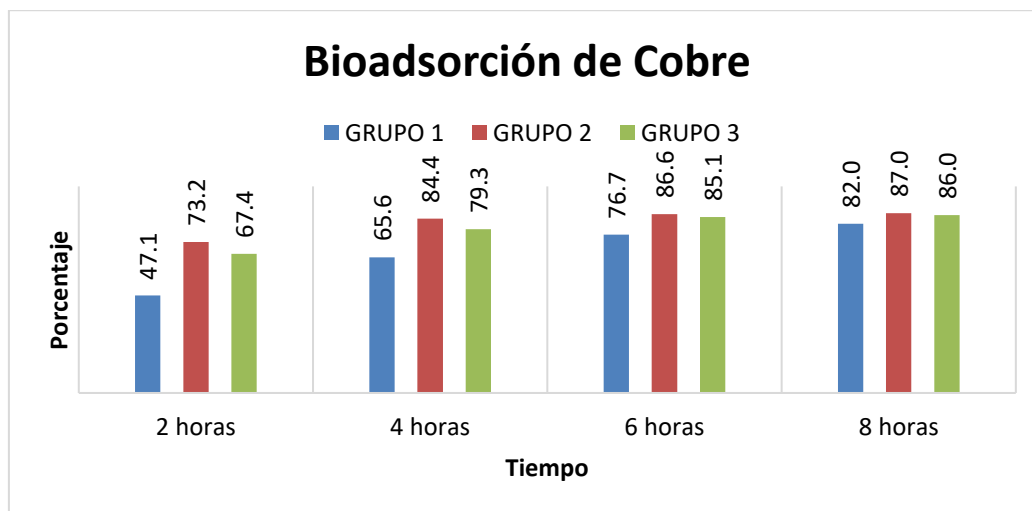


Figura 7: Comparación de porcentaje de Bioadsorción de Cobre en los diferentes grupos.

En la figura 7 se compara el porcentaje de bioadsorción de cobre en los tres grupos que fueron evaluados a diferentes horas, se observa que el grupo 2 tiene mejores resultados en todas las horas evaluadas, la bioadsorción fue rápida ya que en las 2 primeras horas se logró remover un 73.2 % y luego fue lenta y progresivamente en las horas siguientes, en el grupo 3 donde se utilizó mayor cantidad de material de biosorbente no se logró obtener mejores resultados que el grupo 2.

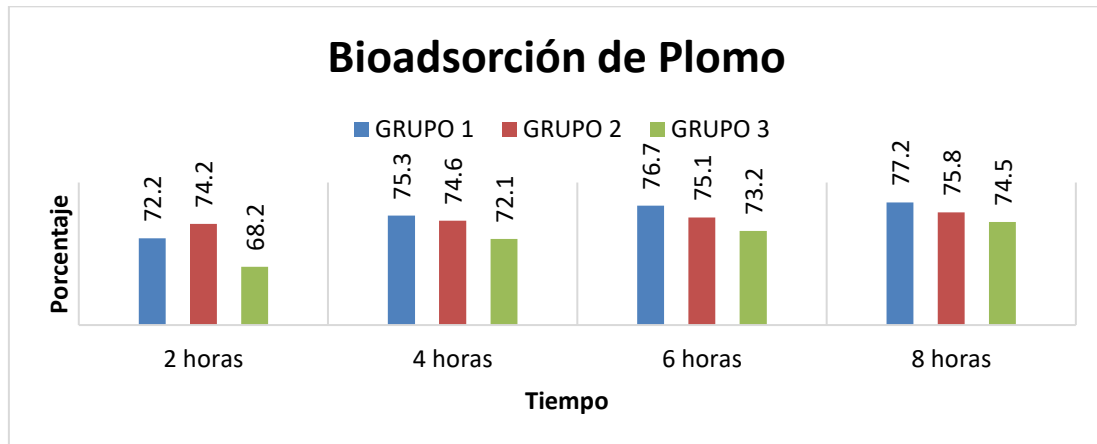


Figura 8: Comparación de porcentaje de Bioadsorción de Plomo en los diferentes grupos.

En la figura 8 se compara el porcentaje de bioadsorción de plomo en los tres grupos que fueron evaluados a diferentes horas, se observa que el grupo 1 tiene mejores resultados a partir de la 4 hora de exposición, a pesar de que los grupos 2 y 3 tienen mayor cantidad de material bioadsorbente; también se observa que la bioadsorción fue rápida ya que en las 2 primeras horas se logró remover el 72.2 % y en la octava hora se removió un 77.2 %. Sánchez et al. (2014), encontró que la cantidad más baja de pectina tuvo mejor rendimiento en la adsorción de metales, esto se debe a que hay mayor saturación de biosorbente con iones metálicos y esto se debe a que hay menor disponibilidad de los sitios de unión para la formación de complejos iones metálicos. En otra investigación realizada por Marshall y Espinoza (2016), quienes evaluaron el poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (limón y toronja) para la eliminación de metales pesados; plomo (Pb) y mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas; se logró obtener un mejor resultado de porcentaje de biosorción de plomo cuando se trabajó con 1.5g de material biosorbente por 100 ml de muestra (96.08 %); cuando trabajó con 3 g de cáscara se obtuvo un 90.79 % de remoción, siendo un rendimiento

inferior cuando se trabaja con la mitad de cascara de limón. En la presente investigación se obtuvo un mejor resultado cuando se trabajó con 1 g de cascara por 100 ml de drenaje ácido (grupo 1), obteniéndose 77.2 % de remoción de plomo y cuando se trabajó con 3 g de cascara de limón se obtuvo un porcentaje de 74.5 % de remoción; teniendo la misma lógica con los resultados obtenidos por Marshall y Espinoza (2016).

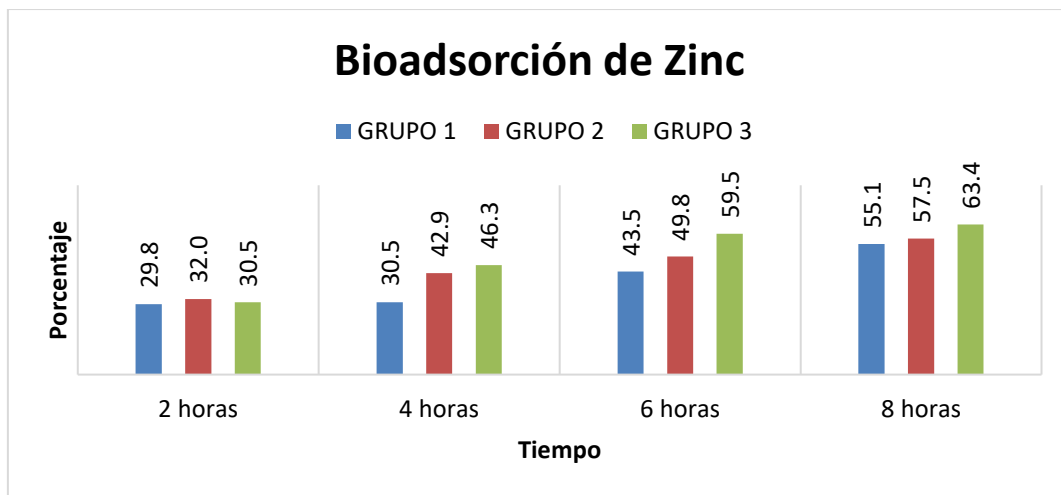


Figura 9: Comparación de porcentaje de Bioadsorción de Zinc en los diferentes grupos.

En la figura 9 se compara el porcentaje de bioadsorción de zinc en los tres grupos que fueron evaluados a diferentes horas, se observa que el grupo 3 tiene mejores resultados a partir de la 4 hora de exposición, también se observa que la bioadsorción fue lenta y progresivamente obteniendo a la octava hora una remoción del 63.4. Vizcaíno y Fuentes (2015) obtuvieron resultados inferiores (40.1 % de remoción) usando cascara de naranja sin tratar, también obtuvieron resultados similares 63.3 % de remoción usando cascara de naranja tratada con NaOH y usando NaOH y CaCl₂ obtuvieron 81.2 % de remoción de zinc en su investigación.

Moncada y Pomiano (2018) obtuvieron remoción de Zinc (II) en un 95.86 % usando cascara de naranja pretratada con NaOH y CaCl₂, trabajando a pH 5.5.

Para Cardona et al (2013) reportaron en su investigación una remoción de Zinc (II) fue de 99.5 %, a las condiciones de pH 4.

CONCLUSIONES

- Al evaluar los porcentajes de bioadsorción de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina usando cáscara de limón se observa que fueron diferentes para cada metal, dependiendo del tipo de metal, la cantidad de cáscara y el tiempo de exposición. Sin embargo, la tendencia a bioadsorberse mejor fue el cobre y el plomo, en los diferentes grupos experimentales y tiempos de exposición. El arsénico muy por el contrario es el que menos se enlazó a la cáscara de limón.
- Las concentraciones de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc del drenaje ácido de mina previos a evaluar la cáscara de limón como material bioadsorbente, se encontraban por encima de los límites máximos permisibles según el D.S. N° 010-2010-MINAM, para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineras.
- Las concentraciones de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina disminuyeron después de recibir el tratamiento con la cáscara de limón, el Arsénico disminuyó de 1.58 mg/L a 1.135 mg/L en el grupo 1, a 1.198 mg/L en el grupo 2 y a 1.075 mg/L en el grupo 3. El Cadmio disminuyó de 0.149 mg/L a 0.056 mg/L en el grupo 1, a 0.056 mg/L en el grupo 2 y a 0.046 mg/L en el grupo 3. El Cobre disminuyó de 4.865 mg/L a 0.877 mg/L en el grupo 1, a 0.630 mg/L en el grupo 2 y a 0.679 mg/L en el grupo 3. El Plomo disminuyó de 0.432 mg/L a 0.099 mg/L en el grupo 1, a 0.105 mg/L en el grupo 2 y a 0.110 mg/L en

el grupo 3. El Zinc disminuyó de 22.72 mg/L a 10.195 mg/L en el grupo 1, a 9.666 mg/L en el grupo 2 y a 8.311 mg/L en el grupo 3.

- Se determinó que el porcentaje de bioadsorción para el Arsénico fue de 32.00% cuando se trabajó con 30 g de cáscara de limón por litro de muestra, este porcentaje se obtuvo durante la octava hora. El porcentaje de bioadsorción para el Cadmio fue de 69.10 % cuando se trabajó con 30 g de cáscara de limón por litro de muestra. El porcentaje de bioadsorción para el Cobre fue de 87.00 % cuando se trabajó con 20 g de cáscara de limón por litro de muestra. El porcentaje de bioadsorción para el Plomo fue de 77.20 % cuando se trabajó con 10 g de cáscara de limón por litro de muestra. El porcentaje de bioadsorción para el Zinc fue de 63.40 % cuando se trabajó con 30 g de cáscara de limón por litro de muestra; todos estos porcentajes de bioadsorción se obtuvieron durante la octava hora.

REFERENCIAS

Acosta, I., Cárdenas, J. y Martínez, I. (2012). *El uso de diferentes biomásas para la eliminación de metales pesados en sitios contaminados*, Ideas, CONCYTEG, 7(85), pp. 911 – 922.

Recuperado

de https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Simulacion_y_Laboratorio/vol3num8/Revista_de_Simulacion_y_Laboratorio_V3_N8_2.pdf

Aduvire, O. (2006). *Drenaje Acido en Mina Generación y Tratamiento*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España. Recuperado de http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf

Alvarado, H. (2017). *“Efecto del tiempo de residencia y tamaño de partícula en la reducción de plomo mediante bioadsorción con Citrus cinensis en efluente minero del C.P. Tambillo – Cajamarca, 2017”*. (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Armijo, C., J., Rivera D. y Mallma, G. (2009). *Biosorción de Cr (VI) por cascara de limón, Citrus limonium*, modificada. *Revista Peruana De Química E Ingeniería Química*, 12(1) pp. 45-51. Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4963>

Cardona, A., Cabañas, D. y Zepeda, A. (2013). *Evaluación del poder biosorbente de cascara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)*. *Ingeniería*, 17 (1), pp.

1 - 9

Chojnacka, K., (2010), Biosorption and bioaccumulation - the prospects for practical applications. *Environment International* 36:299-307.

Collantes, L. (2019). *Capacidad biosorbente de plomo de la cascara de naranja (Citrus sinensis (L.) Osbeck) y la vaina de taya (Caesalpiniaspinosa (Molina) Kuntze)*. (Tesis de grado), Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

Corzo, R. A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, Distrito de San Mateo de Huanchori, Lima*. (Tesis de Posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6160>

Dávila, N. y Walter, L. (2018). *Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017*. (Tesis de titulación) Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

Dávila, N. y Walter, L. (2018). *Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, distrito de Chugur, Provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017*. (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Ernest, M. y Thomas, C. (1991). *Metals and their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis, and Biological Relevance*. Weinheim: VCH. Recuperado de <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000236969>

García, R. y Granillo, Y. (2017). *Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (Citrus sinensis Linn Osbeck), laboratorios de química unan-managua, II semestre 2016*. (Tesis de grado), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf>

Gisbert, J. *Medicina legal y Toxicología*. Masson Editores, Barcelona, España; 2001. Hughes F, Beck D, Chen Y, Lewis A, Thomas D. Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicol Sci*, 123-305; 2011.

Herrera, H. (2013). *Los pasivos mineros ambientales y los conflictos sociales en Hualgayoc*. *Investigaciones Sociales*, 17 (30), pp 265-277.

Juan de Dios, M. (2018) *Niveles de arsénico y cadmio en muestras de cebolla (Allium cepa) expandidas en la ciudad de Lima*. (Tesis de grado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Laura, V. (2018). *Floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina*. (Tesis de grado de maestría), Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado

de: <http://docplayer.es/136112138-Universidad-nacional-san-agustin-de-arequipa-escuela-de-posgrado.html>

Marshall, R. y Espinoza, J. (2016). *Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas*. (Tesis de grado), Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18100>

Ministerio del Ambiente. (2010) *límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas*. Recuperada de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf

Moncada, E. y Pomiano, K. (2018) *Biosorción de iones Zn (II) mediante la cáscara de naranja (Citrus sinensis tratada)*. (Tesis de titulación), Universidad Nacional del Callao, Lima-Perú.

Mudhoo, A., Pravish, R. y Romeela, M. (2012). *Effects of microwave heating on biogas production, chemical oxygen demand and volatile solids solubilization of food residues*, World Academy of Science. EngineTechnol 69:805–810 Recuperado de: <https://publications.waset.org/4947/pdf>

Muñoz, J. C. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "Citrus cinensis" pretratada*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/323353409.pdf>

- Ordoñez, A. (2014). *Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (Citrus sinensis) molida, Machala 2014*. (Tesis de titulación), Universidad Técnica de Machala, Machala, El Oro, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1897/1/CD00308.pdf>
- Pagnanelli, F., Mainelli, S., Angelis, S.D. y Toro, L. (2005). *Biosorption of protons and heavy metals onto olive pomace: modelling of competition effects*, *Water Research*, 39 (8), 1639-1651.
- Rebollo, J. (2012). *Eliminación de cadmio (II) de efluentes urbanos tratados mediante procesos de bioadsorción: el efecto competitivo de otros metales pesados*. (Trabajo de fin de máster). Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- Romero, J. (2017). *La pepa de aceituna y la biosorción en efluentes mineros con alta concentración de plomo y zinc en la U.E.A, Heraldos Negros -Acobambilla - Huancavelica 2017*. (Tesis de grado), Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/24491>
- Salas, P. y Sarcco, L. 2017. *Eliminación de plomo (II) y fierro (II), por bioadsorción con cáscara de naranja (Citrus x sinensis) en residuos líquidos procedentes del Laboratorio químico de Southern Perú*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín Arequipa, Perú.

Sánchez, D., García, V., Yipmantin, A., Guzmán, E., Ale, N. y Maldonado, H. (2014). *Estudio sobre la cinética de biosorción de iones de cadmio (II) en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja*. Rev. Soc. Quím. Perú. 80 (4), 298-307

Santos Bonilla, K. Á. (2010). *Biosorción de metales pesados empleando lodos activados*. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú. Recuperado: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/649>

Villanueva, C. (2006). *Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus sinensis (Naranja), Citrus limonium (limón) y Opuntia ficus (plameta de nopal)*. (Tesis de licenciatura de Químico). Universidad Nacional del Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/2112>.

Vizcaíno, L. y Fuentes, N. (2015). *Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 25 (1), pp. 43 - 60

Wase, J. y Forster, C. (1997). *Biosorbents for metal ions*. London: Taylor & Francis. Recuperado de <http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/Publications/PDF/Bio%20Met%20Ion,%20141.pdf>

ANEXOS

ANEXO N°1. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| DATOS DEL CLIENTE | | | | | |
|--|--|---------------------|--|----------|-------|
| Razon Social/Nombre | IRVIN ARLINST VALVERDE RODRÍGUEZ | | | | |
| Dirección | - | | | | |
| Persona de contacto | - | Correo electrónico | arlinst.ir@gmail.com | | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | |
| Fecha del Muestreo | 12.04.21 | Hora de Muestreo | 10:00 | | |
| Responsable de la toma de muestra | Cliente | Plan de muestreo N° | - | | |
| Procedimiento de Muestreo | - | | | | |
| Tipo de Muestreo | Puntual | | | | |
| Número de puntos de muestreo | 25 | | | | |
| Ensayos solicitados | Fisicoquímicos | | | | |
| Breve descripción del estado de la muestra | Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación | | | | |
| Referencia de la Muestra: | TESIS: "EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE BIOADSORCIÓN DE METALES PESADOS DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA UTILIZANDO CÁSCARA DE LIMÓN" | | | | |
| DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO | | | | | |
| N° Contrato | Muestra Interna | Cadena de Custodia | CC -314- 20 | | |
| Fecha y Hora de Recepción | 13.04.21 | 08:36 | Inicio de Ensayo | 15.04.21 | 11:00 |
| Reporte Resultado | 22.04.21 | 10:00 | | | |
| (*) DATOS DE CAMPO | | | | | |
| Parámetro de Campo | Unidad | Valor | | | |
| (*) Potencial de Hidrogeno (pH) | Unidad pH | 3.16 | | | |
| (*) Conductividad | uS/cm | 2165 | | | |
| Nota: | Parámetro de campo fueron proporcionados por el usuario. | | | | |



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 22 de abril de 2021

ANEXO N°2. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| ENSAYOS | | | QUÍMICOS | | | | | |
|----------------------------|--|---|--|---|--|---|---------|---------|
| Código de la Muestra | MUESTRA INICIAL DRENAJE ácido-SIN CHAO | Grupo 1: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 2 horas | Grupo 1- Duplicado: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 2 horas | Grupo 1: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 4 horas | Grupo 1- Duplicado: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 4 horas | Grupo 1: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 6 horas | | |
| Código Laboratorio | 0421314-01 | 0421314-02 | 0421314-03 | 0421314-04 | 0421314-05 | 0421314-06 | | |
| Matriz | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | | |
| Descripción | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | | |
| Localización de la Muestra | ESTE:758263 NORTE:9256629 | - | - | - | - | - | | |
| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados de Metales Totales | | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | 0.0190 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.0230 | 32.76 | 28.68 | 28.61 | 25.67 | 25.49 | 25.77 |
| Arsénico (As) | mg/L | 0.0050 | 1.580 | 1.348 | 1.349 | 1.295 | 1.305 | 1.150 |
| Boro (B) | mg/L | 0.0260 | <LCM | <LCM | <LCM | 0.048 | 0.049 | 0.115 |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.0040 | 0.0088 | 0.0542 | 0.0520 | 0.0848 | 0.0830 | 0.0958 |
| Berilio (Be) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Bismuto (Bi) | mg/L | 0.0160 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Calcio (Ca) | mg/L | 0.1240 | 75.30 | 177.60 | 175.800 | 151.200 | 151.600 | 164.600 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0.0020 | 0.149 | 0.088 | 0.086 | 0.086 | 0.088 | 0.070 |
| Cobalto (Co) | mg/L | 0.0020 | 0.042 | 0.040 | 0.040 | 0.035 | 0.038 | 0.029 |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0.0030 | 0.056 | 0.054 | 0.059 | 0.073 | 0.071 | 0.105 |
| Cobre (Cu) | mg/L | 0.0180 | 4.865 | 2.570 | 2.574 | 1.673 | 1.676 | 1.127 |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.0230 | 229.8 | 143.1 | 143.1 | 145.1 | 145.1 | 154.9 |
| Potasio (K) | mg/L | 0.0510 | 8.068 | 102.9 | 101.3 | 189.5 | 189.2 | 268.4 |
| Litio (Li) | mg/L | 0.0050 | 0.022 | 0.023 | 0.022 | 0.025 | 0.026 | 0.029 |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 0.0190 | 5.930 | 11.41 | 11.33 | 17.11 | 16.39 | 21.20 |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.0030 | 23.10 | 20.39 | 20.45 | 18.46 | 19.16 | 16.40 |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | 0.0020 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Sodio (Na) | mg/L | 0.0550 | 0.834 | 2.945 | 2.941 | 4.315 | 4.306 | 6.845 |
| Niquel (Ni) | mg/L | 0.0060 | 0.0721 | 0.0598 | 0.0580 | 0.0524 | 0.0510 | 0.0486 |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.0240 | 14.29 | 11.02 | 10.98 | 14.62 | 14.69 | 20.43 |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0.0040 | 0.432 | 0.120 | 0.121 | 0.106 | 0.107 | 0.100 |
| Azufre (S) | mg/L | 0.0910 | 288.2 | 286.5 | 287.2 | 298.6 | 296.3 | 315.6 |
| Antimonio (Sb) | mg/L | 0.0050 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Selenio (Se) | mg/L | 0.0180 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Silicio (Si) | mg/L | 0.1040 | 27.02 | 25.89 | 25.78 | 25.97 | 26.11 | 25.85 |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.0030 | 0.072 | 0.241 | 0.024 | 0.319 | 0.326 | 0.398 |
| Titanio (Ti) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Talio (Tl) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Uranio (U) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Vanadio (V) | mg/L | 0.0040 | 0.079 | 0.070 | 0.068 | 0.064 | 0.073 | 0.074 |
| Zinc (Zn) | mg/L | 0.0180 | 22.720 | 15.910 | 16.000 | 15.782 | 15.778 | 12.823 |
| Cerio | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Estaño (Sn) | mg/L | 0.0070 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM |

Cajamarca, 22 de abril de 2021

ANEXO N°3. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| ENSAYOS | | | QUÍMICOS | | | | | |
|----------------------------|--|---|--|---|--|---|---|--|
| Código de la Muestra | Grupo 1- Duplicado: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 6 horas | Grupo 1: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 8 horas | Grupo 1- Duplicado: 10 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 8 horas | Grupo 2: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 2 horas | Grupo 2- Duplicado: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 2 horas | Grupo 2: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 4 horas | Grupo 2: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 4 horas | |
| Código Laboratorio | 0421314-07 | 0421314-08 | 0421314-09 | 0421314-10 | 0421314-11 | 0421314-12 | 0421314-12 | |
| Matriz | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | |
| Descripción | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | |
| Localización de la Muestra | - | - | - | - | - | - | - | |
| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados de Metales Totales | | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | 0.0190 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.0230 | 26.03 | 23.96 | 23.88 | 21.02 | 20.91 | |
| Arsénico (As) | mg/L | 0.0050 | 1.153 | 1.135 | 1.136 | 1.444 | 1.446 | |
| Boro (B) | mg/L | 0.0260 | 0.113 | <LCM | <LCM | 0.058 | 0.057 | |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.0040 | 0.097 | 0.056 | 0.055 | 0.078 | 0.076 | |
| Berilio (Be) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Bismuto (Bi) | mg/L | 0.0160 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Calcio (Ca) | mg/L | 0.1240 | 164.9 | 177.2 | 176.3 | 161.6 | 160.2 | |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0.0020 | 0.071 | 0.055 | 0.056 | 0.087 | 0.088 | |
| Cobalto (Co) | mg/L | 0.0020 | 0.029 | 0.041 | 0.039 | 0.036 | 0.038 | |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0.0030 | 0.107 | 0.085 | 0.088 | 0.089 | 0.092 | |
| Cobre (Cu) | mg/L | 0.0180 | 1.141 | 0.878 | 0.877 | 1.305 | 1.306 | |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.0230 | 154.90 | 131.90 | 131.90 | 146.60 | 146.60 | |
| Potasio (K) | mg/L | 0.0510 | 269.30 | 87.88 | 87.52 | 151.60 | 150.70 | |
| Litio (Li) | mg/L | 0.0050 | 0.024 | 0.019 | 0.020 | 0.019 | 0.019 | |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 0.0190 | 20.830 | 10.830 | 10.780 | 16.510 | 16.530 | |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.0030 | 16.430 | 18.880 | 18.830 | 17.360 | 17.330 | |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | 0.0020 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Sodio (Na) | mg/L | 0.0550 | 6.833 | 2.683 | 2.691 | 3.382 | 3.368 | |
| Niquel (Ni) | mg/L | 0.0060 | 0.053 | 0.047 | 0.050 | 0.061 | 0.059 | |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.0240 | 20.410 | 10.490 | 10.460 | 15.760 | 15.750 | |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0.0040 | 0.101 | 0.099 | 0.098 | 0.111 | 0.112 | |
| Azufre (S) | mg/L | 0.0910 | 313.80 | 301.70 | 302.20 | 302.10 | 296.90 | |
| Antimonio (Sb) | mg/L | 0.0050 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Selenio (Se) | mg/L | 0.0180 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Silicio (Si) | mg/L | 0.1040 | 25.38 | 23.77 | 24.25 | 24.54 | 25.29 | |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.0030 | 0.404 | 0.247 | 0.242 | 0.317 | 0.317 | |
| Titanio (Ti) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Talio (Tl) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Uranio (U) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Vanadio (V) | mg/L | 0.0040 | 0.071 | 0.063 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | |
| Zinc (Zn) | mg/L | 0.0180 | 12.837 | 10.190 | 10.200 | 15.430 | 15.480 | |
| Cerio | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Estaño (Sn) | mg/L | 0.0070 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |

Legenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 22 de abril de 2021

ANEXO N°4. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| ENSAYOS | | | QUÍMICOS | | | | | |
|----------------------------|--|---|--|---|--|---|--------|--|
| Código de la Muestra | Grupo 2- Duplicado: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 4 horas | Grupo 2: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 6 horas | Grupo 2- Duplicado: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 6 horas | Grupo 2: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 8 horas | Grupo 2- Duplicado: 20 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 8 horas | Grupo 3: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 2 horas | | |
| Código Laboratorio | 0421314-01 | 0421314-02 | 0421314-03 | 0421314-04 | 0421314-05 | 0421314-06 | | |
| Matriz | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | | |
| Descripción | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | | |
| Localización de la Muestra | - | - | - | - | - | - | | |
| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados de Metales Totales | | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | 0.0190 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.0230 | 20.53 | 21.79 | 21.54 | 18.40 | 18.38 | |
| Arsénico (As) | mg/L | 0.0050 | 1.346 | 1.262 | 1.260 | 1.197 | 1.198 | |
| Boro (B) | mg/L | 0.0260 | 0.122 | 0.023 | 0.024 | 0.064 | 0.062 | |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.0040 | 0.099 | 0.061 | 0.059 | 0.096 | 0.097 | |
| Berilio (Be) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Bismuto (Bi) | mg/L | 0.0160 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Calcio (Ca) | mg/L | 0.1240 | 169.7 | 172.9 | 172.6 | 152.1 | 151.3 | |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0.0020 | 0.075 | 0.064 | 0.068 | 0.055 | 0.056 | |
| Cobalto (Co) | mg/L | 0.0020 | 0.031 | 0.039 | 0.037 | 0.032 | 0.031 | |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0.0030 | 0.177 | 0.054 | 0.053 | 0.107 | 0.109 | |
| Cobre (Cu) | mg/L | 0.0180 | 0.759 | 0.653 | 0.651 | 0.630 | 0.631 | |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.0230 | 152.40 | 128.70 | 128.70 | 129.30 | 129.30 | |
| Potasio (K) | mg/L | 0.0510 | 193.90 | 78.89 | 77.20 | 139.10 | 138.50 | |
| Litio (Li) | mg/L | 0.0050 | 0.021 | 0.018 | 0.020 | 0.018 | 0.019 | |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 0.0190 | 19.44 | 10.32 | 10.39 | 15.11 | 15.13 | |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.0030 | 14.83 | 17.85 | 17.88 | 15.59 | 15.66 | |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | 0.0020 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Sodio (Na) | mg/L | 0.0550 | 4.620 | 2.223 | 2.221 | 3.201 | 3.186 | |
| Níquel (Ni) | mg/L | 0.0060 | 0.055 | 0.050 | 0.053 | 0.048 | 0.051 | |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.0240 | 21.530 | 10.230 | 10.190 | 14.340 | 14.360 | |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0.0040 | 0.109 | 0.107 | 0.108 | 0.104 | 0.105 | |
| Azufre (S) | mg/L | 0.0910 | 309.50 | 282.90 | 285.40 | 283.90 | 281.20 | |
| Antimonio (Sb) | mg/L | 0.0050 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Selenio (Se) | mg/L | 0.0180 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Silicio (Si) | mg/L | 0.1040 | 22.84 | 21.910 | 22.010 | 22.270 | 23.190 | |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.0030 | 0.373 | 0.256 | 0.255 | 0.306 | 0.303 | |
| Titanio (Ti) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Talio (Tl) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Uranio (U) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Vanadio (V) | mg/L | 0.0040 | 0.065 | 0.062 | 0.063 | 0.060 | 0.066 | |
| Zinc (Zn) | mg/L | 0.0180 | 12.969 | 11.370 | 11.420 | 9.663 | 9.669 | |
| Cerio | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Estaño (Sn) | mg/L | 0.0070 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 22 de abril de 2021

ANEXO N°5. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| ENSAYOS | | | QUÍMICOS | | | | | |
|----------------------------|--|--|---|--|---|--|--------|--|
| Código de la Muestra | Grupo 3- Duplicado: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido en 2 horas | Grupo 3: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido 4 horas | Grupo 3- Duplicado: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido 4 horas | Grupo 3: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido 6 horas | Grupo 3- Duplicado: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido 6 horas | Grupo 3: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido 8 horas | | |
| Código Laboratorio | 0421314-01 | 0421314-02 | 0421314-03 | 0421314-04 | 0421314-05 | 0421314-06 | | |
| Matriz | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | Residual | | |
| Descripción | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | Industrial | | |
| Localización de la Muestra | - | - | - | - | - | - | | |
| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados de Metales Totales | | | | LCM | |
| Plata (Ag) | mg/L | 0.0190 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.0230 | 18.31 | 27.01 | 26.66 | 22.87 | 19.92 | |
| Arsénico (As) | mg/L | 0.0050 | 1.475 | 1.265 | 1.268 | 1.159 | 1.156 | |
| Boro (B) | mg/L | 0.0260 | 0.150 | 0.045 | 0.044 | 0.111 | 0.109 | |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.0040 | 0.105 | 0.081 | 0.078 | 0.117 | 0.116 | |
| Berilio (Be) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Bismuto (Bi) | mg/L | 0.0160 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Calcio (Ca) | mg/L | 0.1240 | 167.5 | 207.4 | 105.9 | 179.3 | 179.1 | |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0.0020 | 0.090 | 0.068 | 0.069 | 0.053 | 0.054 | |
| Cobalto (Co) | mg/L | 0.0020 | 0.022 | 0.042 | 0.040 | 0.035 | 0.039 | |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0.0030 | 0.394 | 0.061 | 0.058 | 0.099 | 0.108 | |
| Cobre (Cu) | mg/L | 0.0180 | 1.584 | 1.010 | 1.008 | 0.723 | 0.724 | |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.0230 | 151.90 | 132.50 | 132.50 | 137.80 | 137.80 | |
| Potasio (K) | mg/L | 0.0510 | 174.30 | 100.80 | 99.40 | 182.50 | 181.50 | |
| Litio (Li) | mg/L | 0.0050 | 0.023 | 0.022 | 0.018 | 0.024 | 0.023 | |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 0.0190 | 17.81 | 12.73 | 12.66 | 18.34 | 18.30 | |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.0030 | 13.54 | 20.71 | 20.66 | 17.36 | 17.41 | |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | 0.0020 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Sodio (Na) | mg/L | 0.0550 | 4.172 | 2.855 | 2.904 | 5.498 | 5.506 | |
| Niquel (Ni) | mg/L | 0.0060 | 0.058 | 0.054 | 0.056 | 0.045 | 0.049 | |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.0240 | 18.120 | 10.850 | 10.760 | 16.820 | 16.830 | |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0.0040 | 0.137 | 0.121 | 0.120 | 0.116 | 0.115 | |
| Azufre (S) | mg/L | 0.0910 | 308.60 | 304.30 | 304.20 | 305.80 | 303.90 | |
| Antimonio (Sb) | mg/L | 0.0050 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Selenio (Se) | mg/L | 0.0180 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Silicio (Si) | mg/L | 0.1040 | 21.63 | 26.510 | 26.530 | 25.380 | 25.330 | |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.0030 | 0.374 | 0.346 | 0.339 | 0.442 | 0.441 | |
| Titanio (Ti) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Talio (Tl) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Uranio (U) | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Vanadio (V) | mg/L | 0.0040 | 0.062 | 0.068 | 0.065 | 0.067 | 0.065 | |
| Zinc (Zn) | mg/L | 0.0180 | 15.800 | 12.183 | 12.220 | 9.192 | 9.194 | |
| Cerio | mg/L | 0.0040 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Estaño (Sn) | mg/L | 0.0070 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0.0030 | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | <LCM | |

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 22 de abril de 2021

ANEXO N°6. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| ENSAYOS | | | QUÍMICOS | | | | | |
|----------------------------|---|--------|-------------------------------|---|---|---|---|---|
| Código de la Muestra | Grupo 3- Duplicado: 30 g de cascara de limón/L de drenaje ácido 8 horas | | - | - | - | - | - | |
| Código Laboratorio | 0421314-01 | | - | - | - | - | - | |
| Matriz | Residual | | - | - | - | - | - | |
| Descripción | Industrial | | - | - | - | - | - | |
| Localización de la Muestra | | | - | - | - | - | - | |
| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados de Metales Totales | | | | | |
| Plata (Ag) | mg/L | 0.0190 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.0230 | 19.87 | - | - | - | - | - |
| Arsénico (As) | mg/L | 0.0050 | 1.069 | - | - | - | - | - |
| Boro (B) | mg/L | 0.0260 | 0.181 | - | - | - | - | - |
| Bario (Ba) | mg/L | 0.0040 | 0.111 | - | - | - | - | - |
| Berilio (Be) | mg/L | 0.0030 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Bismuto (Bi) | mg/L | 0.0160 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Calcio (Ca) | mg/L | 0.1240 | 184.3 | - | - | - | - | - |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0.0020 | 0.045 | - | - | - | - | - |
| Cobalto (Co) | mg/L | 0.0020 | 0.026 | - | - | - | - | - |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0.0030 | 0.326 | - | - | - | - | - |
| Cobre (Cu) | mg/L | 0.0180 | 0.678 | - | - | - | - | - |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.0230 | 131.00 | - | - | - | - | - |
| Potasio (K) | mg/L | 0.0510 | 199.10 | - | - | - | - | - |
| Litio (Li) | mg/L | 0.0050 | 0.019 | - | - | - | - | - |
| Magnesio (Mg) | mg/L | 0.0190 | 19.750 | - | - | - | - | - |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.0030 | 14.610 | - | - | - | - | - |
| Molibdeno (Mo) | mg/L | 0.0020 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Sodio (Na) | mg/L | 0.0550 | 4.716 | - | - | - | - | - |
| Niquel (Ni) | mg/L | 0.0060 | 0.036 | - | - | - | - | - |
| Fósforo (P) | mg/L | 0.0240 | 20.38 | - | - | - | - | - |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0.0040 | 0.110 | - | - | - | - | - |
| Azufre (S) | mg/L | 0.0910 | 314.60 | - | - | - | - | - |
| Antimonio (Sb) | mg/L | 0.0050 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Selenio (Se) | mg/L | 0.0180 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Silicio (Si) | mg/L | 0.1040 | 23.14 | - | - | - | - | - |
| Estroncio (Sr) | mg/L | 0.0030 | 0.428 | - | - | - | - | - |
| Titanio (Ti) | mg/L | 0.0040 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Talio (Tl) | mg/L | 0.0030 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Uranio (U) | mg/L | 0.0040 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Vanadio (V) | mg/L | 0.0040 | 0.059 | - | - | - | - | - |
| Zinc (Zn) | mg/L | 0.0180 | 8.315 | - | - | - | - | - |
| Cerio | mg/L | 0.0040 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Estaño (Sn) | mg/L | 0.0070 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0.0030 | <LCM | - | - | - | - | - |

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 22 de abril de 2021

ANEXO N°7. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0421314

| Ensayo | Unidad | Método de Ensayo Utilizado |
|--|--------|---|
| Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, U, V, Zn) | mg/L | EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry |

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido expreso.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 22 de abril de 2021



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

ANEXO N°8. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo para cáscara de limón.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° 0421315

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **IRVIN ARLINST VALVERDE RODRÍGUEZ**
Dirección -
Persona de contacto - Correo electrónico arlinst.ir@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **13.04.21** Hora de Muestreo **08:00**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **01**
Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **TESIS: "EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE BIOADSORCIÓN DE METALES PESADOS DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA UTILIZANDO CÁSCARA DE LIMÓN"**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **Muestra Interna** Cadena de Custodia **CC -315- 20**
Fecha y Hora de Recepción **13.04.21 08:45** Inicio de Ensayo **15.04.21 11:00**
Reporte Resultado **22.04.21 10:00**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio CIP:
147028

Cajamarca, 22 de abril de 2021.

ANEXO N°9. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo para cáscara de limón.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° 0421315

| ENSAYOS | | | QUÍMICOS | | | | | |
|----------------------------|--------|-------|-------------------------------|---|---|---|---|---|
| Código de la Muestra | | | CASCARA SECA DE LIMÓN | - | - | - | - | - |
| Código Laboratorio | | | 0421315 | - | - | - | - | - |
| Matriz | | | SÓLIDA | - | - | - | - | - |
| Descripción | | | - | - | - | - | - | - |
| Localización de la Muestra | | | - | - | - | - | - | - |
| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados de Metales Totales | | | | | |
| Plata (Ag) | mg/Kg | 1.700 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Aluminio (Al) | mg/Kg | 2.200 | 9.770 | - | - | - | - | - |
| Arsénico (As) | mg/Kg | 0.300 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Boro (B) | mg/Kg | 2.100 | 21.15 | - | - | - | - | - |
| Bario (Ba) | mg/Kg | 0.200 | 8.800 | - | - | - | - | - |
| Berilio (Be) | mg/Kg | 0.200 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Calcio (Ca) | mg/Kg | 1.600 | 8474.0 | - | - | - | - | - |
| Cadmio (Cd) | mg/Kg | 7.000 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Cobalto (Co) | mg/Kg | 0.200 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Cromo (Cr) | mg/Kg | 0.200 | 24.63 | - | - | - | - | - |
| Cobre (Cu) | mg/Kg | 0.200 | 2.620 | - | - | - | - | - |
| Hierro (Fe) | mg/Kg | 1.400 | 197.5 | - | - | - | - | - |
| Mercurio (Hg) | mg/Kg | 0.020 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Potasio (K) | mg/Kg | 1.900 | 9561.0 | - | - | - | - | - |
| Litio (Li) | mg/Kg | 4.900 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Magnesio (Mg) | mg/Kg | 0.400 | 712.9 | - | - | - | - | - |
| Manganeso (Mn) | mg/Kg | 1.700 | 4.050 | - | - | - | - | - |
| Molibdeno (Mo) | mg/Kg | 0.200 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Sodio (Na) | mg/Kg | 0.200 | 236.2 | - | - | - | - | - |
| Niquel (Ni) | mg/Kg | 1.800 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Fósforo (P) | mg/Kg | 0.200 | 798.1 | - | - | - | - | - |
| Plomo (Pb) | mg/Kg | 2.000 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Antimonio (Sb) | mg/Kg | 0.300 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Selenio (Se) | mg/Kg | 8.500 | 21.81 | - | - | - | - | - |
| Silicio (Si) | mg/Kg | 0.500 | 44.59 | - | - | - | - | - |
| Estaño (Sn) | mg/Kg | 0.400 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Estroncio (Sr) | mg/Kg | 1.700 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Titanio (Ti) | mg/Kg | 8.500 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Talio (Tl) | mg/Kg | 0.200 | <LCM | - | - | - | - | - |
| Vanadio (V) | mg/Kg | 0.400 | 0.560 | - | - | - | - | - |
| Zinc (Zn) | mg/Kg | 0.300 | 13.74 | - | - | - | - | - |

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 22 de abril de 2021.

ANEXO N°10. Informe de ensayo emitido por laboratorio externo para cáscara de limón.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° 0421315

| Ensayo | Unidad | Método de Ensayo Utilizados |
|--|--------|--|
| Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, U, V, Zn) | mg/L | EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry |

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 - ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.



"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 22 de abril de 2021.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

ANEXO N°11. Bocamina escogida para la toma de muestra.



ANEXO N°12. Lectura de parámetro de campo y toma de muestra.



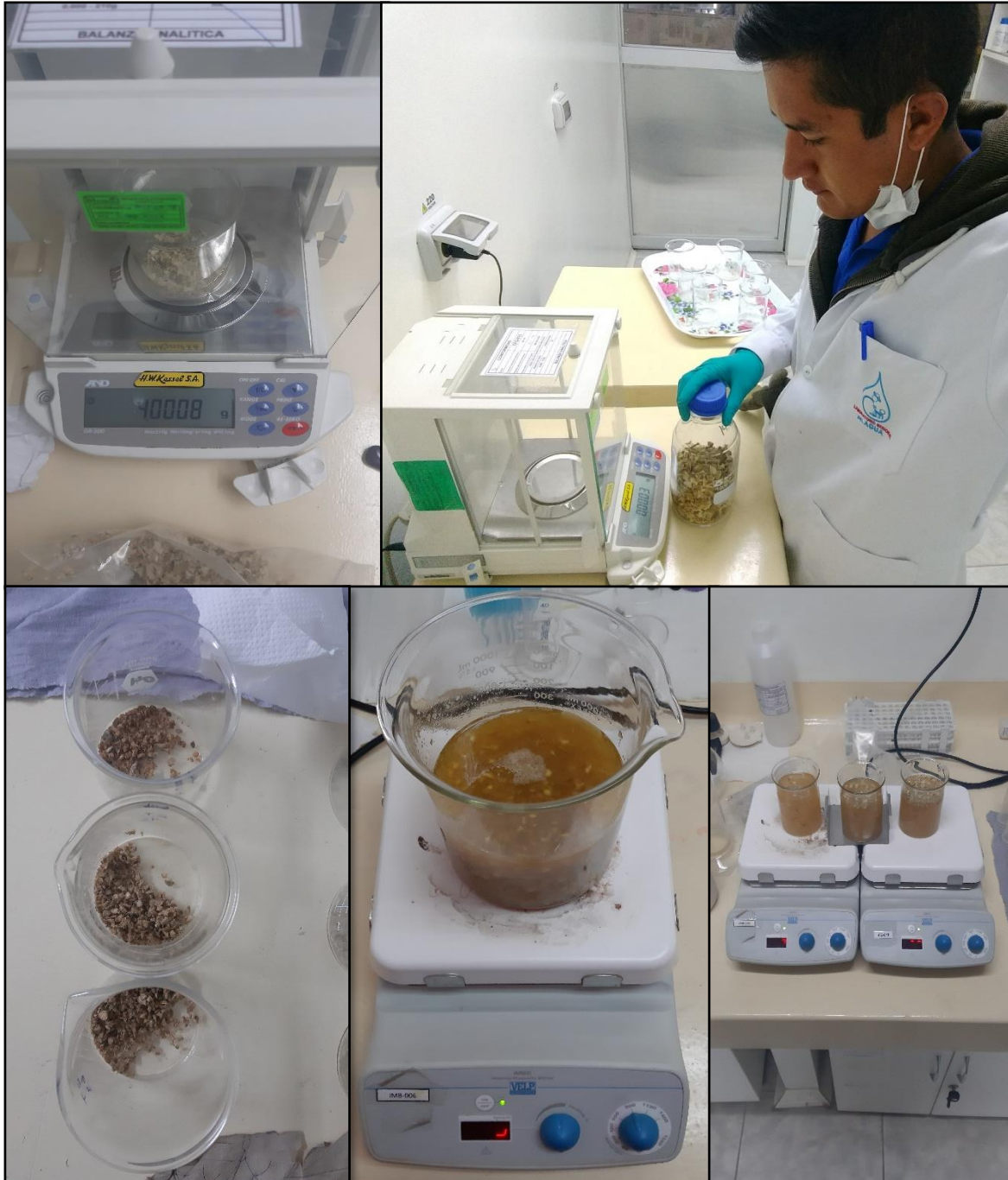
ANEXO N°13. Medición del pH en campo.



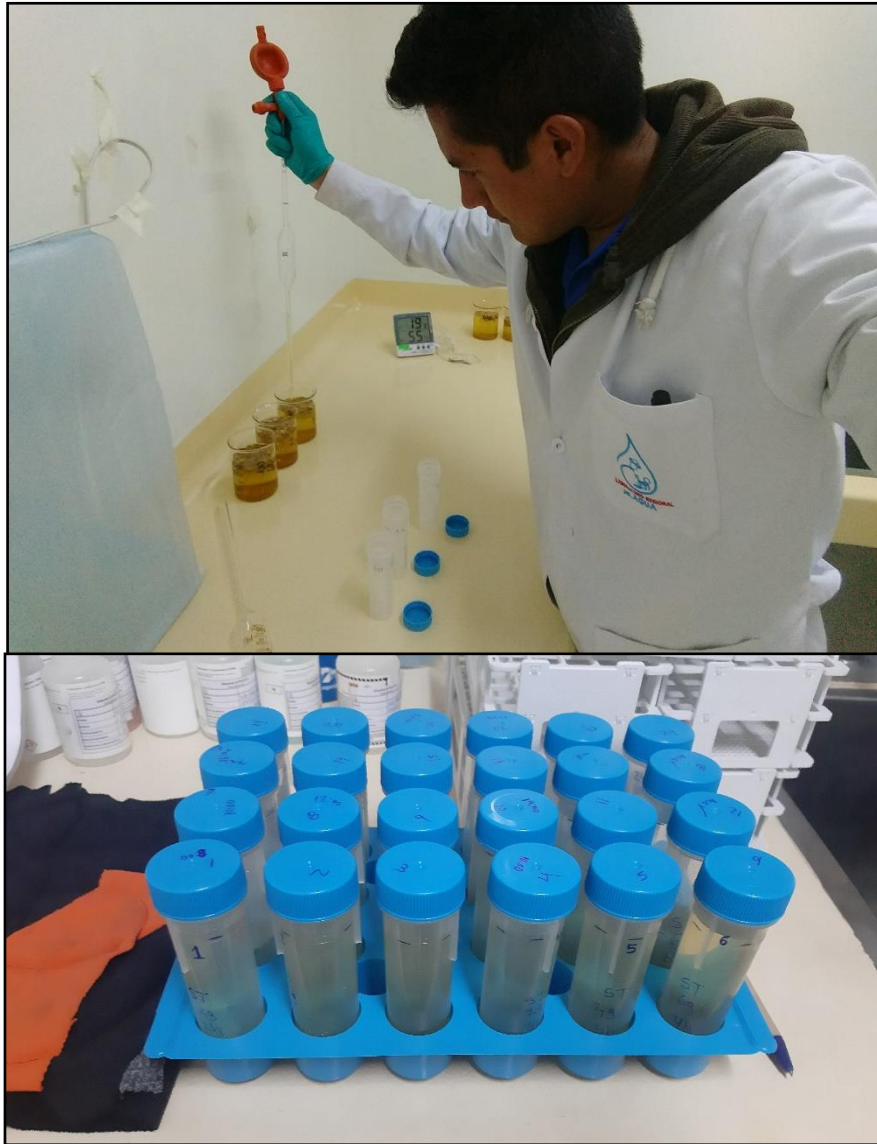
ANEXO N°14. Preparación de la cáscara de limón usada en el trabajo experimental.



ANEXO N°15. Desarrollo del diseño experimental.



ANEXO N°16. Extracción de alícuotas para su análisis en laboratorio.



ANEXO N°17. Límites Máximos Permisibles según D.S. N°010-2010-MINAM

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS | | | | |
|---|----|--------|-----------------------------|-------------------------------|
| Parámetro | | Unidad | Límite en cualquier momento | Límite para el Promedio anual |
| pH | | | 6 - 9 | 6 - 9 |
| Sólidos Totales | en | mg/L | 50 | 25 |
| Suspensión | | | | |
| Aceites y Grasas | | mg/L | 20 | 16 |
| Cianuro Total | | mg/L | 1 | 0,8 |
| Arsénico Total | | mg/L | 0,1 | 0,08 |
| Cadmio Total | | mg/L | 0,05 | 0,04 |
| Cromo Hexavalente(*) | | mg/L | 0,1 | 0,08 |
| Cobre Total | | mg/L | 0,5 | 0,4 |
| Hierro (Disuelto) | | mg/L | 2 | 1,6 |
| Plomo Total | | mg/L | 0,2 | 0,16 |
| Mercurio Total | | mg/L | 0,002 | 0,0016 |
| Zinc Total | | mg/L | 1,5 | 1,2 |

Fuente: Ministerio del Ambiente 2010.