

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE AGUAS CONTAMINADAS

UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst

Tesis presentada por:

Br. Vargas Robles, Rocio Victory

Para optar el título profesional de INGENIERO QUÍMICO

Asesora:

Dra. Maldonado Farfán, Amanda Rosa

Co asesor:

Mgt. Fernández Bernaola, Uriel Raúl

Financiado por FONDECYT

Cusco

2022

Presentación

Señora decana y distinguidos docentes del Departamento Académico de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento con el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química vigente a la fecha, presento a vuestra consideración el trabajo de tesis intitulado:

“BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE AGUAS CONTAMINADAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst”

Los estudios y pruebas se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Escuela Profesional de Ingeniería Química donde se determinaron las condiciones necesarias para la biosorción de Cr (III) de aguas contaminadas y el estudio del fenómeno que abarca dicho proceso empleando la biomasa residual de *Pennisetum clandestinum* Hochst.

Dedicatoria

Tengo la dicha de dedicar este trabajo a mis padres, Daniel y Roxana por todo el esfuerzo que hicieron para que mis hermanos y yo salgamos adelante, a mis hermanos Libert, Hildrex y Mijail, quienes siempre estuvieron a mi lado para alentarme, inspirarme y motivarme.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a Dios, a la Virgen del Carmen y a todas las personas que me apoyaron durante todos estos años para poder llegar hasta este momento.

Agradezco al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) por financiar la investigación y facilitarme su ejecución.

Agradezco a mi asesora, Dra. Amanda Maldonado Farfán, una persona que transmite su gran entusiasmo por la ciencia y la investigación a todos los que rodea y de la que se aprende mucho, alguien a quien admirar y admiro mucho por toda su entrega en cada proyecto en el que esta. Muchas gracias por brindarme todos sus conocimientos en cada momento.

También me gustaría agradecer a mi Co asesor, Mgt. Uriel Fernández Bernaola, por guiarme y ayudarme en todo este trayecto, por siempre mostrar comprensión, disposición y solución a algunos imprevistos que surgieron. Muchas gracias Ingeniero por toda su entrega.

Mostrar mi agradecimiento a los Ingenieros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química y al Prof. Melquiades por brindarme su apoyo y su conocimiento.

Darle las gracias también a mi Amiga Gabriela Villasante, por apoyarme en el laboratorio desde el primer instante, sé que ambas aprendimos muchísimo este año.

Agradecer también a mis amigos del laboratorio; Yojhan, Clever y Alvaro por haberme ayudado siempre en lo que necesitaba y darme muchos ánimos con el trabajo.

Finalmente, pero no menos importante quisiera agradecer a mi familia porque sin ellos no me hubiera sido posible llegar hasta aquí, por interesarse en lo que hacía en el laboratorio, aunque les sonara un poco a chino, por motivarme a terminar todo lo que empiezo, por exigirme siempre, por todo el sacrificio que hicieron por mí, Gracias familia, los amo mucho.

Índice General

| | |
|---|-----|
| Presentación | ii |
| Dedicatoria..... | iii |
| Agradecimientos | iv |
| Índice General..... | v |
| Resumen..... | xiv |
| Capítulo I | 1 |
| 1. Generalidades..... | 2 |
| 1.1. Introducción..... | 2 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 3 |
| 1.2.1. Problema general | 4 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 4 |
| 1.3. Objetivos..... | 4 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 4 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 5 |
| 1.4. Justificación | 5 |
| Capítulo II..... | 6 |
| 2. Fundamento teórico | 7 |
| 2.1. Antecedentes..... | 7 |
| 2.2. Contaminación del agua..... | 11 |
| 2.3. Metales pesados | 11 |
| 2.4. Cromo | 12 |
| 2.4.1. Las aplicaciones del cromo en la industria | 13 |
| 2.5. Tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas | 13 |
| 2.6. Sorción:..... | 15 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| 2.7. | Adsorción y adsorbentes..... | 16 |
| 2.8. | Factores que influyen en la adsorción..... | 18 |
| 2.8.1. | pH..... | 18 |
| 2.8.2. | Naturaleza del biosorbente..... | 20 |
| 2.8.3. | Efecto de la temperatura | 20 |
| 2.8.4. | Dosis | 20 |
| 2.8.5. | Tamaño de la partícula..... | 21 |
| 2.8.6. | Área superficial..... | 21 |
| 2.8.7. | Velocidad de agitación..... | 21 |
| 2.9. | Desorción..... | 21 |
| 2.10. | Biosorción..... | 22 |
| 2.11. | Modelos cinéticos..... | 24 |
| 2.11.1. | Modelo de pseudo primer orden..... | 24 |
| 2.11.2. | Modelo de pseudo segundo orden..... | 24 |
| 2.11.3. | Modelo Elovich..... | 25 |
| 2.12. | <i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst (Kikuyo) | 25 |
| 2.13. | Activación de la biomasa..... | 30 |
| 2.14. | Técnicas para la caracterización | 31 |
| 2.14.1. | Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)..... | 31 |
| 2.14.2. | Método BET..... | 32 |
| 2.14.3. | Microscopia Electrónica de Barrido (SEM/ EDS)..... | 32 |
| 2.15. | Normativa Peruana | 33 |
| Capítulo III..... | | 35 |
| 3. | Materiales y métodos | 36 |
| 3.1. | Muestra | 36 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 3.2. | Lugar de la investigación..... | 36 |
| 3.3. | Materiales..... | 36 |
| 3.4. | Métodos | 39 |
| 3.4.1. | Preparación del biosorbente..... | 39 |
| 3.4.2. | Determinación de humedad | 47 |
| 3.4.3. | Caracterización de la biomasa y del biosorbente..... | 47 |
| 3.4.4. | Preparación de aguas sintéticas de Cr (III) | 49 |
| 3.4.5. | Proceso de adsorción..... | 49 |
| 3.4.6. | Modelo matemático | 54 |
| 3.4.7. | Estudio cinético..... | 54 |
| 3.4.8. | Prueba de adsorción con el agua real..... | 58 |
| 3.4.9. | Regeneración del biosorbente | 61 |
| Capítulo IV..... | | 65 |
| 4. | Resultados y Discusión | 66 |
| 4.1. | Rendimiento del proceso de activación química. | 66 |
| 4.2. | Caracterización de la biomasa y biosorbente..... | 68 |
| 4.2.1. | Determinación de la humedad | 68 |
| 4.2.2. | Análisis de espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).. | 68 |
| 4.2.3. | Método BET..... | 73 |
| 4.2.4. | Técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM/EDS) | 76 |
| 4.3. | Pruebas de adsorción | 83 |
| 4.4. | Análisis estadístico | 84 |
| 4.4.1. | Efectos estimados para la capacidad de adsorción | 84 |
| 4.4.2. | Análisis de varianza | 87 |
| 4.4.3. | Modelo matemático del proceso de adsorción:..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| 4.5. Modelo cinético | 91 |
| 4.5.1. Modelo de pseudo primer orden | 93 |
| 4.5.2. Modelo de Elovich..... | 94 |
| 4.5.3. Modelo de pseudo segundo orden..... | 96 |
| 4.6. Pruebas de adsorción con el agua real | 101 |
| 4.6.1. Caracterización del agua real | 101 |
| 4.6.2. Proceso de biosorción de muestra real..... | 102 |
| 4.7. Estudio de regeneración del biosorbente saturado..... | 103 |
| 4.7.1. Proceso de adsorción con el biosorbente regenerado | 105 |
| 5. Conclusiones | 106 |
| 6. Recomendaciones..... | 108 |
| 7. Referencias..... | 109 |
| Apéndice | 121 |
| Apéndice 1 | 122 |
| Anexos | 123 |
| Anexo A: Resultados de la caracterización FTIR..... | 124 |
| Anexo B: Resultados de la caracterización BET | 130 |
| Anexo C: Resultados de la caracterización SEM/EDS..... | 133 |
| Anexo D: Resultados de las pruebas de adsorción | 146 |
| Anexo E: Resultados de la cinética de adsorción | 180 |
| Anexo F: Resultados de la caracterización fisicoquímica del Agua Real | 210 |
| Anexo G: Resultados del análisis de adsorción atómica del agua real filtrada y tratada con el biosorbente..... | 213 |
| Anexo H: Resultado de proceso de regeneración | 215 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Solubilidad del cromo a diferentes pH | 19 |
| Figura 2 Pennisetum clandestinum Hochst (Kikuyo) | 26 |
| Figura 3 Residuos de césped acumulados al costado de las canchas de la UNSAAC | 28 |
| Figura 4 Estructura química de celulosa | 28 |
| Figura 5 Estructura Química de la Hemicelulosa | 29 |
| Figura 6 Estructura Química de la Lignina | 30 |
| Figura 7 Diagrama de bloques de la obtención del biosorbente activado | 40 |
| Figura 8 Residuos de kikuyo de la poda de jardines | 41 |
| Figura 9 Recolección de la muestra | 42 |
| Figura 10 Lavado de kikuyo | 42 |
| Figura 11 Secado de la biomasa | 43 |
| Figura 12 Molienda de la biomasa de kikuyo | 43 |
| Figura 13 Pesaje de la biomasa de kikuyo | 44 |
| Figura 14 Equipo Soxhlet del laboratorio de tecnologías | 45 |
| Figura 15 Secado de biosorbente activado a temperatura ambiente | 45 |
| Figura 16 Molienda del biosorbente activado (BA) | 46 |
| Figura 17 Biosorbente activado a diferentes tamaños de malla (212, 159 y 106 μm) | 46 |
| Figura 18 Solución madre 250 ppm y dilución de 50 ppm de Cr (III) | 49 |
| Figura 19 Equipo de prueba de jarras | 50 |
| Figura 20 Diagrama de bloques del proceso de adsorción | 52 |
| Figura 21 Proceso de filtración | 53 |
| Figura 22 Equipo de agitación magnética | 55 |
| Figura 23 Diagrama de bloques para la adsorción de Cr (III) con el biosorbente en la muestra real | 59 |

| | |
|--|-----|
| Figura 24 Recolección del agua real..... | 60 |
| Figura 25 Proceso de adsorción agua real | 60 |
| Figura 26 Proceso de desorción del biosorbente saturado..... | 62 |
| Figura 27 Proceso de regeneración del biosorbente saturado con Cr (III) | 62 |
| Figura 28 Diagrama de bloques del proceso de biosorción de Cr (III) de aguas contaminadas utilizando <i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst (kikuyo) | 64 |
| Figura 29 Diagrama de bloques cuantitativo de la preparación del biosorbente de kikuyo ... | 66 |
| Figura 30 Espectro FTIR de biomasa de kikuyo (BK) | 69 |
| Figura 31 Espectro FTIR del biosorbente activado (BA)..... | 70 |
| Figura 32 Espectro FTIR biosorbente saturado con Cr (III) (BS)..... | 71 |
| Figura 33 Micrografía morfológica a 2000X y 100 X del biosorbente activado..... | 76 |
| Figura 34 Micrografía morfológica a 400X y 50X del biosorbente saturado..... | 77 |
| Figura 35 Micrografía morfológica zona de análisis 1– 300X biosorbente activado..... | 78 |
| Figura 36 Espectro obtenido de la zona de análisis 1; área 1, 2 y 3 | 79 |
| Figura 37 Imagen de zona de análisis 3, 1200X biosorbente saturado..... | 80 |
| Figura 38 Espectro obtenido de la zona de análisis 3; área 1, 2 y 3 | 82 |
| Figura 39 Efectos principales para la capacidad de adsorción (q)..... | 86 |
| Figura 40 Diagrama de Pareto estandarizado para q | 86 |
| Figura 41 Superficie de respuesta estimada, tamaño = 159..... | 89 |
| Figura 42 Contornos de la superficie de respuesta estimada, tamaño = 159 | 90 |
| Figura 43 Cinética de adsorción de Cr (III) experimental | 92 |
| Figura 44 Modelo cinético de pseudo primer orden..... | 93 |
| Figura 45 Modelo cinético Elovich | 95 |
| Figura 46 Modelo cinético de pseudo segundo orden | 96 |
| Figura 47 Capacidades de adsorción experimentales y modeladas. | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 48 Resultados de la desorción del BS | 103 |
|--|-----|

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Reactivos utilizados en la investigación | 36 |
| Tabla 2 Equipos utilizados en la investigación..... | 38 |
| Tabla 3 Instrumentos utilizados en la investigación..... | 39 |
| Tabla 4 Factores y niveles..... | 50 |
| Tabla 5 Diseño del plan experimental..... | 51 |
| Tabla 6 Balance de masa del proceso de activación química | 67 |
| Tabla 7 Datos de porcentaje de humedad | 68 |
| Tabla 8 Grupos funcionales de biomasa de kikuyo, biosorbente y biosorbente saturado caracterizados..... | 72 |
| Tabla 9 Resultados para la biomasa de kikuyo (BK)..... | 73 |
| Tabla 10 Resultados para el biosorbente activado | 74 |
| Tabla 11 Resultados del análisis elemental (EDS) del biosorbente activado | 78 |
| Tabla 12 Resultados del análisis elemental (EDS) del biosorbente saturado (BS)..... | 81 |
| Tabla 13 Resultados de la capacidad de adsorción | 83 |
| Tabla 14 Efectos estimados..... | 85 |
| Tabla 15 Análisis de varianza | 87 |
| Tabla 16 Coeficiente de regresión para la capacidad de adsorción (q)..... | 88 |
| Tabla 17 Resultados promedio de capacidad de adsorción en función del tiempo..... | 91 |
| Tabla 18 Parámetros de ajuste para el modelamiento de pseudo primer orden..... | 94 |
| Tabla 19 Parámetros de ajuste para el modelamiento de Elovich..... | 96 |
| Tabla 20 Parámetros de ajuste para el modelamiento de pseudo segundo orden | 97 |
| Tabla 21 Parámetros de ajuste cinético de los 3 modelos estudiados | 97 |
| Tabla 22 Capacidades de adsorción experimentales y modeladas con la ecuación de pseudo segundo orden. | 99 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 23 Resultados de caracterización de la muestra de agua real | 101 |
| Tabla 24 Resultado de la capacidad de adsorción utilizando el biosorbente de kikuyo en muestra de agua real..... | 102 |
| Tabla 25 Resultados promedio del estudio de regeneración..... | 103 |
| Tabla 26 Resultados prueba de adsorción con biosorbente regenerado..... | 105 |

Resumen

La investigación tiene como objetivo estudiar la biosorción de Cr (III) en aguas simuladas y aguas reales utilizando biomasa residual de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo). Se realizó la preparación de la biomasa y posteriormente la activación química mediante hidrólisis ácida y básica, que permitió mejorar su contenido en lignina, hemicelulosa y celulosa, que son responsables de la capacidad de adsorción.

La biomasa de kikuyo (BK), biosorbente activado (BA) y biosorbente saturado (BS), fueron caracterizados morfológicamente, mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM); químicamente por análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y mediante la isoterma BET para la determinación del área superficial.

El proceso de adsorción se realizó en el equipo de prueba de jarras donde se evaluaron la influencia de las variables tamaño de partícula del biosorbente, pH de la solución contaminada y dosis del biosorbente en la adsorción de Cr (III) expresada en mg de Cr (III) adsorbido/g de biosorbente. Se obtuvo una capacidad de adsorción $q = 47.9$ mg/g a un tamaño de biosorbente de $106 \mu\text{m}$, dosis de biosorbente de $0,5$ g/L y pH igual a $5,5$.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó empleando el software Statgraphics centurión 18, se estableció el modelo matemático que relaciona las variables de estudio en el proceso de biosorción.

La cinética de adsorción del Cr (III) fue estudiada por los modelos cinéticos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y Elovich y el que mejor describió el proceso de biosorción fue el modelo de pseudo segundo orden, obteniendo un $R^2 = 0.9995$ y $V_0 = 333.33$ mg/g min; Además, se realizó el proceso de adsorción con los efluentes de la Industria Peletera ASAPES, a las mejores condiciones del proceso y se logró una capacidad de adsorción igual a 37.6 mg/g.

Se realizó el tratamiento de desorción del biosorbente saturado para determinar si presenta capacidad de regeneración, teniendo como resultado una desorción del 81.41% a pH 3. Finalmente, se hizo una prueba de adsorción con el biosorbente regenerado (BR) del cual se obtuvo una capacidad de adsorción de 28.7 mg/g.

Palabras clave: Biosorción, Pennisetum clandestino Hochst, Cromo (III), Adsorción, regeneración.

Capítulo I

1. Generalidades

1.1. Introducción

De acuerdo a Basso et al. (2002) la progresiva utilización de metales pesados como el plomo, cromo, mercurio, cadmio y níquel en los procesos industriales tiene como resultado un aumento de la contaminación del ambiente, ya que los metales son arrastrados en los efluentes a medios acuáticos, almacenándose en los ecosistemas.

Existen métodos de tratamientos de aguas contaminadas por metales pesados en bajas concentraciones que se encuentran en su estado iónico, estos métodos pueden ser procesos de intercambio iónico, precipitación, electrolisis, coagulación y floculación (Sánchez, 2018a). Basso et al., (2002), menciona que generalmente tienen un alto costo debido a la necesidad de hacer modificaciones físicas o químicas y a la necesidad de reactivos químicos, de tal manera que se busca otras alternativas, dentro de las cuales se encuentra la biosorción.

La biosorción es una técnica de bajo costo, con una elevada eficiencia y una reducción de productos químicos (Tejada et al., 2015). Para ello se utilizan materiales biosorbentes que generalmente engloban celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, lípidos y polisacáridos, conteniendo numerosos grupos funcionales; como grupos carboxilo, hidroxilo y amino que, gracias a su susceptibilidad a unirse a los iones metálicos, son los encargados de capturar a los metales pesados en su superficie (Pinzón y Tamayo, 2008).

En la investigación, como material biosorbente se estudió la biomasa de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo), para capturar los iones Cr (III) de aguas simuladas y aguas reales provenientes de la Industria Peletera ASAPES de la localidad de Sicuani – Cusco.

Las variables de estudio fueron pH de la solución contaminada, tamaño de biosorbente y dosis del biosorbente.

1.2. Formulación del problema

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), ha considerado a los metales pesados como arsénico, cromo, plomo, cadmio, níquel, mercurio y cobre dentro de las sustancias más peligrosas para la salud, ya que en muy bajas concentraciones presentan alta toxicidad (Horsfall et al., 2003).

El cromo, en sus diferentes estados de valencia es catalogado como peligroso para los seres humanos. Puede producir tumores pulmonares por inhalación, causa hipersensibilización de la piel y el Cr (VI) tiende a ser cancerígeno. Dependiendo de las condiciones del medio ocurre el desplazamiento de Cr (III) a Cr (VI) (Azabache, 2003). Cabe destacar que de acuerdo al decreto supremo N° 010-2019-VIVIENDA el valor máximo admisible para el cromo total en descargas de aguas residuales no domésticos al sistema de alcantarillado sanitario es de 10 mg/L un valor por encima indicaría un incumplimiento de la ley peruana.

Por otro lado, la inadecuada gestión de residuos sólidos es también una problemática creciente. Este es el caso de los residuos generados por la poda de los jardines municipales y domiciliarios que están constituidos por *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo).

El kikuyo es una planta de crecimiento acelerado y que abunda en la ciudad del Cusco y en el Perú. Estos residuos son desechados a los ríos, botaderos o hasta incinerados contribuyendo a la contaminación ambiental. Solo en muy pocos casos (como en la Municipalidad Distrital de San Jerónimo) son utilizados como materia prima para la producción de compost.

Investigaciones nacionales también abordaron la problemática de descontaminación de aguas con metales pesados utilizando como biosorbente al *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo), tales como Maldonado et al. (2012) y Cárdenas y Ulloa (2013). Por lo tanto, cobra importancia conocer si la biomasa residual del *Pennisetum clandestinum* Hochst

(kikuyo), tiene la capacidad de adsorber Cr (III) de aguas contaminadas y puede ser caracterizado como biosorbente.

1.2.1. Problema general

¿La biomasa residual del *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo) tiene la capacidad de adsorber Cr (III) de aguas contaminadas?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál son las características de la biomasa residual de kikuyo sin activar, activada y saturado mediante hidrólisis ácida y básica?
- ¿Cómo influye el tamaño de partícula del biosorbente, dosis del biosorbente y el pH en las aguas contaminadas sobre la capacidad de adsorción de Cr (III)?
- ¿Cuál es el modelo matemático que relaciona las variables en estudio en el proceso de adsorción?
- ¿Cuál es el modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de adsorción?
- ¿Cuál es la capacidad de adsorción del biosorbente para la adsorción de Cr (III) del efluente de la Industria Peletera ASAPES?
- ¿Es posible regenerar el biosorbente de kikuyo saturado con Cr (III), tratado a diferentes condiciones de pH?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la biosorción de Cr (III) de aguas contaminadas usando la biomasa residual de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo).

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar la biomasa residual del kikuyo sin activar, activado y saturado mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR) y Área Superficial BET.
- b) Evaluar la influencia del tamaño de partícula del biosorbente, dosis del biosorbente y el pH de la solución contaminada sobre la capacidad de adsorción.
- c) Establecer el modelo matemático que relacione las variables en estudio en el proceso de adsorción.
- d) Determinar el modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de adsorción de Cr (III).
- e) Determinar la capacidad de adsorción de Cr (III) del efluente de la Industria Peletera ASAPES con el biosorbente.
- f) Evaluar la regeneración del biosorbente de kikuyo saturado con Cr (III), tratado a diferentes condiciones de pH.

1.4. Justificación

Los resultados pueden ser aplicados en la Industria Peletera, además se dará un valor agregado a un residuo como el *Pennisetum clandestinum* Hochst (Kikuyo) para el cumplimiento de las normas ambientales y coadyubar en la salud de las personas.

Esta investigación se justifica también en el hecho de que es necesario darle validación científica al kikuyo que explique su comportamiento como biosorbente a través de la caracterización (FTIR, SEM y BET) y con eso dar una solución al problema de contaminación hídrica con cromo.

Capítulo II

2. Fundamento teórico

2.1. Antecedentes

Rajesh y Jeeru (2022) estudiaron biosorbentes a partir de la médula de plátano, piña y tallos de bambú; realizando un tratamiento químico con H_3PO_4 e $NaOH$. Para la caracterización de los biosorbente utilizaron el método BET, SEM, FTIR y TGA. Los resultados del método BET revelaron que las áreas superficiales antes del tratamiento fueron de 3.574, 5.678 y 9.072 m^2/g para biosorbentes a base de médula de banano, bambú y tallo de piña respectivamente, Sin embargo, después del tratamiento químico el área de superficie BET aumentó a 100,16 y 116,01 m^2/g para la médula de banano y tallo de bambú, respectivamente. En cuanto a la caracterización SEM las imágenes indican la existencia de una estructura microporosa en los biosorbentes tratados. Los espectros FTIR de la muestra antes del tratamiento poseen varios picos que caracterizan a los grupos funcionales de superficie: $C \equiv N$, $C = O$, $-CH_3$ y $C - O$ los cuales contribuyen a la adsorción de Ni (II). los estudios de caracterización, son indicativos de la aplicación prometedora de los biosorbentes estudiados, para la eliminación de metales pesados de las corrientes de aguas residuales.

Figueiroa et al., (2021) en su investigación, plantearon como objetivo desarrollar un método alternativo para la remoción de Cromo en aguas residuales de la industria del cuero, utilizaron la biomasa de *Opuntia ficus-indica* como biosorbente eco amigable el cual lo obtuvieron de especies colectadas en Pernambuco, Brasil. Del proceso de adsorción obtuvieron que la biomasa fue capaz de eliminar el 84.88 % de Cr (III) utilizando 4,0 g de biomasa. La biomasa remanente después de la sorción fue analizada por el método SEM y FTIR. Finalmente concluyeron que la biosorción con la biomasa de *Opuntia ficus-indica* es eficiente y prometedor para el tratamiento de efluentes de las industrias del cuero.

Ugya et al., (2019) tuvieron como objetivo determinar la eficiencia de combinar la cáscara de desecho de *Citrus lanatus* y la cáscara de desecho de *Citrus sinensis* como

biosorbente de bajo costo para la remoción de contaminantes Pb^{+2} y Cr^{+3} presentes en aguas residuales de curtiembre. Los factores de la investigación fueron tiempo de contacto, dosis de contaminante, dosis de absorbente y tamaño de partícula. Del estudio cinético de adsorción, el modelo cinético que se ajustó mejor fue el de pseudo segundo orden, lo que significa que la absorción ocurre por quimisorción. Los resultados de la investigación fueron que la muestra de *Citrulus lanatus* presento mejor adsorción de Pb^{+2} (86%) mientras que la fruta combinada presento mejor adsorción de Cr^{+3} (85%). La combinación de la cáscara de desecho de *Citrulus lanatus* y la cáscara de desecho de *Citrus sinensis* es un biosorbente eficaz y de bajo coste para la eliminación de los contaminantes Pb^{+2} y Cr^{+3} presentes en efluentes de industrias de curtiembres.

Basu et al., (2019) en su investigación utilizaron como biosorbente un material de desecho denominado *Cymbopogon flexuosus* atrapado dentro de perlas de alginato de sodio para la remoción de Cr (III) en aguas contaminadas. El biosorbente logro una capacidad máxima de adsorción de 121.64 mg/g a las condiciones óptimas de concentración de Cr (III): 50 ppm, pH: 4.5 velocidad de agitación: 150 rpm y temperatura de 298 K. El proceso de adsorción sigue el modelo cinético de pseudo primer orden. Además, hicieron la caracterización del biosorbente antes y después del proceso de adsorción por los métodos FTIR, SEM y XDR, de donde determinaron que el *Cymbopogon flexuosus* atrapado dentro de perlas de alginato de sodio es una buena opción para la remoción de Cromo (III).

Andrade (2017) en su trabajo de tesis estudió el potencial de biosorción de residuos orgánicos sobre iones de cromo y plomo, utilizando la cáscara de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Utilizó 0,1 gramos de la cáscara variando tamaño de partícula y pH. Obtuvo como resultado un tamaño de partícula menor a 0.3 mm y un pH de 4.0 para plomo y 2.0 para cromo, los tiempos de contacto que estableció fueron de 10, 30, 60, 90 y 120 minutos y partió con una concentración del metal de 5 ppm, agitado por 120 minutos y posteriormente usó 10,

25, 50 y 100 ppm, el proceso lo realizo a temperatura ambiente. El trabajo de investigación concluyó que presenta mejores resultados a 5 ppm cada uno y a una velocidad de agitación de 120 rpm logrando una capacidad máxima de adsorción de 35.97 mg/g para plomo y 14.89 mg/g en el caso del Cromo.

Díaz et al., (2013) investigaron el estudio de biosorción de cromo (VI) con quitosano cuaternario reticulado donde realizaron experimentos de adsorción discontinuos, los parámetros que evaluaron fueron el pH, concentración de Cromo, fuerza iónica, cinética de adsorción y la masa del adsorbente, además, realizaron los análisis de FTIR, SEM, TGA del biosorbente y concluyeron que el quitosano cuaternario entrecruzado muestra una capacidad alta de adsorción del ion Cr (VI) de 208.3 mg/g. El estudio cinético reveló que los datos experimentales se ajustan mejor al modelo de pseudo segundo orden, con una constante de velocidad de $0.289 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. Además, de las pruebas de desorción revelaron que es eficiente en una mezcla NaCl / NaOH (1.0 M) con 99.78 % de remoción a pH 4.5. La cantidad de adsorbente influye en la capacidad de adsorción, el pH óptimo fue de 4.5, finalmente concentraciones altas en la fuerza iónica afectan la capacidad de adsorción de Cr (VI).

Rearte et al., (2013b) investigaron la biosorción y desorción de cromo y plomo en biomasa de brotes de *Schoenoplectus californicus* (totora) hicieron pruebas de adsorción por lotes a diferentes condiciones de dosis de biosorbente, pH y concentración inicial en soluciones simples y binarias. Realizaron una caracterización a la biomasa antes y después del proceso de adsorción mediante el método SEM y EDS, de la experimentación las condiciones óptimas para la biosorción fueron de pH 5 para ambos metales, la mayor optimización de la dosis de biosorbente fue de 5 g/L a pH 7 y 15 g/L a pH 5 para ambos metales. Los extractores de plomo y cromo más efectivos resultaron ser el HNO₃ y el NaOH, respectivamente. Concluyeron que la recuperación de plomo fue mayor que la de cromo

debido a que los mecanismos de sorción de Cr (III) implican una energía de enlace más fuerte que los mecanismos de Pb (II), como en los complejos de esferas internas. Ambos metales representaron un alto % de remoción (>90%) bajo las mejores condiciones de sorción, por lo tanto, el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) demostró ser una buena alternativa para el tratamiento de efluentes contaminados con plomo y cromo.

Maldonado et al., (2012) estudiaron la biomasa de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo) como biosorbente de Pb (II), las variables que analizaron fueron velocidad de agitación, dosis del biosorbente y pH sobre la capacidad de adsorción (Q). Determinaron que la máxima capacidad de adsorción fue de 139.35 mg/g con una dosis de biosorbente de kikuyo de 0.06 g, velocidad de agitación de 100 rpm y pH 6. En cuanto a la cinética de adsorción, el modelo que se ajustó mejor fue el modelo de primer orden ($R^2 = 0.9445$); donde el valor de $k = 0.0089 \text{ t}^{-1}$. Finalmente, las conclusiones de la investigación fueron que para la remoción de Pb (II) de aguas contaminadas simuladas, el kikuyo fue muy efectivo, siendo una alternativa el aprovechamiento del residuo (kikuyo) para el tratamiento de los efluentes contaminados con Pb (II).

Cárdenas y Ulloa (2013) utilizaron el *Pennisetum clandestinum* Hochst (Kikuyo) como biosorbente en el estudio de adsorción de Pb (II) de aguas contaminadas a nivel laboratorio, donde determinaron las condiciones óptimas de adsorción a una velocidad de agitación 50 rpm, pH 6 y dosis de adsorbente de 0,05 g, donde obtuvieron una capacidad de biosorción de 85,6382 mg/g. Además, de la cinética de biosorción el modelo cinético que se ajustó al proceso fue el modelo Elovich con un ajuste de $R=0.9934$. Finalmente realizaron el análisis ANOVA revelando que las variables (pH y Do) e interacciones (pH-Do) son significativas.

2.2. Contaminación del agua

Zhang et al., (2018) menciona que la contaminación del agua se genera por las actividades humanas; con la minería, la agricultura, eliminación de aguas residuales y los procesos industriales, donde los efluentes contaminan los ríos, lagunas, mares y aguas subterráneas.

Sánchez (2018) indica que la carga de contaminación puede ser por causas biológicas, físicas y químicas, donde los contaminantes de origen biológico se dan por las bacterias, algas de aguas residuales y hongos que pueden causar enfermedades, como el colera o tífus. Los contaminantes físicos se pueden considerar la introducción de partículas radioactivas, el aumento de temperatura, etc. Finalmente, los contaminantes químicos pueden ser de carga orgánica como las aguas residuales urbanas, los hidrocarburos y pesticidas entre otros, o inorgánicas como los metales pesados que pueden ser perjudiciales para el medio ambiental y para los seres humanos por su alta toxicidad, persistencia y bioacumulación en el medio.

2.3. Metales pesados

Según Rey de Castro (2013) los metales pesados son elementos que presentan pesos atómicos mayores a 44.956, números atómicos superiores a 20 y densidad mayor a 5 g/cm³, con excepción los elementos que pertenecen a los grupos lantánidos, actínidos, alcalino y alcalinotérreo, además que los metales pesados también están asociados con la contaminación y toxicidad potencial.

Cabrera (2017) menciona que los metales pesados están también asociados a su alta toxicidad y a la permanencia en el ecosistema además de la ubicuidad, ya que puede estar presente en el agua, suelo y aire, otra característica también de los metales pesados es que tienen una capacidad alta de solubilidad y eso les permite incorporarse excesivamente rápido a la cadena trófica. García et al. (2002) indican, que en estos tiempos la aplicación de los metales pesados se da a nivel industrial y abarca desde la extracción de metales de la roca

hasta fertilización, desparasitación de cultivo, etc. Las aplicaciones más comunes son: “en la minería, fundición, armamento militar, productos químicos, fertilizantes, curtidoras de piel, entre otros”.

2.4. Cromo

Salcedo (2019) menciona que el cromo (Cr) es un elemento de transición, que fue descubierto por el químico Louis Nicolas Vauquelin de origen francés en 1797, el nombre de cromo deriva del griego Chroma “color” y es por los múltiples colores que pueden tener sus compuestos. El cromo tiene como número atómico 24 con una masa atómica de 51,9961 UMA, punto de ebullición de 2945.15 ° K y de fusión de 2130.15 ° K. Es clasificado también como un metal de transición que en su estado natural es un sólido de estructura cristalina cúbica y color gris (Bentor, 2022).

De acuerdo a los autores Montoya et al., (2010), la contaminación por cromo (III y VI), ya sea en el agua, aire o suelo se producen a partir de las actividades humanas, dando claros ejemplos como: la quema de carbón y petróleo aumenta la concentración en forma de material particulado de cromo en el aire, la industria de acero, soldadura de acero inoxidable y la fabricación de productos químicos con contenido de cromo, en cuanto a la contaminación de las aguas, esta ocurre por la descarga de efluentes de industrias de colorantes, curtidos de cueros, entre otras, de donde el cromo se va al fondo y solo una pequeña parte se diluye en el agua.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) contiene una lista de contaminantes prioritarios que son considerado como metales tóxicos y además sustancias peligrosas entre ellos se encuentran al cromo, plomo, arsénico y otros metales. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica en el grupo 1 (Carcinógeno Humano) al arsénico orgánico e inorgánico, cromo (VI), fierro, cadmio y níquel. Montoya et al. (2010) señala que la toxicidad del cromo ha llevado a un riguroso

control en los efluentes industriales con contenido de cromo hexavalente ya que pueden penetrar en el organismo por cualquier vía con mayor facilidad cosa que no pasa con el trivalente.

2.4.1. Las aplicaciones del cromo en la industria

De acuerdo a Miranda (2018) las aplicaciones del cromo son las siguientes:

- Producción de pinturas, tintes, barnices y tinta de imprenta.
- Industria del cuero.
- Industrias peleteras.
- Elaboración de anticorrosivos.
- Teñido en la Industria textil.
- Fabricación de vidrios.
- Cromado de equipos eléctricos y piezas metálicas.
- Industria de acero inoxidable, entre otros.

2.5. Tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas

Las tecnologías convencionales que se han utilizado para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas, comprenden el tratamiento por precipitación, intercambio de iones, procesos electroquímicos, coagulación/floculación y adsorción.

La precipitación consiste en agregar reactivos capaces de precipitar los metales pesados de la disolución. Los reactivos que se utilizan generalmente son muy costosos y no se pueden reutilizar ya que el producto final es un lodo de una concentración alta de metales y un volumen bajo siendo difícil su eliminación (Volesky et al., 2001).

Tenorio (2006) menciona que el intercambio iónico, es otra tecnología convencional que consiste en un mecanismo de interacción electrostática y por las fuerzas de Coulomb, el ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo, que se encuentra único a una partícula sólida inmóvil. Usualmente se utilizan resinas naturales o sintéticas que tienen la

función de intercambiar sus iones con los iones metálicos (Alyüz y Veli, 2009). Sin embargo, el costo de instalación es muy alto y generalmente las plantas pequeñas optan por otros tratamientos más económicos (Tenorio, 2006).

L. Wang et al., (2007) señala que el tratamiento por electrolisis es considerado otra tecnología convencional y consiste en emplear dos electrodos (cátodo y ánodo), donde mediante el accionar del campo electrónico los cationes se movilizan hacia el ánodo y los aniones hacia el cátodo en una solución acuosa. Un inconveniente del proceso de electrolisis es que es muy posible encontrar otros metales contaminantes que paralelamente interfieren en la degradación de los electrodos, otro inconveniente sería el alto costo de implementación.

Otra tecnología es la de coagulación y floculación, este proceso inicia con la coagulación que ocurre al agregar un químico (coagulante) al agua contaminada donde se produce una reacción química, generando pequeñas partículas llamados “flóculos”, la materia que está suspendida es atraída por estos flóculos (Randtke, 1988). Posteriormente en la etapa de floculación las partículas, aumenta el tamaño, formando macro flóculos, las partículas suspendidas se hacen más visibles y con ayuda de coadyuvantes de coagulación aumentan el peso de los flóculos y la velocidad de sedimentación (Dimple, 2014).

En cuanto a las tecnologías modernas, estas se realizaron para superar las deficiencias de las tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados de aguas contaminadas. El avance de tecnologías, métodos y adsorbentes comprende el desarrollo de nano-adsorbentes de alta eficiencia para la eliminación de metales pesados de aguas contaminada que poseen un rendimiento alto además de ser menos costoso. Los adsorbentes más estudiados y comunes son los carbones activados, el grafeno, los nanotubos de carbón y la zeolita (Vicente-Martínez et al., 2020). Shrestha et al. (2021) menciona que el hidrogel es una red tridimensional (3D) de polímeros hidrofílicos, su estructura se da mediante enlace físico y químico entre la cadena individual. Una característica importante del hidrogel es la

capacidad de hincharse en agua y retener una gran cantidad de agua mientras mantiene la estructura, al menos el 10% del peso de un material debe estar constituido por agua para que sea considerado hidrogel. Burciaga et al., (2020) señalan que debido a la abundancia en la naturaleza los biopolímeros son buena opción para conformar los hidrogeles.

Una técnica moderna es la separación de membranas que consiste en alimentar agua a alta presión a través de una membrana semipermeable para separar materiales puntualizados de la solución a tratar. Se clasifica de acuerdo al tamaño del poro y estos procesos pueden ser por nanofiltración, ultrafiltración, microfiltración y osmosis inversa (Shrestha et al., 2021).

López (2005) describe al proceso de electrodiálisis como una tecnología de membrana que consiste utilizar membranas de intercambio iónico bajo la influencia de un campo eléctrico continuo para extraer sustancias ionizadas disueltas en una disolución acuosa. Medina (2007) indica que el proceso de electrodiálisis es reversible termodinámicamente, de manera que, invirtiendo la polaridad del sistema, la dirección del flujo de materia y carga puede ser invertidas.

Garcés et al., (2004) señala que el proceso de fotocatalisis es una tecnología moderna que está dirigido a la remoción de contaminantes y consiste en utilizar radiación ultravioleta y catalizadores con la finalidad de crear radicales hidroxilos (-OH), posteriormente el efecto será de oxidante sobre los contaminantes químicos, el proceso de oxidación se da en la superficie de la partícula, además menciona que generalmente utilizan TiO_2 como catalizador del proceso.

2.6. Sorción:

Crine y Badot, (2010) definen a la sorción como un proceso físico y químico por el cual una sustancia se une a otra, es muy utilizado tanto para la adsorción como la absorción. Sun et al., (2016) señala que la absorción consiste en la incorporación de una sustancia en un estado a otro de un estado diferente (por ejemplo, los líquidos son absorbidos por un sólido o

los gases son absorbidos por el agua), mientras que la adsorción es la adherencia física o unión de iones y moléculas sobre la superficie de otra molécula.

2.7. Adsorción y adsorbentes

De acuerdo a Dimple (2014) la adsorción es usualmente aprovechada para la eliminación de iones metálicos de aguas contaminadas de diferentes efluentes industriales, el proceso ocurre cuando un soluto gaseoso o líquido se acumula en la superficie de un sólido o líquido (adsorbente), generando una película molecular o atómica (el adsorbato). Existen muchos adsorbentes de bajo costo como los desechos agrícolas, carbón activado, materiales naturales o biopolímeros modificados que se han desarrollado y aplicado recientemente para la eliminación de metales pesados del agua contaminada (Gunatilake, 2015).

El adsorbente más utilizado es el carbón activado, ya que puede eliminar una variedad amplia de metales tóxicos, el carbón activado es característico por ser un sólido altamente poroso y amorfo, usualmente es preparado en polvos o gránulos pequeños, una desventaja de los carbones activados es su alto costo (Dimple, 2014).

Otros adsorbentes estudiados son los biomateriales, desechos industriales y zeolitas, además, los materiales naturales o desechos agrícola son ampliamente estudiados como adsorbentes, por su fácil disposición y generalmente su poco valor económico, son considerados adsorbentes de bajo costo (Bernabé, 2019).

Tipos de adsorción:

Shrestha et al., (2021) señala que existen dos tipos de adsorción, siendo una física y otra química, la secuencia del proceso de adsorción es inicialmente el transporte de metales pesados desde la solución a la superficie del adsorbente, seguido de la adsorción en la superficie de la partícula y finalmente el transporte dentro de la partícula adsorbente.

Muñiz (2016), indica que la fisisorción es un proceso que ocurre por mecanismos de enlaces como las fuerzas de van der Waals. Bernabé (2019) señala que el proceso es

reversible, pues las interacciones que mantienen al adsorbato en la superficie del sólido son de naturaleza física, por fuerzas electrostáticas, sin haber ningún tipo de intercambio, además, que las entalpías del proceso están por debajo de 80 kJ/mol.

La adsorción por quimisorción, se da cuando se produce una reacción química que comprende la transferencia de electrones entre el adsorbente y el adsorbato donde además puede generarse enlaces químicos con la superficie. La quimisorción usualmente es irreversible, pues el adsorbato está enlazado químicamente con la superficie del adsorbente y si ocurre una desorción, ésta es acompañada por un cambio químico en el adsorbato. La entalpía de los procesos de quimisorción están entre 80 y 450 kJ/mol (Bernabé, 2019).

Isotermas de adsorción.

Andrade (2007) describe a las isotermas de adsorción como ecuaciones matemáticas donde se relacionan la cantidad de adsorbato adsorbido con la concentración del adsorbato al alcanzar el equilibrio a una temperatura constante. Bernabé (2019) señala que las isotermas de adsorción se representan por gráficas de la concentración de equilibrio frente a la capacidad de equilibrio del adsorbente, donde cada punto de equilibrio corresponde al punto final de la cinética de adsorción, en el que se encuentra saturado el adsorbente.

Existen diferentes modelos de isoterma entre ellos Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson y Temkin que representan la capacidad de adsorción en el equilibrio de los adsorbentes.

Lavado et al. (2012) menciona que el modelo de Langmuir asume que la adsorción ocurre uniformemente en los sitios activados de la superficie del adsorbente, con la formación de una monocapa donde el calor de adsorción es constante para todos los sitios. Andrade (2007) indica que las isotermas de Langmuir describen el equilibrio entre la solución y la superficie del adsorbente como un equilibrio reversible entre especies. Además, las moléculas

del adsorbato pueden enlazarse químicamente en la superficie del adsorbente, ya que, está conformada por sitios activos.

La isoterma Freundlich se basa, en una distribución de la energía de adsorción exponencial, lo que indica que existe una interacción entre las moléculas adsorbidas adyacentes provocando la formación de multicapas (Andrade, 2007).

El modelo de isoterma Redlich- Peterson permite representar un sistema de adsorción en equilibrio para un amplio rango de concentraciones y puede ser aplicado tanto para sistemas homogéneos como heterogéneos, debido a su versatilidad (Sun et al., 2014).

La isoterma Temkin consiste en asumir que hay una simulación del valor de adsorción lineal en lugar de logarítmica, como en el modelo de Freundlich. Este modelo considera las interacciones de la sustancia adsorbida con la superficie de adsorción, y sugiere que debido a esas interacciones el calor de todas las moléculas en la capa de adsorción debería disminuir linealmente con la cobertura (Murillo et al., 2015).

2.8. Factores que influyen en la adsorción

2.8.1. *pH*

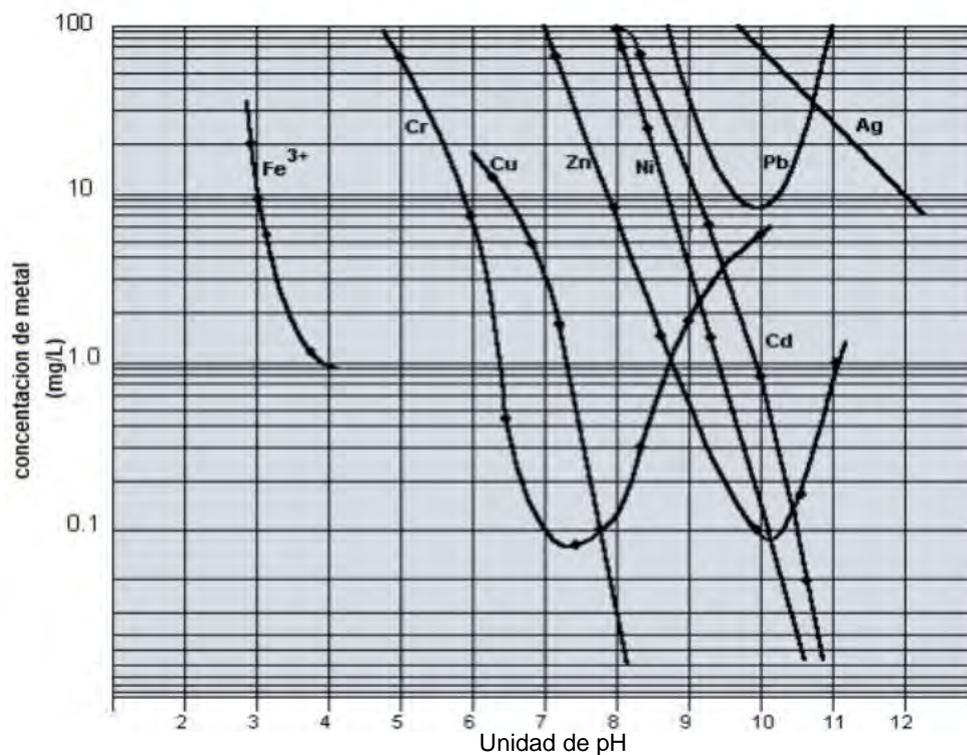
Tenorio (2006) indica que la importancia del pH en el proceso de adsorción, es debido a que el pH determina la especiación del metal puesto que los metales en soluciones acuosas se encuentran como iones hidrolizados a pH bajos, especialmente aniones de metales de alta carga y pequeño tamaño, como también, la influencia en la disociación de grupos funcionales de la superficie del adsorbente que modifica la carga eléctrica en la superficie.

Se entiende por especiación a la diferencia entre las distintas especies químicas en las que puede encontrarse un metal. El proceso de identificación y cuantificación de las formas químicas de un mismo elemento en una muestra dada es la especiación química que se realiza comúnmente por procedimientos de extracción (González et al., 2009).

Es importante tener en cuenta a que pH está soluble el metal a remover, existen varias graficas de solubilidad de metales. En la Figura 1 se muestra el diagrama de solubilidad para diferentes metales entre ellos, el cromo, donde relaciona el pH con la concentración del metal en mg/L.

Figura 1

Solubilidad del cromo a diferentes pH



Fuente: Pinilla (2014)

De la figura se puede apreciar que la solubilidad del cromo está entre pH 4.7 hasta 10.1, presentando una concentración mayor del metal (100 mg/L) a un pH de 4.7 y concentraciones muy bajas del metal en un rango de pH de 6.5 a 8.5.

Sánchez (2018) indica que, si el pH está por encima del valor del punto de carga cero (PZC) de la disolución, el biosorbente está cargado negativamente y la interacción con los cationes metálicos es mejor, mientras que, cuando se encuentra por debajo, está cargado positivamente repeliendo los cationes metálicos. El punto de carga cero (PZC), se define

como el valor del pH en el cual la carga neta total (externa e interna) de las partículas sobre la superficie del material adsorbente es neutra, es decir, el número de sitios positivos y negativos es igual (Franks y Maegher, 2003).

2.8.2. Naturaleza del biosorbente

Tejada et al. (2015) comenta en su investigación, que la capacidad de biosorción de la biomasa, está sujeta a la cuantía de centros aniónicos que presente la biomasa para la interacción con los cationes metálicos, además, indica que las biomásas más eficientes son aquellas que en su composición tienen compuestos lignocelulósicos formado por pectinas, celulosa, lignina y hemicelulosa, en todos estos compuestos se encuentran grupos hidroxilo o carboxilo que cumplen la función de la biosorción de los metales. De acuerdo a Sánchez (2018), para el aumento del rendimiento de adsorción se realiza la modificación química del biosorbente.

2.8.3. Efecto de la temperatura

El aumento de la temperatura en la adsorción usualmente, extiende la energía cinética del biosorbente y la actividad de la carga superficial con la finalidad de mejorar la eliminación de los iones metálicos, no obstante, altas temperaturas pueden causar cambios en la textura y estructura del biosorbente, produciendo una disminución en la capacidad de biosorción (Tejada et al., 2015).

2.8.4. Dosis

Fernández (2015), señala que la influencia de la concentración del biosorbente es directamente proporcional con la capacidad de adsorción, lo que se entiende que al aumentar el biosorbente en la disolución se genera un incremento de los centros activos. Sin embargo, no solo se presentan mejores condiciones de adsorción si no también se corre el riesgo de generarse aglomeración de partículas, disminuyendo la superficie de contacto por ende la cantidad de centros activos.

2.8.5. *Tamaño de la partícula*

El tamaño de la partícula es un factor importante en el proceso de adsorción debido a que la relación es directamente proporcional entre la cantidad de metal que puede adsorber un biosorbente sobre el volumen de la partícula, de igual manera se conoce que la relación del área superficial es directamente proporcional al volumen de la partícula (Tejada et al., 2015). Sánchez (2018) indica que, fundamentalmente el proceso de adsorción se da en puntos específicos de la superficie de la partícula de un biosorbente, de donde mientras más pequeña y porosa es la partícula mayor es la superficie por unidad de volumen, por lo tanto, tiene mayor capacidad de retener más cantidad de metal.

2.8.6. *Área superficial*

Al ser el proceso de adsorción un fenómeno superficial, el área superficial es un factor importante en la adsorción. A mayor área superficial del adsorbente, se incrementa la adsorción (Fernández, 2015).

2.8.7. *Velocidad de agitación*

Tejada et al.(2015) señala que, el aumento de la velocidad de agitación en el proceso de biosorción mejora la capacidad de adsorción del contaminante al minimizar la resistencia a la transferencia de masa, no obstante, también una velocidad de agitación muy alta podría dañar la estructura física del biosorbente.

2.9. *Desorción*

Gadd y White (1992), señala que la desorción consiste en la recuperación del biosorbente saturado para la posible reutilización de la biomasa y recuperación o contención de sorbatos. Indican que para no degradar la biomasa y que ocurra una pérdida de eficiencia de la biomasa es recomendable usar agentes desorbentes que no dañen significativamente la biomasa. Sin embargo, mencionó que en algunos casos los tratamientos de desorción pueden incluso mejorar aún más las capacidades de sorción del biosorbente regenerado.

Fomina y Gadd (2014) mencionan que se utilizan como desorbentes de metales una variedad de ácidos, bases, dependiendo de la sustancia absorbida y también disolventes orgánicos como metanol y etanol.

2.10. Biosorción

La tecnología de biosorción se considera como una opción ecológica y eficiente para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas y consiste en un proceso fisicoquímico donde los iones metálicos se adhieren a la superficie de un biosorbente, este puede ser hongos, algas, desechos agrícolas, biopolímeros (Shrestha et al., 2021).

Existen muchos métodos de tratamientos de aguas contaminadas por metales pesados, muchas de ellas implican procesos muy costosos y además un elevado consumo de energía que generan gran cantidad de lodos residuales con altas concentraciones de metales pesados, desde siempre se buscó recurrir a métodos más amigables con el medio ambiente. Según Pinzón et al. (2010) la biosorción es utilizada para la eliminación de metales pesados en agua a través de materiales no vivos. Además, es considerado un proceso económico, puesto que, utiliza como biosorbente materiales naturales como desechos de la agricultura. Cabrera (2017) menciona que la biosorción es una técnica eficiente para la remoción de metales pesados y es recomendada para pequeñas y medianas industrias que muchas veces no cuentan con los recursos económicos.

Según el libro de Castillo (2005, p. 142) menciona que “la técnica de biosorción utiliza el potencial de la materia viva ya que tiene buena capacidad para adsorber metales pesados, además indica que es utilizada para extraer metales de medios altamente contaminados, mediante biomasa viva que es autorrenovable”. Pinzón et al., (2010) indica que el proceso de biosorción permite la captación de diversas especies químicas por una biomasa viva o muerta, mediante mecanismos fisicoquímicos.

Biosorbentes

Bernabé (2019) considera biosorbente a todo material de origen biológico que tenga propiedades adsorbentes, menciona que la química superficial es importante para que una biomasa sea el biosorbente idóneo para la especie que se quiere eliminar del agua a tratar.

Fomina y Gadd (2014) señala que los biosorbentes pueden ser inertes o muertos, como las plantas, algas secas, cáscaras de frutas o residuos orgánicos como también existen los biosorbentes vivos como las algas, hongos y microorganismos en cuyo caso se habla de procesos de bioacumulación (procesos que involucran células vivas). Sánchez (2018) menciona que, los biosorbentes inertes o muertos necesitan menos cuidado en comparación de los vivos, además de que son mucho más económicos, fáciles de usar y solo necesitan hacer algunos tratamientos previos, mientras que los biosorbentes vivos requieren un cuidado permanente en todo el proceso.

De acuerdo a Volesky et al. (2001) la búsqueda de biosorbentes baratos, eficientes y con la capacidad de recuperar y reciclar los biosorbentes, ha producido una variedad de investigaciones de varios tipos de biomazas tales como: microbianas, vegetales, animales y de productos derivados. De igual manera Dhankhar y Hooda (2011) clasificaron los biosorbentes de acuerdo a su procedencia como los residuos naturales (residuos orgánicos, malas hierbas, aserrín, cortezas de árboles, etc.), residuos industriales (fermentación, residuos de alimentos, lodos activados y anaerobios, etc.) y otros materiales (celulosa, quitosano, etc.).

Biosorbentes de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos cuentan con grandes fracciones de biomasa lignocelulósica de naturaleza fibrosa, estas forman parte de la pared celular que recubre las células vegetales, donde se encuentran tres tipos de biopolímeros: celulosa, lignina y hemicelulosa (Kumar et al., 2011).

Estos biopolímeros contienen grupos funcionales característicos, los cuales son responsables de la adsorción por diferentes mecanismos.

2.11. Modelos cinéticos

La cinética de biosorción es un factor importante para al diseño y optimización de los procesos industriales. Los estudios de cinética de adsorción permiten evaluar la variación de la capacidad de adsorción en función del tiempo (Fernández, 2015).

2.11.1. Modelo de pseudo primer orden

La ecuación de velocidad de pseudo primer orden fue presentada por Lagergren, que representa el proceso cinético de adsorción de la fase líquido – sólido fue citado por Ho y Mckay (1999), cabe mencionar que es uno de los primeros modelos que relacionan la capacidad de adsorción con la velocidad de adsorción y se representa mediante la ecuación (2.1).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t , (mg/g)

t : tiempo de contacto, min

q_e : capacidad de adsorción en el equilibrio, (mg/g)

k_1 : constante de velocidad, (min^{-1})

Esta ecuación fue utilizada ampliamente para la descripción de la adsorción de contaminantes de aguas residuales empleando diferentes tipos de adsorbentes.

2.11.2. Modelo de pseudo segundo orden

El modelo de pseudo segundo orden también se derivó sobre la base de la concentración del adsorbato en la fase adsorbente (Ho y McKay, 2000). Al realizar un proceso de adsorción utilizando un ion metálico divalente en la superficie de un biosorbente, la capacidad de adsorción lo relacionó con el enlace químico entre los grupos funcionales del biosorbente, como cetonas, ácidos, aldehídos y el ion metálico divalente. La velocidad de

adsorción está sujeto a la cantidad del ion metálico divalente adsorbido en la superficie de biosorbente en un tiempo “t” hasta llegar al equilibrio. El modelo se representa con la ecuación (2.2)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t, (mg/g)

t: tiempo de contacto, (min)

q_e : capacidad de adsorción en el equilibrio, (mg/g)

k_2 : constante de velocidad de pseudo segundo orden, ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)

2.11.3. Modelo Elovich

La ecuación de Elovich (Chien et al., 1980), se utiliza para explicar la cinética de quimisorción de gases en superficies sólidas. Sin embargo, se ha utilizado este modelo para la simulación de la cinética de adsorción en fase líquida y se representa mediante la ecuación (2.3) citado en (Acosta et al., 2017a)

$$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t, (mg/g),

α : velocidad inicial de adsorción (constante de Elovich, mg/g min)

β : relación con la superficie cubierta y la energía de activación por quimisorción, (g/mg)

2.12. *Pennisetum clandestinum* Hochst (Kikuyo)

El kikuyo tiene como nombre científico *Pennisetum clandestinum* Hochst, sin embargo, es más conocido como césped o pasto. Cárdenas y Ulloa (2013) señalan que, el kikuyo es una planta que se desarrolla superficialmente, se propaga vegetativamente por

medio de estolones, contiene rizomas gruesos, sus hojas pueden alcanzar de 10 a 20 cm y de 8 mm de ancho, poseen tallos que crecen erectos entre 50 a 60 cm, como se muestra en la Figura 2. Romero (2015) indica que generalmente lo usan para pastoreo, campos de deporte y ensilaje, además se sabe que se extiende por rizomas. En los años 1930 llegó a Sudamérica con el objetivo principal de mejorar los potreros de cría ganadera.

Figura 2

Pennisetum clandestinum Hochst (Kikuyo)



Categoría taxonómica:

El *Pennisetum clandestinum* Hochst (Kikuyo) presenta la siguiente clasificación taxonómica Cárdenas y Ulloa (2013).

- Reino: Vegetal
- Clase: Liliopsida (monocotiledóneas)
- Sub clase: Commelinidae
- Familia: Poaceae
- Género: *Pennisetum*
- Especie: *Clandestinum*

Adaptación

El kikuyo se adapta a zonas altas entre 1000 y 3200 msnm y a climas fríos, además crece en cualquier tipo de suelos; sin embargo, no prospera si estos son muy pobres, una característica también es que resiste a la sequía (Romero, 2015).

Su producción óptima se da en suelos de fertilidad alta con un mínimo de 750 mm de precipitación anual, además de ser de permanente duración y fácil crecimiento en el Perú.

Características del kikuyo:

Descripción técnica del Kikuyo según Romero (2015)

- **Hábito y forma de vida:** el kikuyo es una planta rastrera, puede trepar a los arbustos.
- **Tamaño:** 5-10 cm de longitud.
- **Tallo:** 1-2 cm de longitud.
- **Hojas:** con pelos, vainas vilosas, con márgenes membranosos y secos; presenta láminas foliares planas o con duplicadas, con el ápice obtuso, de (1.5) 2 a 9 cm de longitud, de 2 a 5 mm de ancho.
- **Flores:** Espiguilla de 1.4 a 1.8 cm de longitud, ocultas en las vainas superiores
- **Raíz:** fuerte y con estolones bien desarrollados.

El kikuyo puede reproducirse por semillas, pero principalmente es por medio de sus rizomas donde cualquier trozo puede llegar a formar otra mata de kikuyo.

En las ciudades del Perú es un elemento indispensable para el decorado público de las plazas, parques y centros arqueológicos, dado a su propagación por tierras fértiles. En la ciudad del Cusco, la Universidad Nacional del San Antonio Abad del Cusco, realiza un mantenimiento constante de las áreas verdes generando grandes cantidades de residuos de césped como se muestra en la Figura 3, estos residuos podrían ser aprovechados en los procesos de biosorción.

Figura 3

Residuos de césped acumulados al costado de las canchas de la UNSAAC

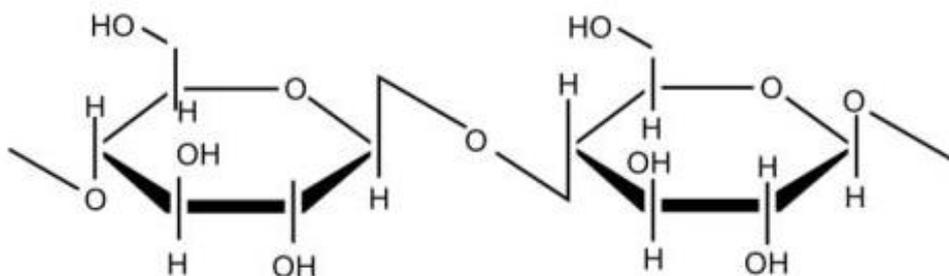


Torres et al. (2018) reportaron que el kikuyo es un material lignocelulósico, constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. A continuación, se analizarán los conceptos de estos tres componentes.

Peters (2007) menciona que la celulosa es un polisacárido lineal compuesto por unidades de glucosa, conectadas por un enlace β -1,4. Además, presentó una estructura amorfa y cristalina, lo que se debe a los enlaces intermoleculares de hidrógeno en la estructura secundaria y terciaria (Saha et al., 2013). La Figura 4 representa la estructura química de la celulosa.

Figura 4

Estructura química de celulosa



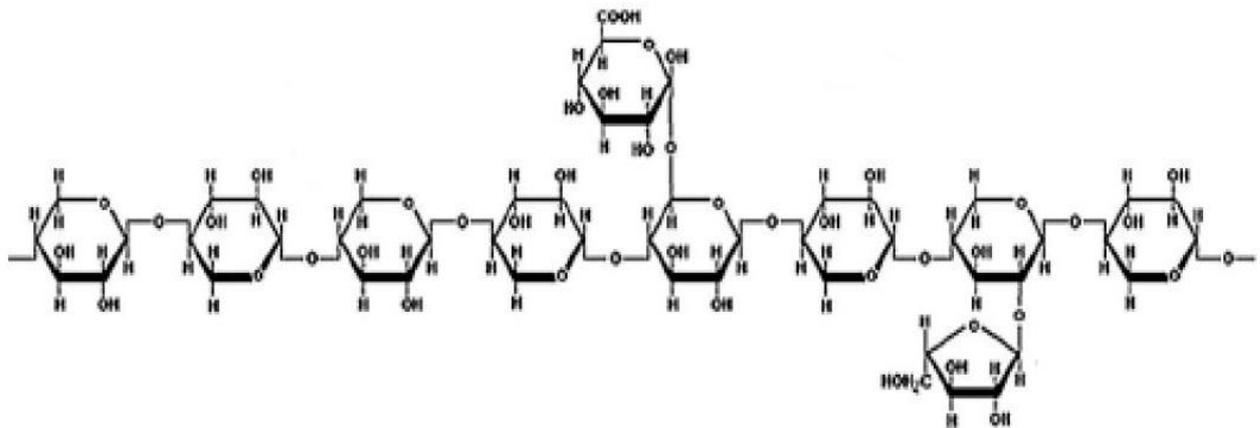
Fuente: Vásquez (2019)

La hemicelulosa es un heteropolisacárido conformado por monosacáridos (hexosas y pentosas), entre los que predomina la xilosa. La hemicelulosa compone aproximadamente el

25-35% de la biomasa lignocelulósica y es considerada la segunda biomasa renovable más abundante (Saha et al., 2013). Cabe mencionar que la hemicelulosa es mucho más fácil de hidrolizar que la celulosa debido a que las ramificaciones de su estructura la hacen más susceptibles a separarse (Peters, 2007), la estructura química se muestra en la Figura 5.

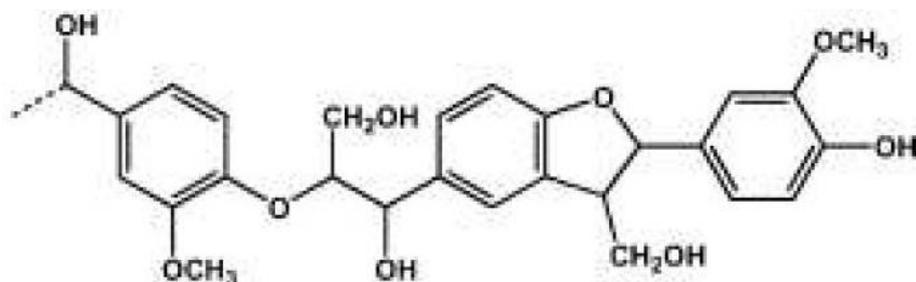
Figura 5

Estructura Química de la Hemicelulosa



Fuente: Gómez (2008)

Finalmente, otro biopolímero lignocelulósico es la lignina cuya estructura se muestra en la Figura 6, es un polímero entrecruzado constituido por unidades básicas de naturaleza variada, de las cuales predominan los grupos aromáticos fenólicos (Saha et al., 2013). Además, de estar considerado entre uno de los compuestos orgánicos naturales más abundantes en los materiales fibrosos. La lignina contribuye en la fuerza mecánica de las plantas y la protección contra la degradación, factores importantes para el crecimiento de la planta (Peters, 2007).

Figura 6*Estructura Química de la Lignina*

Fuente: Saha et al. (2013)

2.13. Activación de la biomasa

Tiene por objetivo aflorar los grupos funcionales de la biomasa para así tener una mayor capacidad de adsorción.

Gómez (2008) indica que se han descrito diferentes pretratamientos químicos para la activación de la biomasa, entre ellos, la hidrólisis que consiste en fragmentar los compuestos a unos más pequeños y solubles, que puedan atravesar la membrana celular fácilmente y así permitir la asimilación de los metales a adsorber.

Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida de biosorbentes de residuos orgánicos lignocelulósicos generalmente se llevan a cabo por calentamiento con una solución diluida de ácido, en donde los ácidos convierten la hemicelulosa (cadenas de polisacáridos que integran la biomasa) en sus monómeros elementales, aflorando sus grupos funcionales. Usualmente se usan ácidos fuertes como el ácido clorhídrico, perclórico, sulfúrico, nítrico o ácidos débiles como el fórmico y acético (Cheng et al., 2008).

Hidrólisis básica

Zhao et al. (2008) mencionan que el tratamiento alcalino consiste en romper los enlaces éster entre la lignina, la hemicelulosa y celulosa, aumentando el área superficial y la

porosidad de la biomasa; además, Galbe y Zacchi (2007) indican que disminuye el grado de polimerización y cristalización de la misma, la finalidad no es la hidrólisis total de la materia lignocelulósica sino la modificación de su estructura física, haciéndola más accesible. Para estos tratamientos se utilizan bases fuertes como el hidróxido de potasio, sodio, entre otros.

2.14. Técnicas para la caracterización

2.14.1. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

El análisis FTIR (Fourier Transform Infrared), permite la identificación y el estudio de los grupos funcionales presentes en las moléculas de un determinado material, el procedimiento de esta técnica consiste en emplear un equipo de espectroscopía infrarroja, que está constituido por un detector, monocromador y una fuente de radiación infrarroja. El proceso consiste en emitir una radiación infrarroja con un amplio rango de longitudes de onda a una muestra y al monocromador, de donde es dispersada en sus constituyentes longitudes de onda y finalmente el detector mide las diferentes intensidades de longitudes de onda (Wen, 2015).

El análisis FTIR brinda información de las vibraciones de las especies moleculares y atómicas. En las moléculas los átomos experimentan vibraciones tales como flexión (cambio en el ángulo de enlace) y estiramientos (cambio en la longitud de enlace), al interactuar la molécula con la radiación, una parte de la radiación con frecuencias iguales es adsorbida por la molécula. El análisis de la parte restante de la radiación transmitida a través de la muestra, genera información sobre la estructura de la molécula (Wen, 2015).

Esta técnica, generalmente es utilizada para la caracterización de la superficie química de biomateriales. Permite determinar los mecanismos de unión en caso de eliminación de contaminantes mediante los procesos de adsorción puesto que, identifica los principales grupos funcionales responsables de la adsorción de los biomateriales Erazo (2018).

2.14.2. Método BET

El análisis por el método BET (propuesto por Stephan Brunauer, Paul Emmett y Edgard Teller) proporciona información del área superficial, distribución meso y microporos y volumen de poros Campana et al., (2017). Consiste en analizar la isoterma de adsorción de nitrógeno, donde se analiza la energía de unión entre el adsorbato y la superficie para la primera monocapa tomada como igual al calor isostérico de adsorción y una segunda energía de enlace para la adsorción de todas las monocapas subsiguientes que se toma como igual al calor molar de condensación (Tan et al., 2012). Con ayuda de un equipo que tiene implementado un procesador de datos, se realiza la medición de la cantidad de moléculas de N₂ adsorbidas por la muestra, se utiliza el método de flujo cruzado gravimétrico, dinámico o volumétrico (Tan et al., 2012).

Curia (2010) menciona que este método es mundialmente utilizado y tiene como objetivo calcular la relación entre el número total de moléculas adsorbidas y el número total de centros de adsorción. Está basada en la técnica realizada por Langmuir, extendida a la formación de multicapas y presupone que el calor de adsorción de la monocapa es distinto al de las otras capas, pero todas las siguientes capas presentan el mismo calor de adsorción.

2.14.3. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM/ EDS)

Ipohorski y Bozzano (2013) explican que la microscopia electrónica de barrido, conocido por sus siglas inglesas SEM (Scanning Electron Microscope) brinda información morfológica, texturales y de composición química. El proceso consiste en emplear electrones en vez de luz, los electrones generados de la interacción con la superficie de la muestra crean una imagen que irradia las características superficiales de la muestra. Los biomateriales pueden obtener imágenes con una resolución que se acerca a 0,3 nm a 30 keV utilizando una alta definición (He et al., 2013).

Una forma de confirmar la biosorción del metal en el biosorbente es hacer un análisis antes y después del proceso de adsorción y mediante esta técnica corroborar la biosorción que generalmente se distinguen las micrografías electrónicas con una reducción en el área del poro del biosorbente.

Generalmente los equipos SEM están equipados con un espectroscopio de rayos X de energía dispersiva (EDS o EDX). El desarrollo del proceso EDS consiste en la detección e investigación de los rayos X liberados, los cuales llevan un valor energético único, al medir la cantidad y la energía de los rayos X emitidos desde la muestra se puede conocer en base a la estructura atómica del elemento desde el que se emite y así determinar una composición elemental aproximada de la muestra. Erazo (2018) menciona que la combinación de la técnica se conoce como SEM-EDS.

2.15. Normativa Peruana

En cuanto al marco legal la constitución política del Perú se establece en ella los derechos fundamentales de la persona, entre ellos el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

De acuerdo a la Ley General de Salud D.L. N.º 26842 en el título II: de los deberes, restricciones y responsabilidades en consideración a la salud de terceros; capítulo VIII: de la protección del ambiente para la salud; establece que:

Artículo 103º. La protección del ambiente es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas, los que tienen la obligación de mantenerlo dentro de los estándares que, para preservar la salud de las personas, establece la Autoridad de Salud competente.

Artículo 104º. Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las

precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.

Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda, muestra los valores máximos admisibles, para las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario. El valor máximo admisible para descargas al alcantarillado de aguas que contengan Cromo (Cr total) es de 10 mg/L.

En el estudio de biosorción de Cr (III) con el biosorbente de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo) en los efluentes de la Industria Peletera ASAPES, se utilizaron los valores máximos admisibles establecidos en el decreto supremo N° 010-2019-Vivienda como parámetros de control y comparación.

Capítulo III

3. Materiales y métodos

3.1. Muestra

La muestra para la preparación del biosorbente estuvo constituida por la biomasa residual de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo), procedente de la poda de jardines de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

3.2. Lugar de la investigación

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología PIQ213 de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la UNSAAC.

3.3. Materiales

a) **Reactivos:** los reactivos utilizados se muestran en la Tabla 1

Tabla 1

Reactivos utilizados en la investigación

| Reactivo | Pureza | Marca |
|-----------------------------------|-----------|---|
| Ácido sulfúrico | 95 - 97 % | Merck kgaa Casno:7664-93-9 |
| Hidróxido de sodio | 99 +% | Merck kgaa Casno:1310-73-2 |
| Tricloruro de cromo hexahidratado | 96% | Sigma-aldrich (0230723-500g) |
| Ácido nítrico | 69 - 70 % | J.T. Baker analyzed A.C.S. (FW 63.010) |
| Solución buffer (10.01) | | Hanna Instruments (Hi7010) |
| Solución buffer (7.01) | | Hanna Instruments (Hi7007) |
| Solución buffer (4.01) | | Hanna Instruments (Hi7004) |
| Agua destilada | | |

b) Materiales de vidrio y otros

- Vasos precipitados
- Fiolas de 1 L, 0.5 L y de 0.25 L
- Buretas
- Matraz Erlenmeyer
- Goteros
- Embudos
- Pissetas
- Mortero con pilón
- Pipetas
- Probetas
- Pinzas para bureta
- Luna de reloj
- Balón redondo de 5 L
- Baguetas
- Papel de filtración rápida
- Mangueras
- Cinta de teflón

c) Equipos: los equipos utilizados se presentan en la Tabla 2

Tabla 2*Equipos utilizados en la investigación.*

| Equipos | Especificaciones |
|-------------------------------------|--|
| Equipo de prueba de jarras | Daihan Scientific Model JT-M6C N° 04021932090005 |
| Estufa | Kyntel, modelo: K-V45F N.º serie 1823 |
| Destilador | Kyntel, modelo: YAZD-10 |
| Equipo de absorción atómica (AA) | Thermo Scientific modelo AA ICE 3300 |
| Equipo SEM | Fei Quanta 650 (datos del detector: marca: Edax, modelo: Octane Pro) |
| Equipo BET | Micrometrics (Análisis Adsorbente: N ₂ tasa de evacuación: 1000.00 MMHG/MIN Tiempo de equilibrio: 5 segundos) |
| Equipo IR | Perkin Elmer (rango de prueba: intervalo de número de onda 380 cm ⁻¹ a 4000 cm ⁻¹ , 16 scans y resolución de 4 cm ⁻¹) |
| Tamizadora | Pinzuar Astme-11 |
| Shaker | Orbital Shaker MU-E25-91146 Tupe:GS-20 |
| Equipo Soxhlet | Pyrex |

Nota; Los equipos de AA fueron utilizados por los laboratorios acreditados HIDROLAB PERU S.A.C y los equipos para los análisis de SEM, BET e IR fueron utilizados por el laboratorio acredita SLAB Laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C., ambos laboratorios prestaron servicio de análisis y son de la Ciudad de Lima.

d) Instrumentos: los instrumentos utilizados en la parte experimental se presentan en la

Tabla 3.

Tabla 3

Instrumentos utilizados en la investigación.

| Instrumentos | Especificaciones |
|-----------------|--------------------------------------|
| Medidor de pH | Lutron electronic modelo: YK-2001PHA |
| Balanza digital | Eurotech modelo: FSF-A2204B |

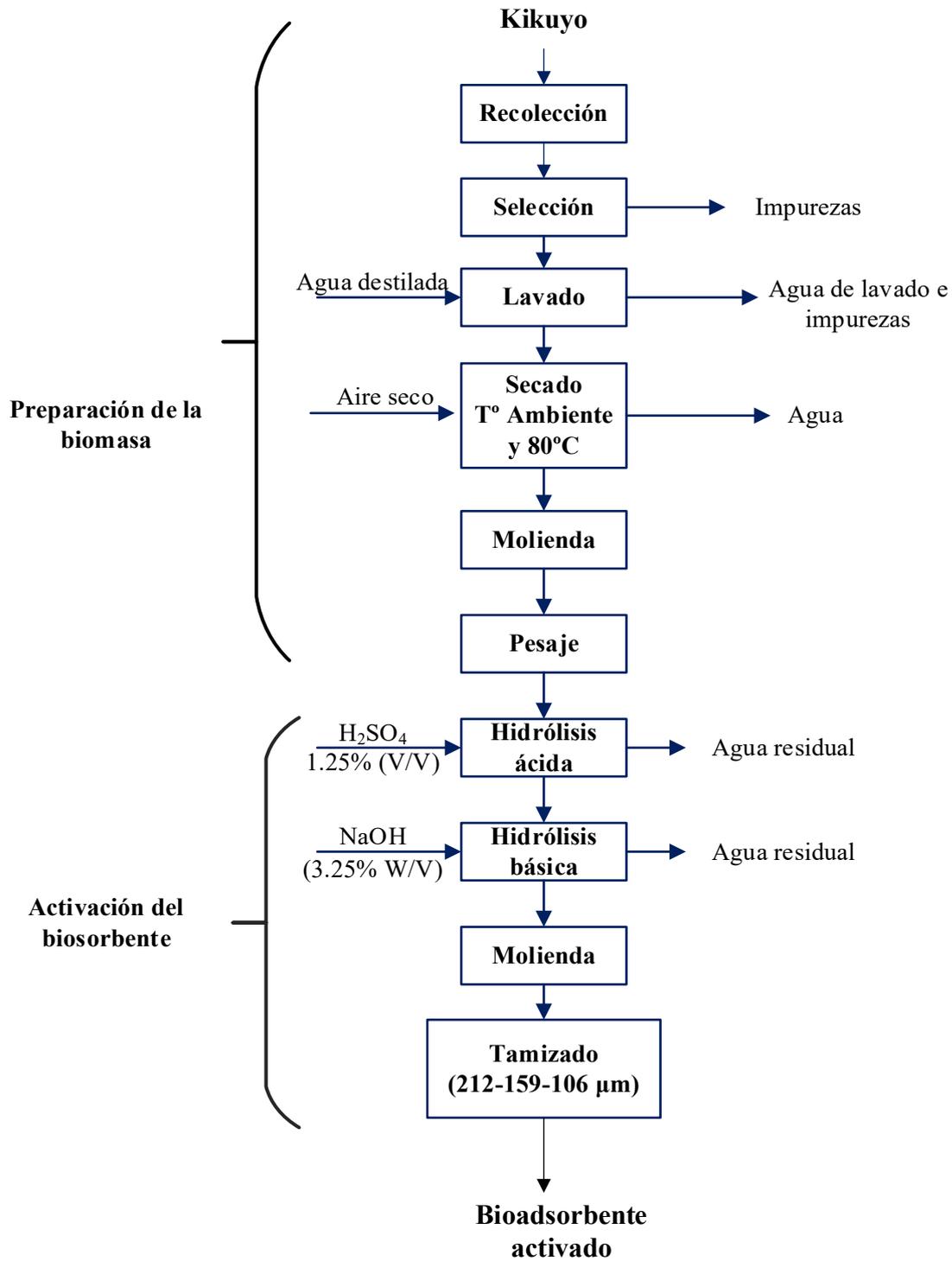
3.4. Métodos

3.4.1. Preparación del biosorbente

La preparación del biosorbente se dividió en dos etapas la primera etapa comprendió la preparación de la biomasa y la segunda, la activación del biosorbente. La Figura 7 representa el diagrama de bloques para la obtención del biosorbente activado.

Figura 7

Diagrama de bloques de la obtención del biosorbente activado



Preparación de la biomasa:

Recolección de la muestra: La muestra de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo), fue recolectada el 15 de marzo del presente año de los jardines de la UNSAAC, en la Figura 8 se refleja los residuos que se generan por la poda de los jardines de la ciudad universitaria y la Figura 9 muestra la etapa de la recolección del kikuyo, que fueron 196.58 g de muestra.

La muestra fue transportada en un plástico ziploc al laboratorio de tecnologías donde se realizaron las experimentaciones.

Figura 8

Residuos de kikuyo de la poda de jardines



Figura 9

Recolección de la muestra



Selección: Se realizó la selección de la muestra de kikuyo verde separando de los restos de kikuyo amarillento y seco (impurezas).

Lavado: El material fue lavado con agua destilada para la remoción de tierra y restos sólidos que contenía la muestra, como se presenta en la Figura 10.

Figura 10

Lavado de kikuyo



Secado: El secado fue realizado por 24 horas al ambiente y posteriormente se secó en la estufa de convección forzada a 80 °C por un período de 24 horas, en la Figura 11 se visualiza el secado de la biomasa.

Figura 11

Secado de la biomasa



Nota; Imagen (a) muestra el secado al ambiente y la imagen (b) secado en la estufa de convección forzada

Molienda: Culminado la etapa de secado, el kikuyo seco fue triturado en el mortero con pilón hasta obtener la biomasa en polvo, ver Figura 12.

Figura 12

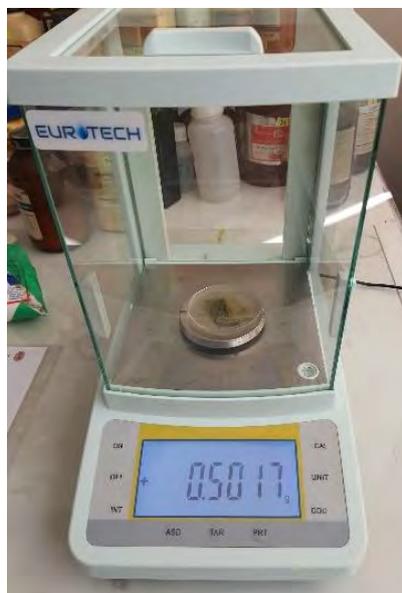
Molienda de la biomasa de kikuyo



Pesado: Con el kikuyo triturado en polvo se procedió a pesar en la balanza analítica como se muestra en la Figura 13, para luego ser almacenado en el desecador.

Figura 13

Pesaje de la biomasa de kikuyo



Activación del biosorbente:

➤ Hidrólisis ácida y alcalina del biosorbente.

El proceso de activación se realizó en dos etapas, la primera etapa, fue la hidrólisis ácida, donde se empleó 33.73 g de kikuyo molido, el cual fue depositado en cartuchos de papel de filtración rápida, seguidamente se colocó en el equipo soxhlet cuya finalidad es romper las estructuras poliméricas de la lignina, celulosa y hemicelulosas de esta manera incrementar la porosidad del material y el afloramiento de los grupos funcionales activos responsables de la adsorción. Para la hidrólisis ácida se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1,25% (v/v) por un período de 60 minutos, la segunda fase fue la hidrólisis básica, esta se realizó con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3.25% (p/v) por el mismo período de tiempo. La Figura 14 muestra el proceso.

Figura 14

Equipo Soxhlet del laboratorio de tecnologías



Luego se dejó secar las muestras a temperatura ambiente como muestra la Figura 15.

Figura 15

Secado de biosorbente activado a temperatura ambiente



➤ **Molienda:** Posterior al secado se realizó la molienda de las muestras del Biosorbente Activado (BA) como muestra la Figura 16.

Figura 16

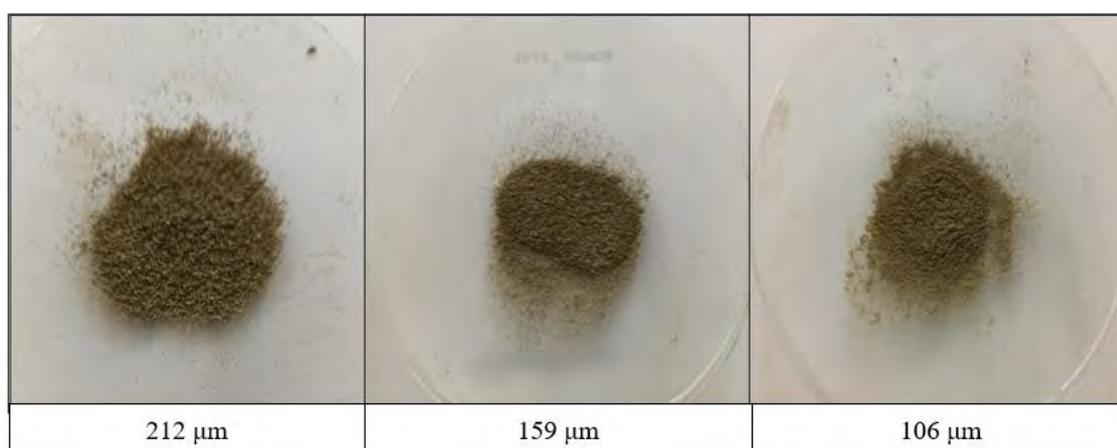
Molienda del biosorbente activado (BA)



- ❖ **Tamizado:** La operación de cribado se realizó con las mallas Tyler estándar, se emplearon tres mallas de diferentes granulometrías, la primera fue de 106 μm (N°140 malla Tyler), la segunda malla de 159 μm (malla Tyler más aproximada N°100) y finalmente la de 212 μm (N°70 malla Tyler). Como se muestra en la Figura 17.

Figura 17

Biosorbente activado a diferentes tamaños de malla (212, 159 y 106 μm)



Las muestras obtenidas fueron pesadas. La determinación del rendimiento de la hidrólisis ácida y básica se realizó con la ecuación (3.1)

$$R = \frac{M}{m} \times 100 \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Donde:

R: rendimiento total (%)

M: masa final de la muestra seca kikuyo hidrolizado (g)

m: masa inicial de la muestra seca de kikuyo(g)

3.4.2. *Determinación de humedad*

Para la determinación de la humedad de la muestra de kikuyo, se realizó cuatro repeticiones (K-1, K-2, K-3 y K-4) donde se pesó la muestra húmeda (PMH) en la balanza analítica, posteriormente se dispuso la muestra húmeda en la estufa de convección forzada a una temperatura de 80 ° C por 24 horas con la finalidad de eliminar el contenido de agua en la muestra. Transcurridas las 24 horas se pesó la muestra seca (PMS), el cálculo del porcentaje de humedad se realizó con la ecuación (3.2)

$$\% \text{ Humedad} = \frac{PMH - PMS}{PMH} \times 100 \text{ Ecuación (3.2)}$$

Donde:

PMS: Peso de muestra seca

PMH: Peso de muestra húmeda

3.4.3. *Caracterización de la biomasa y del biosorbente*

Se caracterizó la biomasa, el biosorbente y el biosorbente saturado por espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR), método BET, y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM/ EDS) en el laboratorio acreditado de servicio SLAB (Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C.) ubicado en la Ciudad de Lima.

Análisis de espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

El análisis de Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) tuvo la finalidad de identificar los grupos funcionales del biosorbente, donde para cada zona característica de adsorción hay un enlace químico, los rangos de frecuencia fueron de 380 a 4000 cm⁻¹.

Se realizó el análisis de las muestras de biomasa, biosorbente y biosorbente saturado con Cr (III).

- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo - Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10- Origen
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380 cm^{-1} a 4000 cm^{-1}

Método BET

Mediante la técnica BET (Branauer-Emmet-Teller) se determinó el área específica del biosorbente y de la biomasa residual de kikuyo en el analizador de área de superficie de marca Micrometrics a las siguientes condiciones:

- Análisis adsorbente: N_2
- Tiempo de equilibrio: 5 segundos
- Densidad de muestra: 1.000 g/cm^3
- Condiciones de desgasificación: 6 horas a 200°C / He

Microscopia electrónica de barrido (SEM /EDS)

El SEM o microscopia electrónica de barrido (Scanning Electron Microscopy) es un método muy utilizado para el análisis de las características microestructurales de sólidos, que brinda información de la morfología y características de la superficie externa.

Se analizaron las características microestructurales de las muestras de biosorbente activado y saturado.

- El equipo que se utilizó fue Fei Quanta 650 modelo Octane Pro,
- Temperatura: $20.2\text{ }^\circ\text{C}$
- Humedad Relativa: 54.8%

Además, se caracterizaron cualitativamente por EDS, donde el análisis de los rayos X emitidos por una muestra expuesta a un haz de electrones de alta energía permite identificar

los elementos que están presentes en la muestra mediante la determinación de las energías (EDS), se analizaron el Biosorbente Activado y el biosorbente saturado.

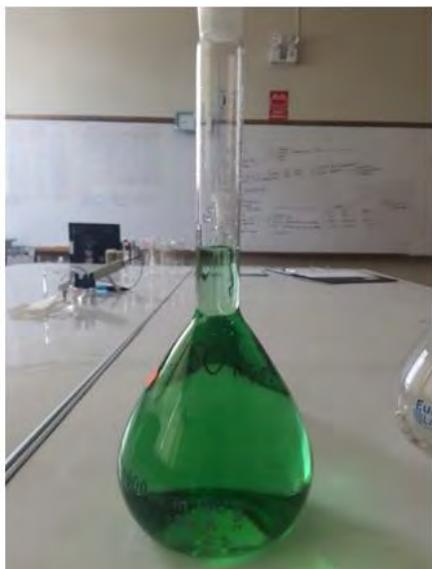
3.4.4. Preparación de aguas sintéticas de Cr (III)

Preparación de solución madre

Se preparo una solución stock estándar como se muestra en la Figura 18, el volumen de la solución madre fue de 3L a una concentración de 250 ppm de Cr (III), a partir de la sal $\text{CrCl}_3 / 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck, p.a). Se tomaron alícuotas de la solución madre para preparar la dilución problema a una concentración de 50 ppm de Cr (III). La concentración inicial de Cr (III) de 50 ppm se fijó debido a que los efluentes de las Industrias Peleteras del sector de Sicuani – Cusco presentan una concentración de cromo en promedio de 50 ppm y al ser la problemática de ese sector se estableció dicho valor.

Figura 18

Solución madre 250 ppm y dilución de 50 ppm de Cr (III)



3.4.5. Proceso de adsorción

Pruebas de adsorción

Las pruebas de adsorción se realizaron en el equipo de prueba de jarras DAIHAN Scientific como se visualiza en la Figura 20 a una velocidad de agitación de 150 rpm por un

tiempo de adsorción de 2 horas, el volumen de la solución simulada con Cr (III) fue de 0.3 L a una concentración inicial de 50 ppm. Se estudió la influencia del pH en la solución, tamaño de partícula del biosorbente y dosis del biosorbente sobre la capacidad de adsorción (q) (mg/g). La Tabla 4 muestra los factores y niveles.

Tabla 4

Factores y niveles

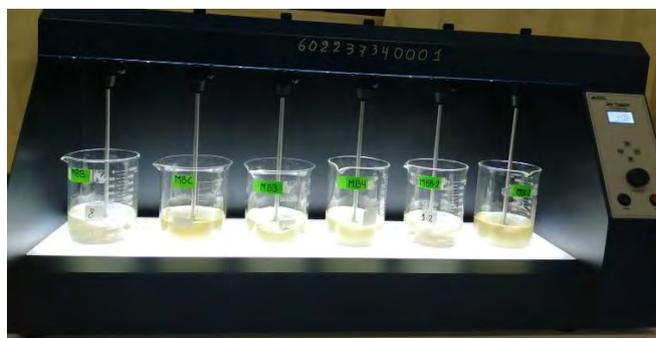
| Factores | Niveles | |
|---------------------|---------|-----|
| pH | 4.8 | 5.5 |
| T (μm) | 106 | 212 |
| D (g/L) | 0.5 | 1 |

Donde:

- pH: Potencial de hidrógeno
- T: Tamaño del biosorbente (μm)
- D: Dosis de biosorbente (mg/L)

Figura 19

Equipo de prueba de jarras



El Plan experimental abarca un diseño experimental factorial 2^3 y se consideraron 3 puntos medios, haciendo un total de 11 experimentos como se muestra en la Figura 20 con dos repeticiones, por tanto, en total se realizaron 33 experimentaciones. Para el diseño experimental

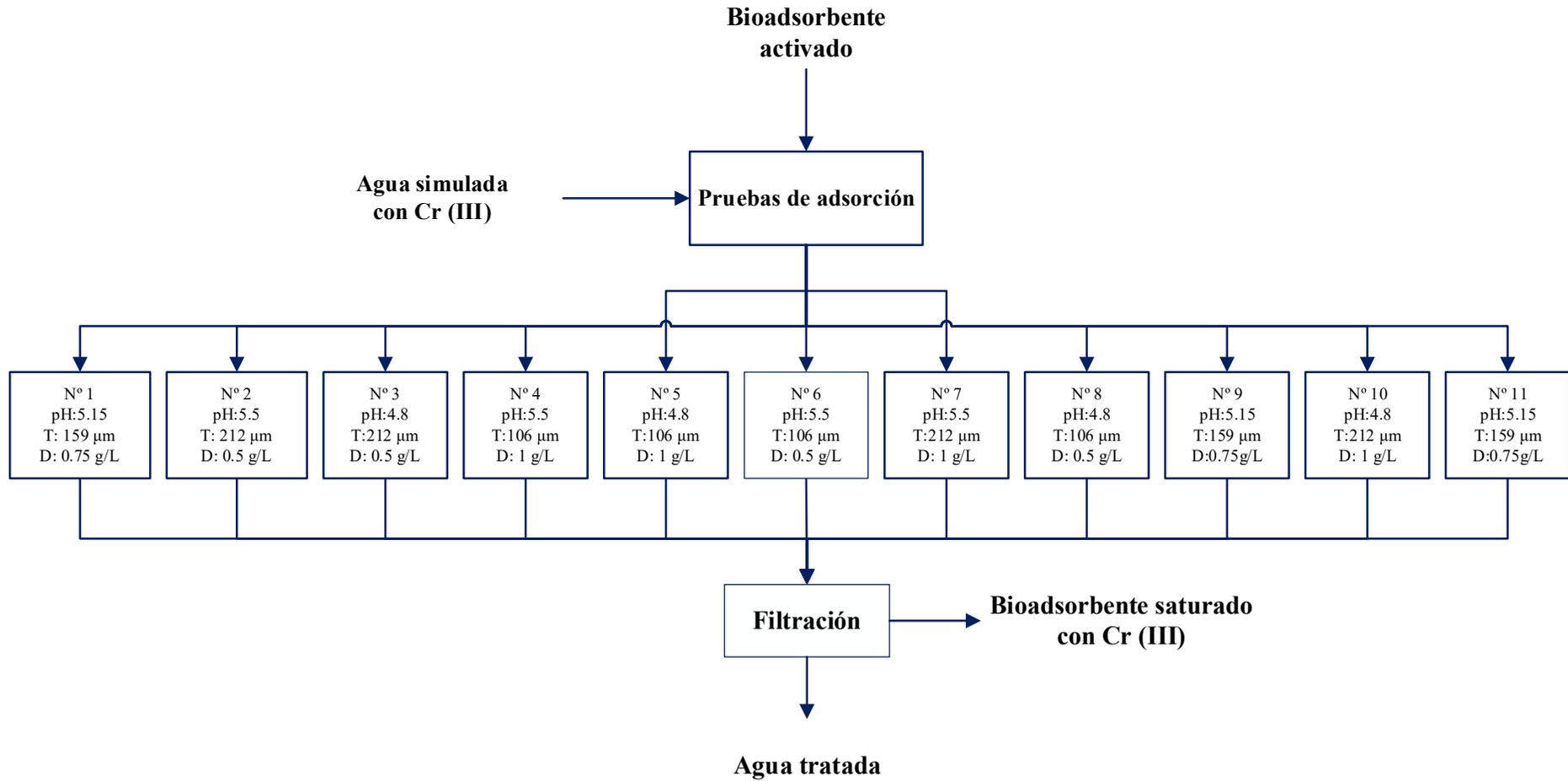
se utilizó el software Statgraphics centurión 18 (licencia adquirida de Software Shop en el 2022) donde se consideraron 3 bloques. La Tabla 5 resume el diseño experimental de la investigación 11 experimentos con 2 repeticiones.

Tabla 5

Diseño del plan experimental

| N° | pH | D (g/L) | T (µm) | q (mg/g) |
|----|------|---------|--------|----------|
| 1 | 5.15 | 0.75 | 159 | - |
| 2 | 5.5 | 0.5 | 212 | - |
| 3 | 4.8 | 0.5 | 212 | - |
| 4 | 5.55 | 1 | 106 | - |
| 5 | 4.8 | 1 | 106 | - |
| 6 | 4.8 | 1 | 212 | - |
| 7 | 5.5 | 1 | 212 | - |
| 8 | 4.8 | 0.5 | 106 | - |
| 9 | 5.15 | 0.75 | 159 | - |
| 10 | 5.5 | 0.5 | 106 | - |
| 11 | 5.15 | 0.75 | 159 | - |

Nota; Donde D: es dosis del biosorbente, T: tamaño del biosorbente y q: capacidad de adsorción.

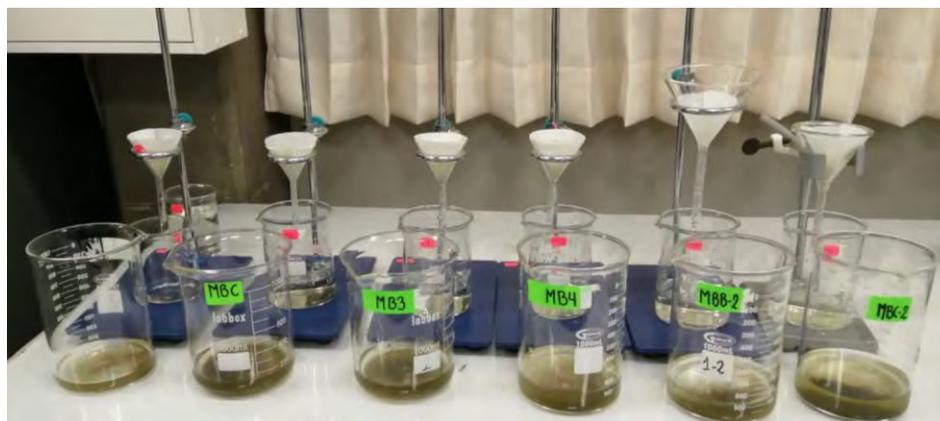
Figura 20*Diagrama de bloques del proceso de adsorción*

Filtración

Terminado el proceso de adsorción las muestras fueron filtradas, se utilizando papel filtro de rápida filtración, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Proceso de filtración



Terminada la filtración las muestras líquidas se almacenaron en viales para ser analizadas por absorción atómica (AA) en el equipo Thermo Scientific modelo AA ICE 3300 del Laboratorio acreditado Hidrolab ubicado en la Ciudad de Lima.

3.4.5.1. Determinación de las capacidades de adsorción

Las capacidades de adsorción de los iones Cr (III) (q) en mg Cr/g biosorbente en la experimentación, fueron determinadas por la ecuación empírica de balance de masa citado por Maldonado et al. (2012) ecuación (3.3)

$$q = \frac{V}{m} (C_e - C_f) \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Donde:

q = capacidad de adsorción de Cr (III), mg/g

C_f = Concentración final de Cr (III), ppm.

C_e = Concentración Inicial de Cr (III), ppm.

V = volumen de la solución, L

m = masa de biosorbente, g

Los resultados fueron analizados y tratados estadísticamente para determinar las variables más significativas, el efecto de las variables y el modelo matemático que relaciona las variables de estudio.

3.4.6. Modelo matemático

Con los datos obtenidos, se determinó la significancia de las variables y prueba ANOVA utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion 18 tomando como variable dependiente la capacidad de adsorción (q) y como variables independientes el pH de la solución contaminada, el tamaño del biosorbente (μm) y la dosis del biosorbente (g/L), con el propósito de determinar cuál es el efecto que tienen las variables independientes sobre la variable dependiente o de respuesta.

3.4.7. Estudio cinético

Los estudios de la cinética de adsorción del Cr (III) se realizaron en tres lotes, donde se evaluó la variación de la capacidad de adsorción en función del tiempo.

Se prepararon tres muestras de 300 ml conteniendo solución acuosa de agua sintética a 50 ppm de Cr (III), el tratamiento con el biosorbente activado de kikuyo se realizó a las mejores condiciones de adsorción. Se utilizó el equipo de agitación magnética, ver Figura 22 y se recogieron alícuotas de 10 ml en intervalos de tiempo desde el minuto cero hasta las 2 horas de adsorción.

Los parámetros de las pruebas de cinética fueron:

- Concentración Inicial (C_i): 50 ppm
- Tiempo: 2 h
- Volumen: 0.3 L
- Velocidad de agitación: 150 rpm

Figura 22*Equipo de agitación magnética*

El estudio de la cinética de adsorción fue analizado mediante las ecuaciones de Pseudo primer orden, Pseudo segundo orden y modelo Elovich.

3.4.7.1. Modelo de pseudo primer orden

La ecuación matemática de pseudo primer orden fue descrito por Lagergren en el año 1898 y citado por Ho y Mckay (1999) como se muestra la ecuación (2.1)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t , (mg/g)

t : tiempo de contacto, min

q_e : capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

k_1 : constante de velocidad (min^{-1})

Para determinar las constantes, se integra y reacomodo la ecuación (2.1) de donde finalmente se obtuvo la ecuación (2.1.1)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

$$q_e - q_t = x$$

$$-dq_t = dx$$

$$dq_t = -dx$$

$$-\int_0^{q_t} \frac{dx}{x} = k_1 \int_0^t dt$$

$$-\ln(q_e - q_t)|_0^{q_t} = k_1 t$$

$$-[\ln(q_e - q_t) - \ln(q_e - 0)] = k_1 t$$

En forma lineal se tiene la siguiente ecuación:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad \text{Ecuación (2.1.1)}$$

Se determinaron las constantes cinéticas a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

3.4.7.2. Modelo de pseudo segundo orden

La ecuación de la cinética de adsorción de pseudo segundo orden (Ho y McKay, 2000) se representa en la ecuación (2.2)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g)

t : tiempo de contacto (min)

q_e : capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

k_2 : constante de velocidad de pseudo segundo orden ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)

Para determinar las constantes, se integra y reordena la ecuación de pseudo segundo orden.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

$$q_e - q_t = x$$

$$-dq_t = dx$$

$$dq_t = -dx$$

$$-\int \frac{dx}{x^2} = k_2 \int dt$$

$$\int_0^{q_t} \frac{x^{-2+1}}{-2+1} dx = k_2 \int_0^t dt$$

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} \Big|_0^{q_t} = k_2 t$$

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} - \frac{1}{q_e} = k_2 t$$

$$q_t = q_e - \frac{1}{\frac{1}{q_e} + k_2 t}$$

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$$

Finalmente se obtiene la ecuación lineal

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{Ecuación (2.2.1)}$$

Si: $V_0 = k_2 q_e^2$ donde V_0 : velocidad de adsorción ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$)

Remplazando en la ecuación

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{V_0} + \frac{t}{q_e} \quad \text{Ecuación (2.2.2)}$$

La ecuación (2.2.2) se utilizó para la gráfica de los datos experimentales de la cinética de adsorción y se determinó la constante cinética a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

3.4.7.3. Modelo Elovich

La ecuación del modelo Elovich es expresada como la ecuación (2.3) citado en Arguello et al. (2017).

$$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t , (mg/g),

α : velocidad inicial de adsorción (constante de Elovich, mg/g min)

β : relación con la superficie cubierta y la energía de activación por quimisorción, (g/mg.)

Integrando la ecuación y manteniendo constantes las condiciones de contorno a $t=0$, $q_t=0$ y a $t=t$, $q_t=q_t$, la ecuación será:

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad \text{Ecuación (2.3.1)}$$

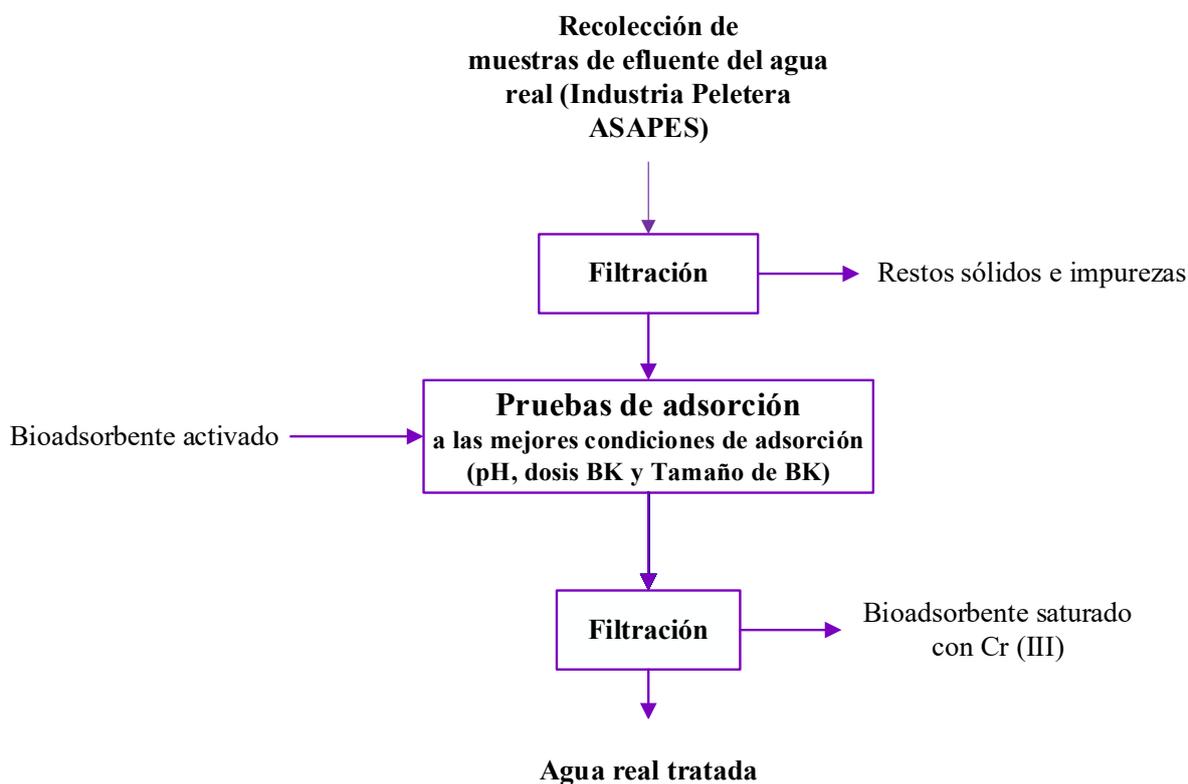
La ecuación (2.3.1) se utilizó para la gráfica de los datos experimentales de la cinética de adsorción y se determinaron las constantes cinéticas a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

3.4.8. Prueba de adsorción con el agua real

Las pruebas de adsorción en agua real con el biosorbente de kikuyo se realizaron siguiendo el diagrama de bloques, de la Figura 23.

Figura 23

Diagrama de bloques para la adsorción de Cr (III) con el biosorbente en la muestra real



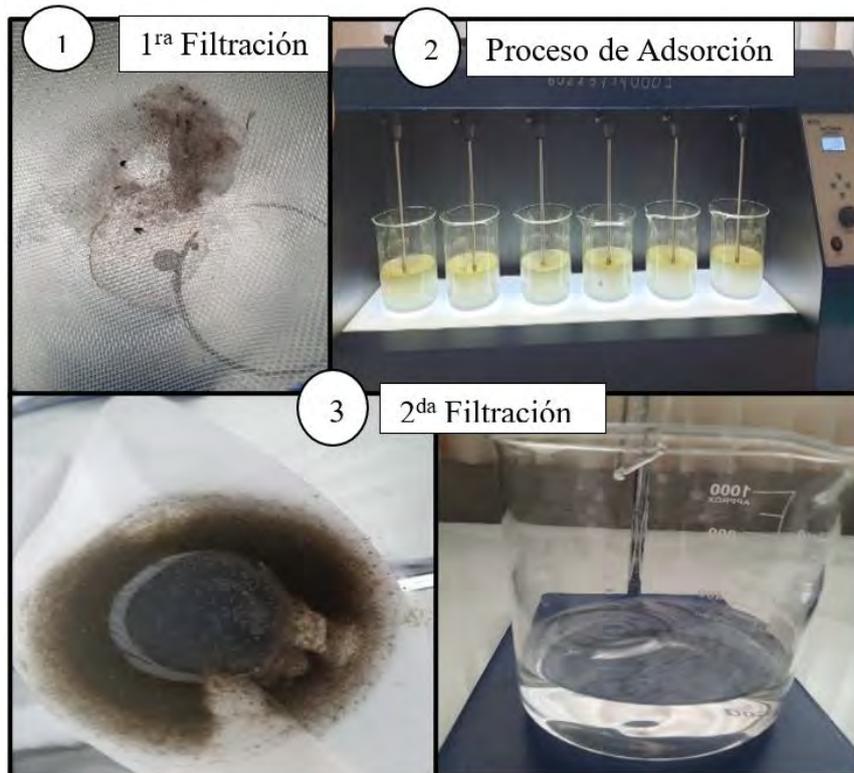
Se realizó el muestreo de 10 L del efluente de la etapa de curtido, de la Industria Peletera ASAPES ubicada en Av. Prolongación la verdad S/N la localidad de Cusco- Canchis - Sicuani, como se muestra en la Figura 24. La muestra fue sometida a un proceso de filtración para remover los sólidos gruesos (restos de lana, piedras, tierra y pasto seco), posteriormente se hizo la prueba de adsorción en el equipo de prueba de jarras DAIHAN Scientific a las mejores condiciones experimentales de adsorción logradas en la parte experimental anterior, por un período de 2 horas y a una velocidad de agitación de 150 rpm; finalmente, se filtraron las muestras las que fueron analizadas por el laboratorio acreditado Louis Pasteur S.R.L. tda. La Figura 25 refleja el proceso desarrollado.

Figura 24

Recolección del agua real

**Figura 25**

Proceso de adsorción agua real



Nota; Donde (1) es la primera filtración, (2) el proceso de adsorción y (3) filtración después del proceso de adsorción.

3.4.9. Regeneración del biosorbente

El proceso de regeneración se realizó mediante una desorción del biosorbente saturado con Cr (III) utilizando soluciones de agua destilada a pH ácidos y básicos (3, 4, 8 y 9), los cuales se regularon con ácido nítrico (HNO₃) 0.1 M y con hidróxido de sodio (NaOH) al 3.25%. El proceso se realizó en el equipo shaker ORBITAL a una velocidad de agitación de 50 rpm por un período de 2 horas, se dispusieron doce matraces cada uno con un volumen de 25 ml de solución y 0.15 gr de biosorbente saturado con Cr (III), como se muestra en la Figura 26 (a).

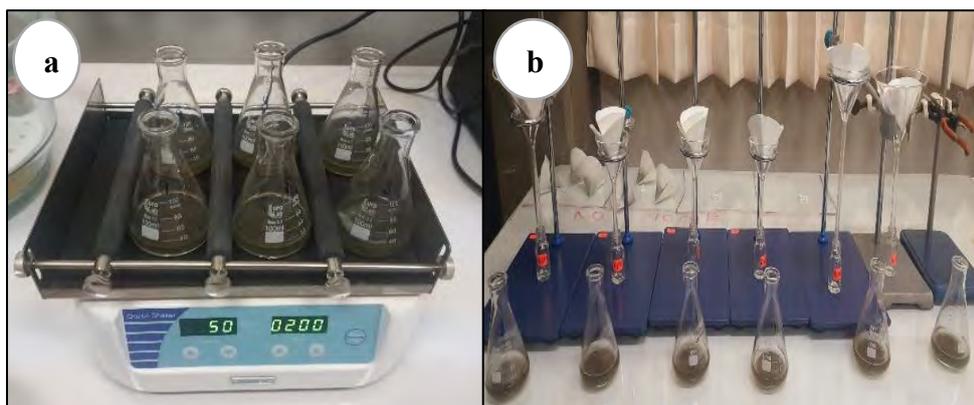
Al finalizar la desorción se procedió a filtrar las muestras como se ve en la figura 26 (b), las muestras líquidas fueron analizadas por absorción atómica (AA) en el laboratorio acreditado Hidrolab, donde se determinó la concentración de Cr (III) que se liberó del biosorbente saturado en el proceso de desorción. El biosorbente regenerado (BR) se secó al ambiente. Para el cálculo del porcentaje de desorción se utilizó la ecuación (3.4) (Rearte et al., 2013a)

$$\% \text{ Desorción} = \left(\frac{C_i * 100}{C_f} \right) \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

Donde

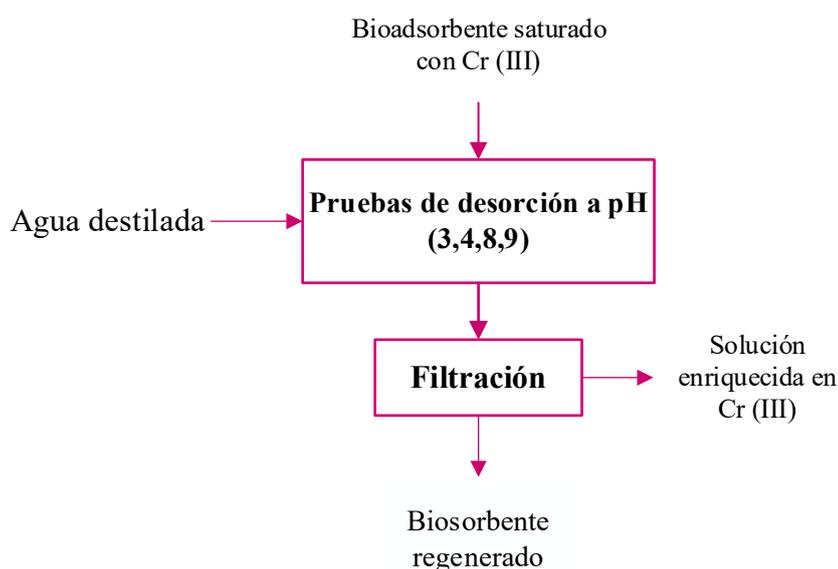
C_i: Concentración inicial, mg/L

C_f: Concentración final, mg/L

Figura 26*Proceso de desorción del biosorbente saturado*

Nota; La imagen (a) es del proceso de desorción en el equipo Shaker y la imagen (b) el proceso de filtración

La Figura 27 muestra el proceso de regeneración del biosorbente saturado con Cr (III)

Figura 27*Proceso de regeneración del biosorbente saturado con Cr (III)*

3.4.9.1. Proceso de adsorción con el biosorbente regenerado (BR)

El proceso de adsorción se realizó con el BR que presentó mayor porcentaje de desorción en el equipo de prueba de jarras, por 2 horas, velocidad de agitación de 150 rpm, volumen de 0.3 L de solución sintética de Cr (III) y a las condiciones de pH, dosis y tamaño

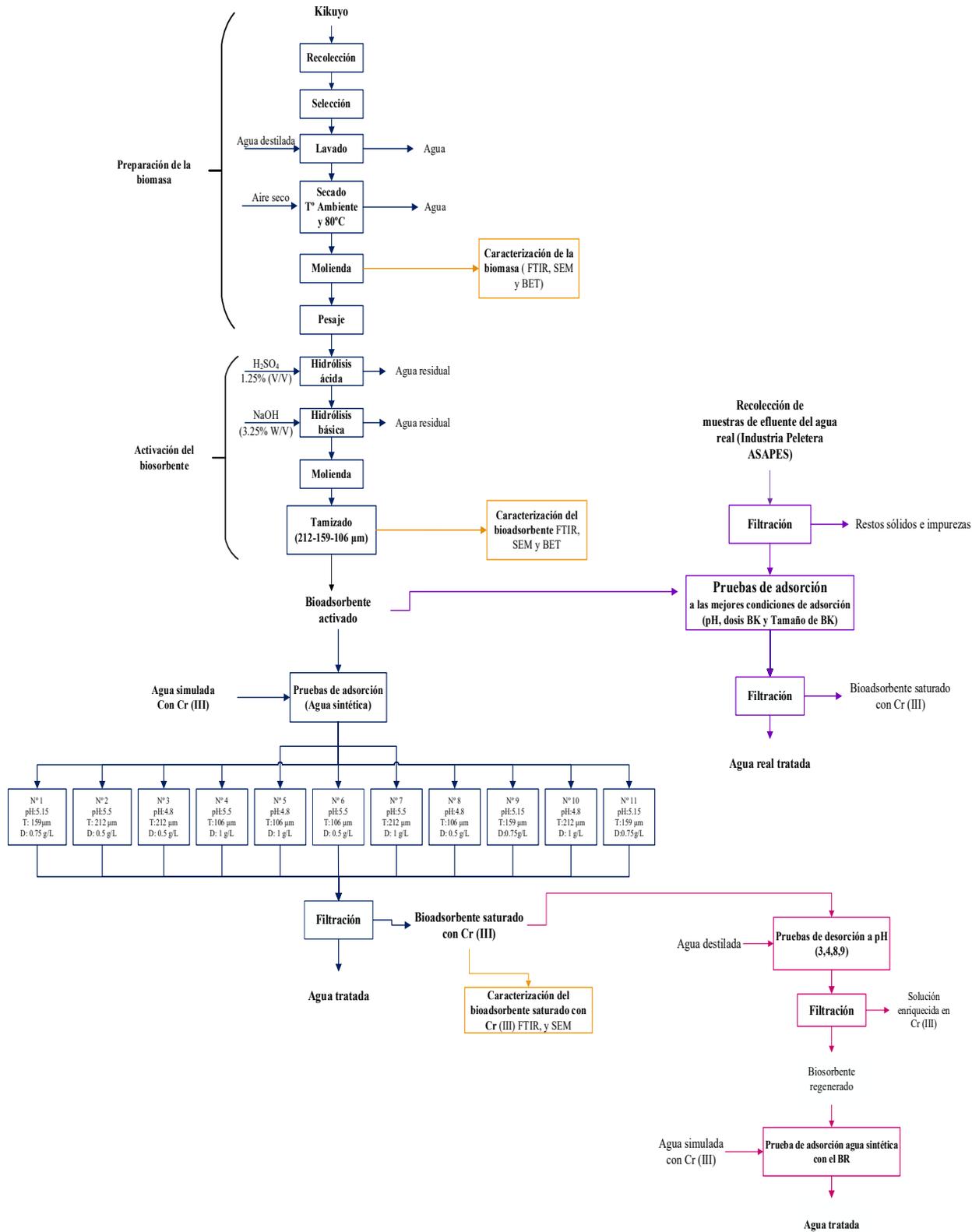
de biosorbente con las que se logró mayor capacidad de adsorción en las pruebas experimentales anteriores.

En la muestra tratada se analizó el contenido residual de Cr (III) por absorción atómica en el laboratorio acreditado Hidrolab, posteriormente se calculó la capacidad de adsorción con la ecuación (3.3).

En la Figura 28 se visualiza el diagrama de bloques de todo el proceso de biosorción de Cr (III) de aguas contaminadas utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo).

Figura 28

Diagrama de bloques del proceso de biosorción de Cr (III) de aguas contaminadas utilizando Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)



Capítulo IV

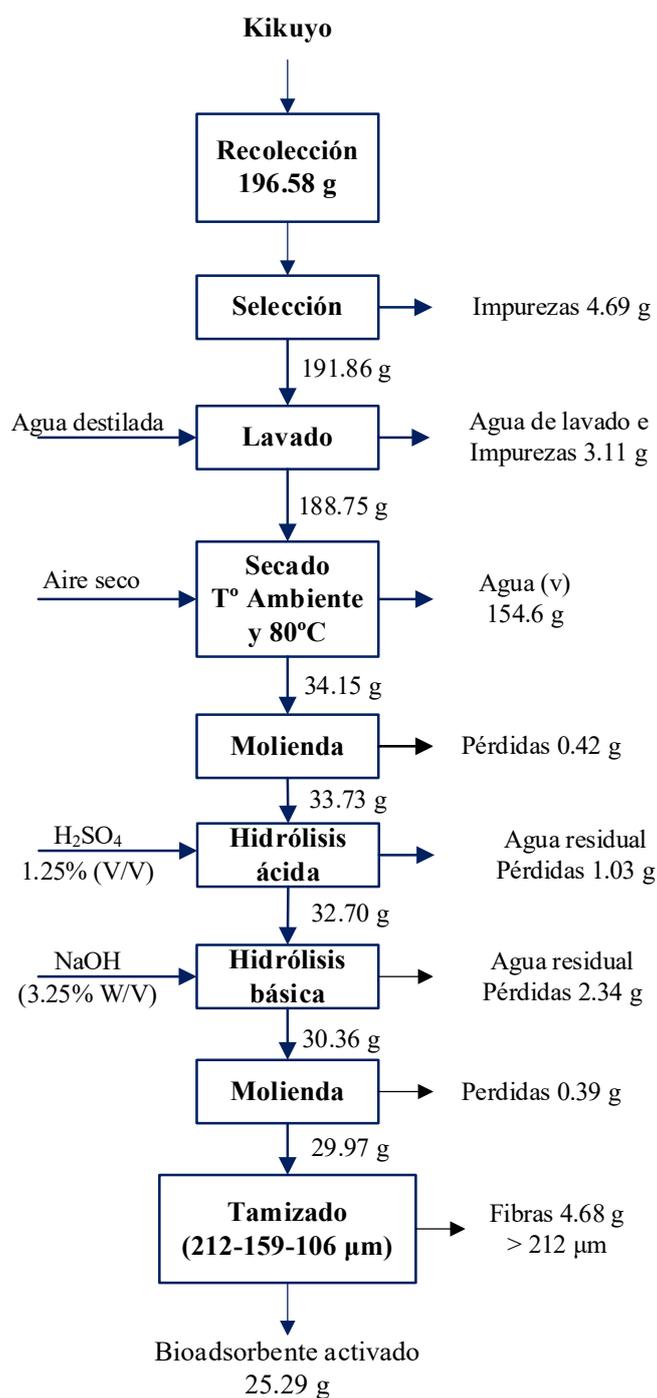
4. Resultados y Discusión

4.1. Rendimiento del proceso de activación química.

La Figura 29 muestra el diagrama de bloques cuantitativo del proceso de preparación del biosorbente.

Figura 29

Diagrama de bloques cuantitativo de la preparación del biosorbente de kikuyo



La Tabla 6, muestra los resultados del balance de masa del proceso de activación química

Tabla 6

Balance de masa del proceso de activación química

| | Masa inicial (g) | Masa final (g) | Pérdida de masa (g) |
|-------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Kikuyo inicial | 33.73 | | |
| Hidrólisis ácida | 33.73 | 32.70 | 1.03 |
| Hidrólisis básica | 32.70 | 30.36 | 2.34 |

De acuerdo a la información de la tabla anterior, se determinó el rendimiento del proceso de activación química (hidrólisis ácida y básica), con la ecuación (3.1), resultando un valor de 90.01%, que indica una pérdida de masa de aproximadamente 10% que influye en la cantidad de biosorbente obtenido.

Los resultados indican pérdida de biomasa por los tratamientos ácido y básico. La hidrólisis ácida provoca la solubilización de la hemicelulosa con el consecuente enriquecimiento de las fracciones de celulosa y lignina (Galbe y Zacchi, 2007). Por otro lado, los resultados indican mayor pérdida de masa en el tratamiento básico, debido a la desintegración de la biomasa con posterior hinchazón; de acuerdo a lo mencionado por (López, 2015). Así mismo, Galbe y Zacchi (2007) señalan que, en la hidrólisis básica, una fracción de lignina es removida al romperse los enlaces externos entre la lignina y la celulosa, incrementando la porosidad y el área superficial de la biomasa; además, disminuye el grado de polimerización y cristalización.

4.2. Caracterización de la biomasa y biosorbente

4.2.1. Determinación de la humedad

Los resultados del porcentaje de humedad se hallaron con la ecuación (3.2) y se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Datos de porcentaje de humedad

| Muestra de kikuyo | Peso (g) | Resultado |
|--------------------|-------------|-----------|
| K-1 | PMH:1.0302 | 77.44% |
| | PMS:0.2325 | |
| K-2 | PMH:0.8334 | 78.16% |
| | PMS: 0.1820 | |
| K-3 | PMH:0.7808 | 77.24% |
| | PMS:0.1777 | |
| K-4 | PMH:0.8315 | 76.04% |
| | PMS: 0.1992 | |
| Resultado Promedio | | 77.22% |

Nota; k-1, 2, 3 y 4 (muestra de kikuyo), PMH es peso de la muestra húmeda y PMS peso de la muestra seca.

La humedad promedio resultante fue de 77.22%, indicativo de que el 22.78 % de masa en promedio fue utilizada para la preparación del biosorbente. Comparando el resultado con Cárdenas Javier y Ulloa Alfaro (2013) quienes reportaron la humedad de kikuyo procedente de la ciudad de Huancayo un valor igual a 59.23%. La diferencia podría atribuirse a la procedencia del kikuyo cuyo crecimiento ocurre a diferentes condiciones.

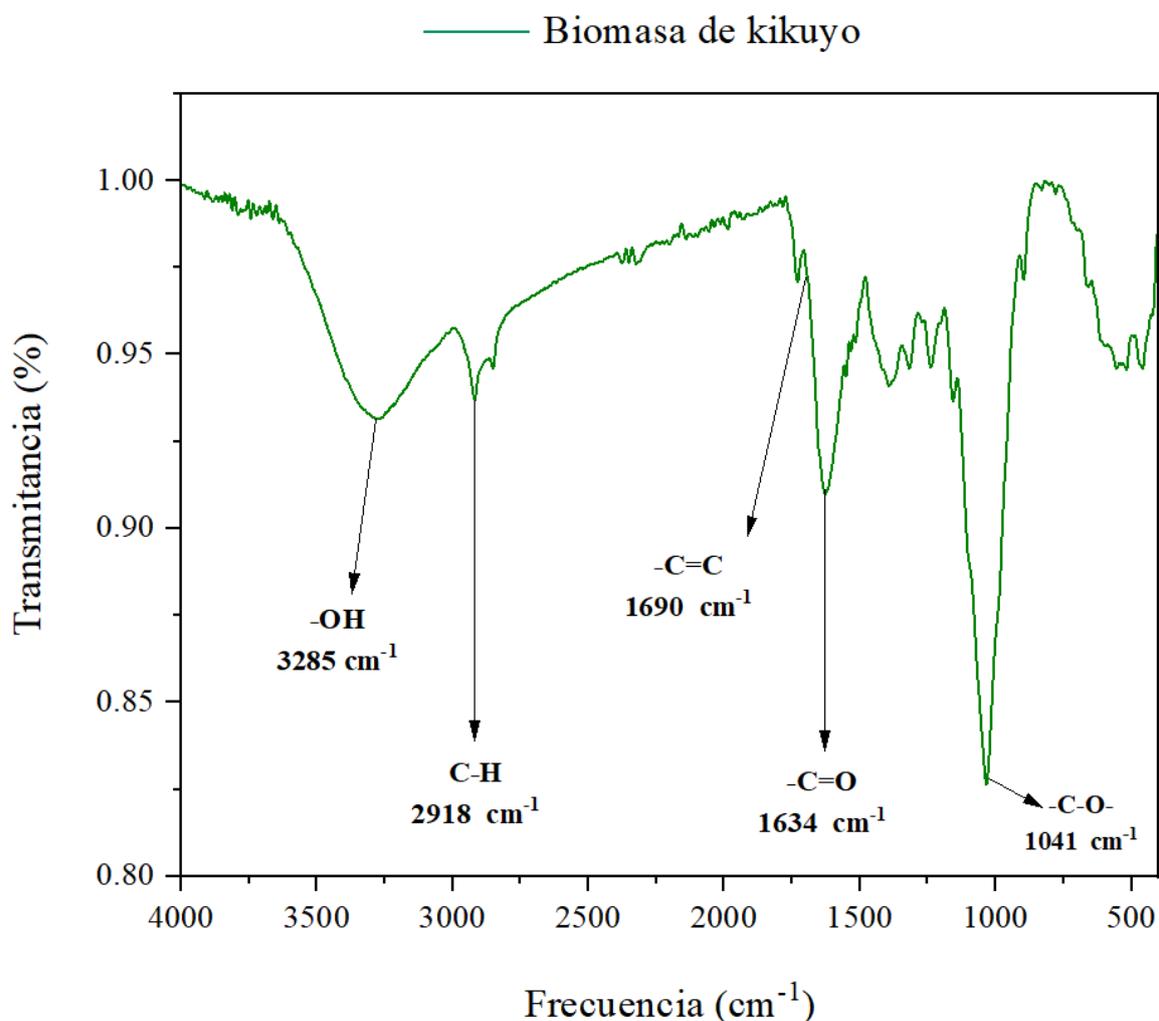
4.2.2. Análisis de espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

La Figura 30 muestra el espectro FTIR de la biomasa de kikuyo sin hidrolizar (BK), donde se observa gran cantidad de picos de absorción, lo que demuestra la compleja

naturaleza de la biomasa. Considerando que cada grupo funcional absorbe radiación en un intervalo específico de frecuencias, que puede variar ligeramente según su entorno electrónico, se caracterizaron la presencia de los grupos funcionales -OH a 3285 cm^{-1} , C-H a 2918 cm^{-1} , -C=C a 1690 cm^{-1} -C=O a 1634 cm^{-1} y -C-O a 1041 cm^{-1} que confirman la naturaleza lignocelulósica del kikuyo, constituido por polímeros de celulosa unidos por enlaces de hidrógeno y Van Der Waals, envueltos en microfibrillas que están cubiertas por hemicelulosa y lignina (Camacho, 2009).

Figura 30

Espectro FTIR de biomasa de kikuyo (BK)

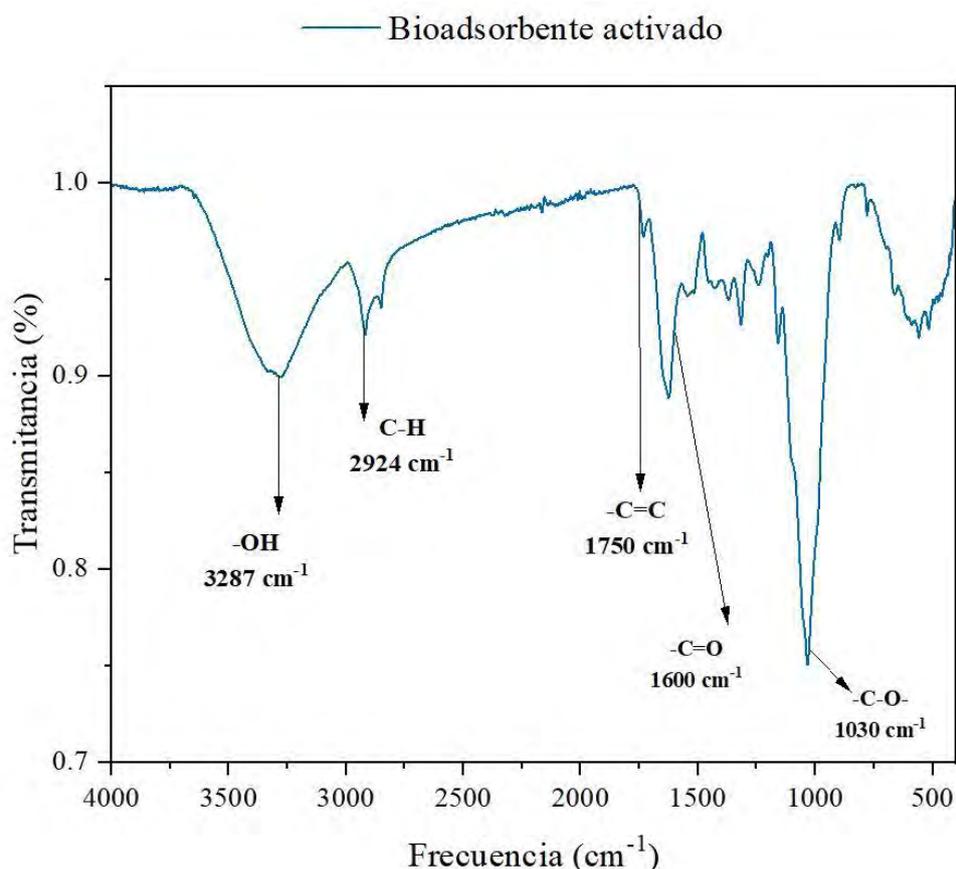


La Figura 31 muestra el espectro FTIR del biosorbente (BA) obtenido por hidrólisis (ácida y básica); en el cual se pueden apreciar los mismos grupos funcionales; de ellos se

puede destacar que en -C=O a 1600 cm^{-1} , -OH a 3287 cm^{-1} y C-O a 1030 cm^{-1} , está presente el átomo de oxígeno con sus dos pares de electrones libres, que otorgan al biosorbente puntos de alta densidad electrónica, que se convierten en centros activos de adsorción. Por su parte, en el grupo C=C la densidad electrónica proviene del enlace π ; por tanto, el grupo C=O es el de mayor densidad electrónica. Cabe destacar lo reportado por (Galbe y Zacchi, 2007), quienes manifiestan que en el tratamiento ácido, se solubiliza la hemicelulosa, mientras que el tratamiento básico, remueve parcialmente la lignina, donde ocurre rompimiento de enlaces, se incrementa la porosidad y el área superficial del biosorbente; este hecho se confirma por los valores menores de transmitancia (mayores absorbancias) de los grupos funcionales de este espectro comparado con el de la biomasa de kikuyo, quedando más expuestos los grupos funcionales.

Figura 31

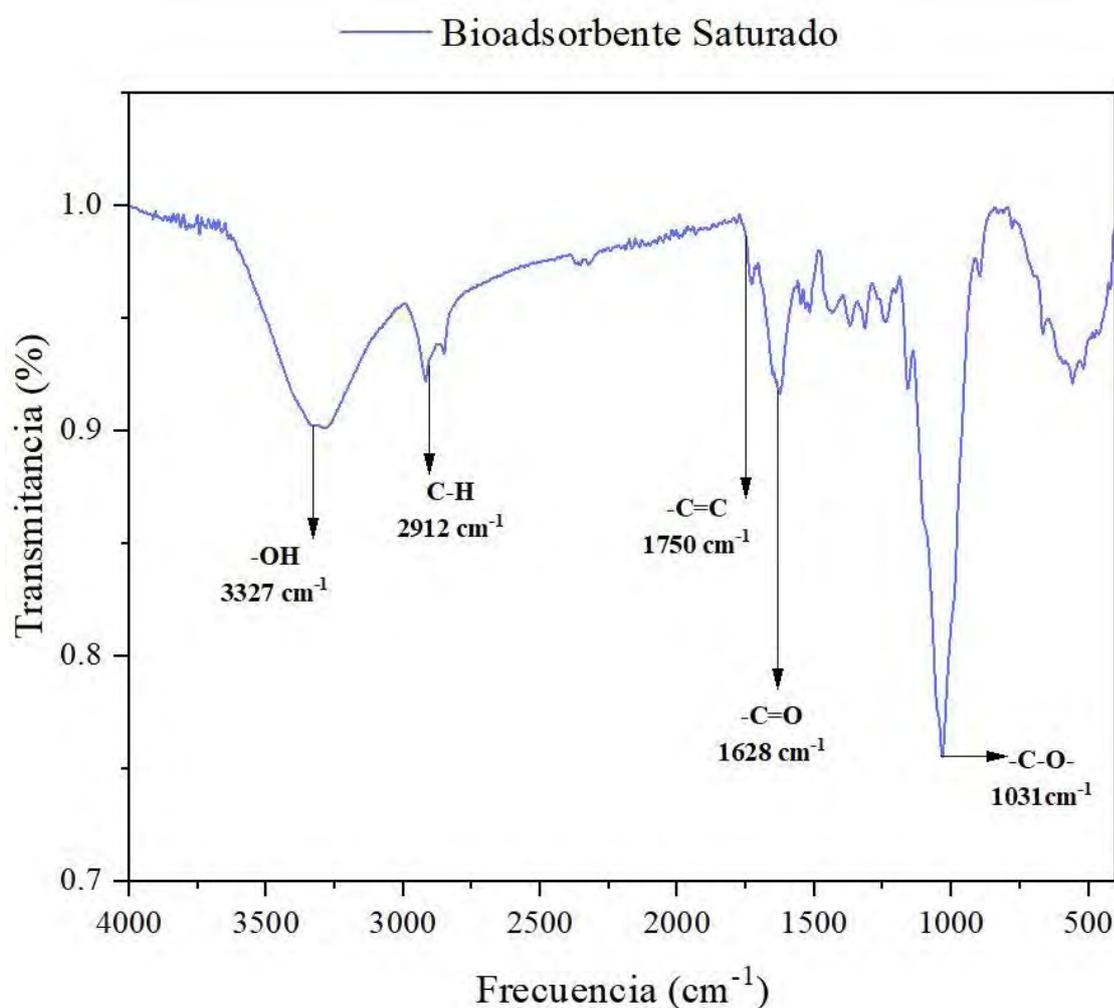
Espectro FTIR del biosorbente activado (BA)



En el espectro del biosorbente saturado con Cr (III) (BS), Figura 32, durante el proceso de adsorción, se enfatizan los grupos funcionales caracterizados -OH a 3324 cm^{-1} , C-H a 2912 cm^{-1} , -C=C- a 1750 cm^{-1} , -C=O a 1628 cm^{-1} y -C-O- a 1031 cm^{-1} , responsables de la adsorción de Cr (III). En el caso del -OH y C-H los picos se desplazan levemente hacia la derecha y los grupos -C=O y -C-O hacia la izquierda; así como se puede apreciar un incremento de los % transmitancia (disminución % absorbancias) lo que implica un consumo de los picos característicos de los grupos funcionales -OH y -C-O, estos cambios podrían ser atribuidos a la interacción de dichos grupos funcionales con el Cr (III).

Figura 32

Espectro FTIR biosorbente saturado con Cr (III) (BS)



La Tabla 8, resume los grupos funcionales caracterizados en los tres espectros correspondientes a las muestras de BK, BA y BS en las dos regiones del espectro indicando las frecuencias y tipo de absorciones.

Los resultados de laboratorio de la caracterización FTIR, se muestran en el Anexo A.

Tabla 8

Grupos funcionales de biomasa de kikuyo, biosorbente y biosorbente saturado caracterizados

| Longitud de onda (cm ⁻¹) de la biomasa de kikuyo (BK) | Longitud de onda (cm ⁻¹) del biosorbente (BA) | Longitud de onda (cm ⁻¹) del biosorbente saturado con Cr (III) (BS) | Grupo Funcional | Características |
|---|---|---|-----------------|---|
| Región entre 1400 - 4000 cm ⁻¹ | | | | |
| 3285 | 3287 | 3327 | -OH | Vibración de estiramiento. |
| 2918 | 2924 | 2912 | C-H | Enlace de estiramiento. |
| 1690 | 1750 | 1750 | -C=C | Vibración de tensión, banda intensa. |
| 1634 | 1600 | 1628 | -C=O | Vibración de alargamiento, banda intensa. |
| Región menor a 1400 cm ⁻¹ | | | | |
| 1041 | 1030 | 1031 | -C-O- | Vibración combinada. |

4.2.3. Método BET

Las Tablas 9 y 10 muestran los resultados de la caracterización del área específica BET y el tamaño de poro de la biomasa de kikuyo (BK) y biosorbente activado (BA), respectivamente, mediante la técnica BET.

El método de ensayo está basado en la ISO 9277 (determinación de la superficie específica de sólidos por adsorción de gas- método)

Tabla 9

Resultados para la biomasa de kikuyo (BK)

| Parámetro | Unidad | Resultado biomasa kikuyo |
|---|--------------------|--------------------------|
| Superficie Especifica BET | m ² /g | 0.0303 |
| Langmuir Surface Área | m ² /g | 0.0326 |
| BJH Adsorption cumulative Surface area of pores | m ² /g | 0.0795 |
| BJH Desorption cumulative volume of pores | cm ³ /g | 0.000264 |
| BJH Desorption average pore diameter | Nm | 13.28 |

Tabla 10*Resultados para el biosorbente activado*

| Parámetro | Unidad | Resultado Biosorbente |
|---|--------------------|-----------------------|
| | | Activado |
| Superficie Específica BET | m ² /g | 0.4268 |
| Langmuir Surface Área | m ² /g | 0.5991 |
| BJH Adsorption cumulative Surface area of pores | m ² /g | 1.173 |
| BJH Desorption cumulative Volume of pores | cm ³ /g | 0.002011 |
| BJH Desorption average pore diameter | Nm | 12.37 |

Una comparación de los resultados texturales de la biomasa de kikuyo, respecto al biosorbente activado mediante hidrólisis ácida y básica, muestra que se producen cambios significativos en la superficie específica ocupada por las moléculas de nitrógeno de 0.0303 m²/g a 0.4268 m²/g que corresponde a un incremento de 1308.58 %. En el caso del alga marina *Sargassum*, Gutiérrez et al., (2014) reportaron como área superficial específica 0.17 m²/g, valor inferior al obtenido por el biosorbente de kikuyo en la presente investigación. Sin embargo, Rajesh y Jeeru (2022) analizaron la biomasa de la medula de banano y el tallo de piña y obtuvieron un área superficial BET superior al del kikuyo siendo 100.16 m²/g y 116.01 m²/g respectivamente, cabe mencionar que ambos biosorbentes mejoraron su área superficial gracias a un previo tratamiento químico.

Respecto a la superficie específica Langmuir este incremento es aún superior (1737.73%), debido probablemente al fenómeno de quimisorción que se tiene en cuenta en

estos procesos, los cuales conllevan a la adhesión de las moléculas en la monocapa aumentando de esta manera el número de partículas cubiertas sobre la superficie de la biomasa activada (Colpas et al., 2017). Sin embargo, estos resultados no alcanzan las superficies de los carbones activados; como sucede con los biosorbentes; pero al parecer ocurre una mejor distribución de los poros, lo que genera buenas capacidades de adsorción (Giraldo et al., 2007).

Los resultados de la caracterización de los mesoporos (2 a 50 nm de acuerdo a la IUPAC) por el método BJH (Barret-Joyner-Halenda), indican que la activación de la biomasa de kikuyo aumenta extensiblemente en 1375.47 % la superficie específica de los poros en la adsorción de N₂ y en 661.74 % el volumen de los mismos en la desorción.

Estos resultados podrían atribuirse al H₂SO₄ que facilita la hidrólisis de la celulosa y la despolimerización parcial de la hemicelulosa y lignina que genera un hinchamiento de las partículas de la biomasa y estimula la formación de canales a través de los cuales, el agua formada por la acción del ácido, emerge de la biomasa, originando así la formación de los poros (Wang et al., 2016). Asimismo, al ser un oxidante fuerte conduce a la descomposición de parte de la estructura de la biomasa a óxidos de carbono (CO₂ principalmente), originando nuevos poros.

El tratamiento alcalino a su vez permite el aumento de grupos carboxílicos y el ensanchamiento en el tamaño de los poros de la biomasa aumentando las estructuras mesoporosas, debido a la saponificación del grupo ester presente en los residuos lignocelulósicos (Chacua y Rodríguez, 2018).

Con respecto al diámetro medio de los poros en la desorción de N₂, este disminuye de 13.28 a 12.37 nm, por el proceso de activación, valores que corresponden al rango de mesoporos. La disminución podría deberse a la existencia de un mecanismo distinto de ocupación de los mesoporos con adsorbato, tal como lo sustenta Hernández et al. (2003).

De los resultados se evidencia que el proceso de activación ácida y básica incrementa las propiedades adsorbentes del kikuyo, al demostrar mejoras significativas en sus propiedades texturales, superficies específicas y porosidad.

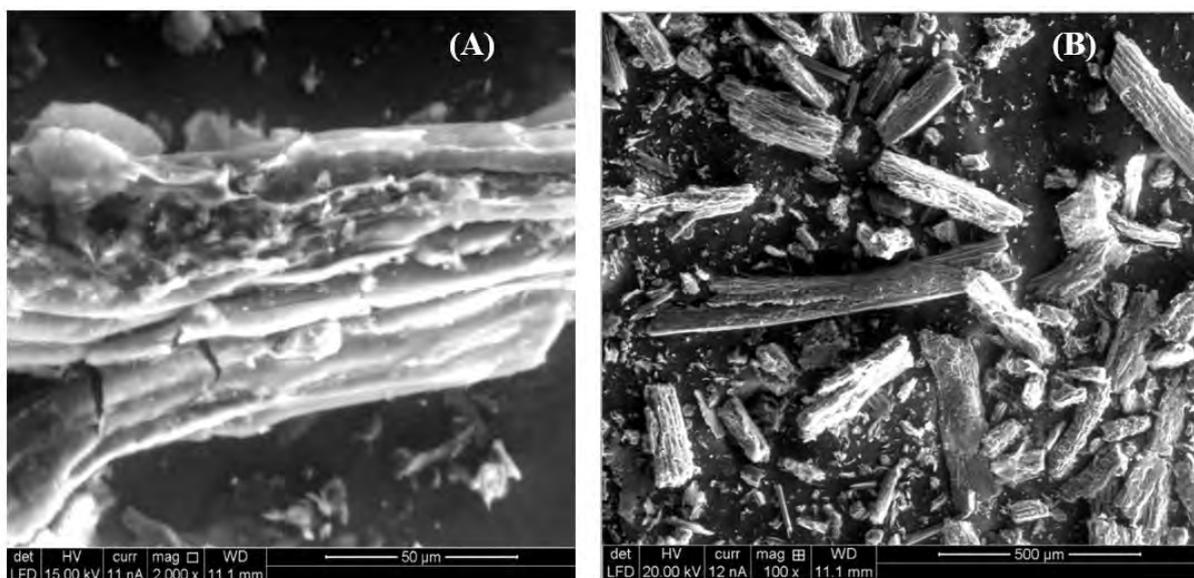
Los resultados de laboratorio de la caracterización BET, se muestran en el Anexo B.

4.2.4. Técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM/EDS)

Los resultados obtenidos en la caracterización SEM con un aumento de imagen de 2000X para el biosorbente activado (BA) y de 400X para el biosorbente saturado (BS), se observan en la Figura 33 y 34, respectivamente.

Figura 33

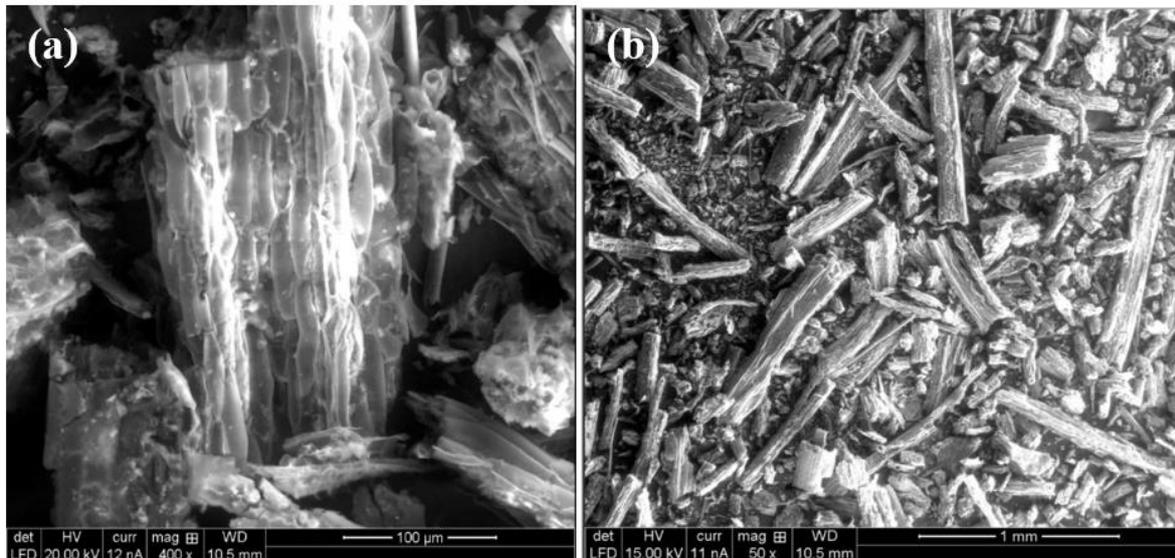
Micrografía morfológica a 2000X y 100 X del biosorbente activado



Nota; La imagen (A) es la micrografía a 2000X y la imagen (B) es la micrografía a 100 X

Figura 34

Micrografía morfológica a 400X y 50X del biosorbente saturado



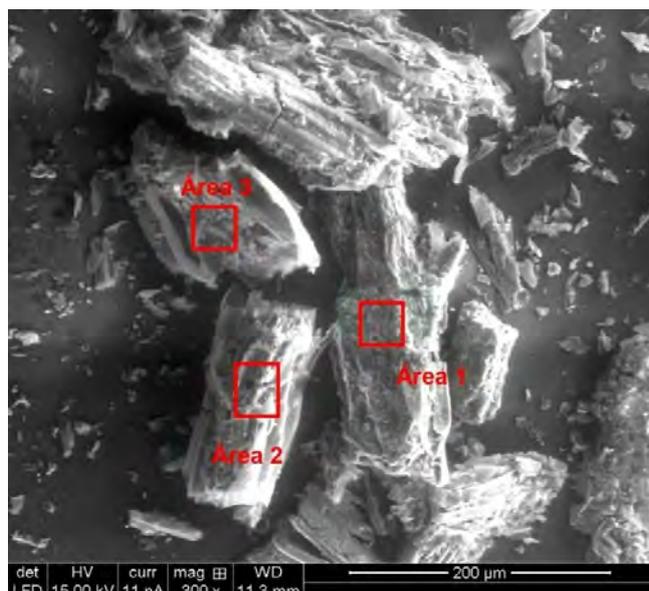
Nota; La imagen (a) es la micrografía a 400X y la imagen (b) la micrografía a 50X

Las micrografías morfológicas de la Figura 33 muestran una estructura formada por placas rugosas horizontales con presencia de cavidades en la superficie distribuidos aleatoriamente, en comparación con la micrografía morfológica de la Figura 34 que presenta una estructura más ordenada en forma de panal que podría deberse a la saturación de los poros con Cr (III). Este cambio en la superficie, evidencia que los poros han sido saturados con Cr (III).

Los análisis de las micrografías morfológicas se realizaron por zonas de análisis (1,2 y 3) y cada zona analizada está conformada por áreas de estudio (1, 2 o 3), la Figura 35 muestra la micrografía morfológica de la zona de análisis 1 donde se muestra las tres áreas de estudio por espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS) para el biosorbente activado.

Figura 35

Micrografía morfológica zona de análisis 1– 300X biosorbente activado



En la Tabla 11 se resume el porcentaje atómico de los elementos esenciales del biosorbente activado (BA) mediante (EDS) y la Figura 36 muestra el (EDS) para el área 1, 2 y 3 de la zona de análisis 1.

Tabla 11

Resultados del análisis elemental (EDS) del biosorbente activado

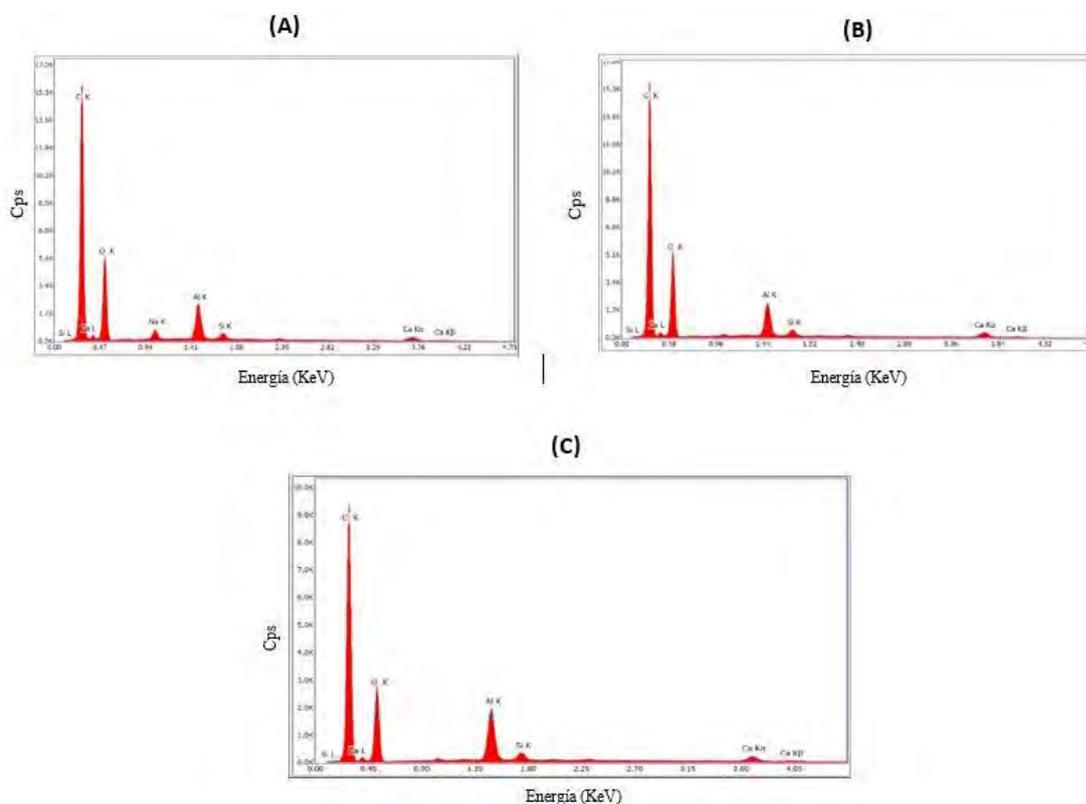
| Elemento | Unidad | Zona N°1 | | | Zona N°2 | Zona N°3 |
|-------------|--------|----------|--------|--------|----------|----------|
| | | área 1 | área 2 | área 3 | área 1 | área 1 |
| Carbono C | % | 61.49 | 61.2 | 63.1 | 60.66 | 62.44 |
| Oxígeno O | % | 30.79 | 32.54 | 28.56 | 38.01 | 33.28 |
| Sodio Na | % | 1.73 | - | - | - | 2.41 |
| Aluminio Al | % | 3.91 | 3.71 | 5.47 | 0.21 | 0.38 |
| Silicio, Si | % | 0.81 | 0.28 | 1.05 | 0.37 | 0.71 |
| Calcio, Ca | % | 1.27 | 1.73 | 1.83 | 0.75 | 0.78 |

De la Tabla anterior, se observa que hay una variación en los elementos esenciales carbono, oxígeno, aluminio, sodio, silicio y calcio en las diferentes zonas de la superficie

del biosorbente que pueden atribuirse a la heterogeneidad de las muestras; mostrando alta presencia de carbono de entre 60 – 63.10 % que es compatible con el origen orgánico de las muestras, seguido del oxígeno con un porcentaje de 28.56 – 38.01 %. Se detecta también la presencia de aluminio, silicio, sodio y calcio, estas composiciones se pueden apreciar de mejor manera en los espectros EDS de la zona de análisis 1 y sus diferentes áreas de estudio (1, 2 y 3). Esta composición es semejante al biosorbente obtenido a partir de la borra de café (Erazo B., 2018). Pero, difiere del biosorbente preparado a partir del alga marina *Sargassum* por Gutiérrez et al. (2014) ya que este biosorbente de alga marina no presenta en su composición aluminio sodio y calcio.

Figura 36

Espectro obtenido de la zona de análisis 1; área 1, 2 y 3



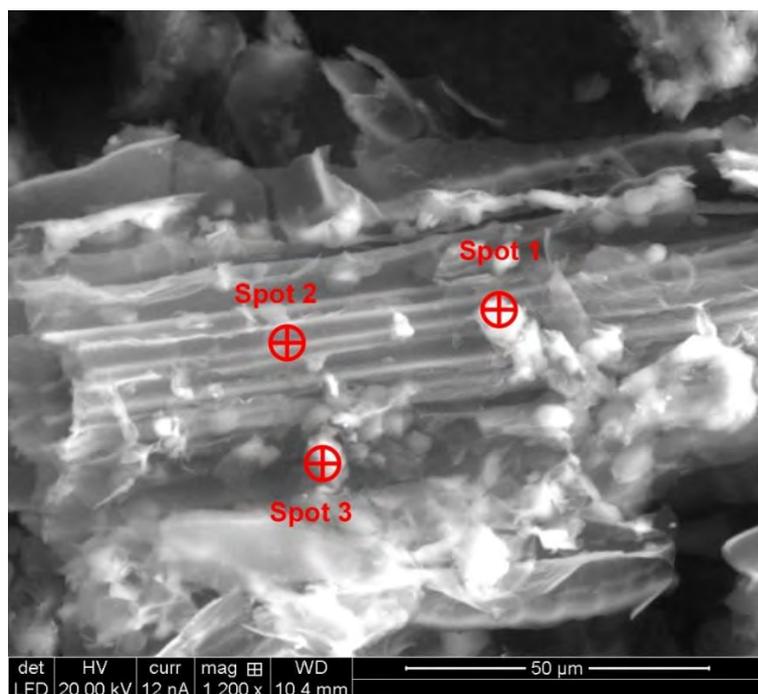
Nota; Espectros (EDS) donde (A) representa al área 1, (B) el área 2 y (C) al área 3 de la zona de análisis 1

De los tres espectros (EDS), se aprecia que hay mayor intensidad de carbono (C); por lo tanto, mayor concentración de este elemento en la biomasa, debido a que la naturaleza de la lignina, hemicelulosa y celulosa está compuesta principalmente de carbono seguida del oxígeno (O) siendo el segundo elemento de mayor presencia en el biosorbente.

La Figura 37 representa la micrografía morfológica de la zona de análisis 3 a 1200X, donde se indican las tres áreas de estudio por (EDS) para el biosorbente saturado con Cr (III).

Figura 37

Imagen de zona de análisis 3, 1200X biosorbente saturado.



El análisis EDS del biosorbente saturado (BS) y los porcentajes atómicos de los elementos esenciales se visualizan en la Tabla 12 y en la Figura 38 se representan los espectros (EDS) de la zona de análisis 3 y sus áreas de estudio (1, 2 y 3).

Tabla 12

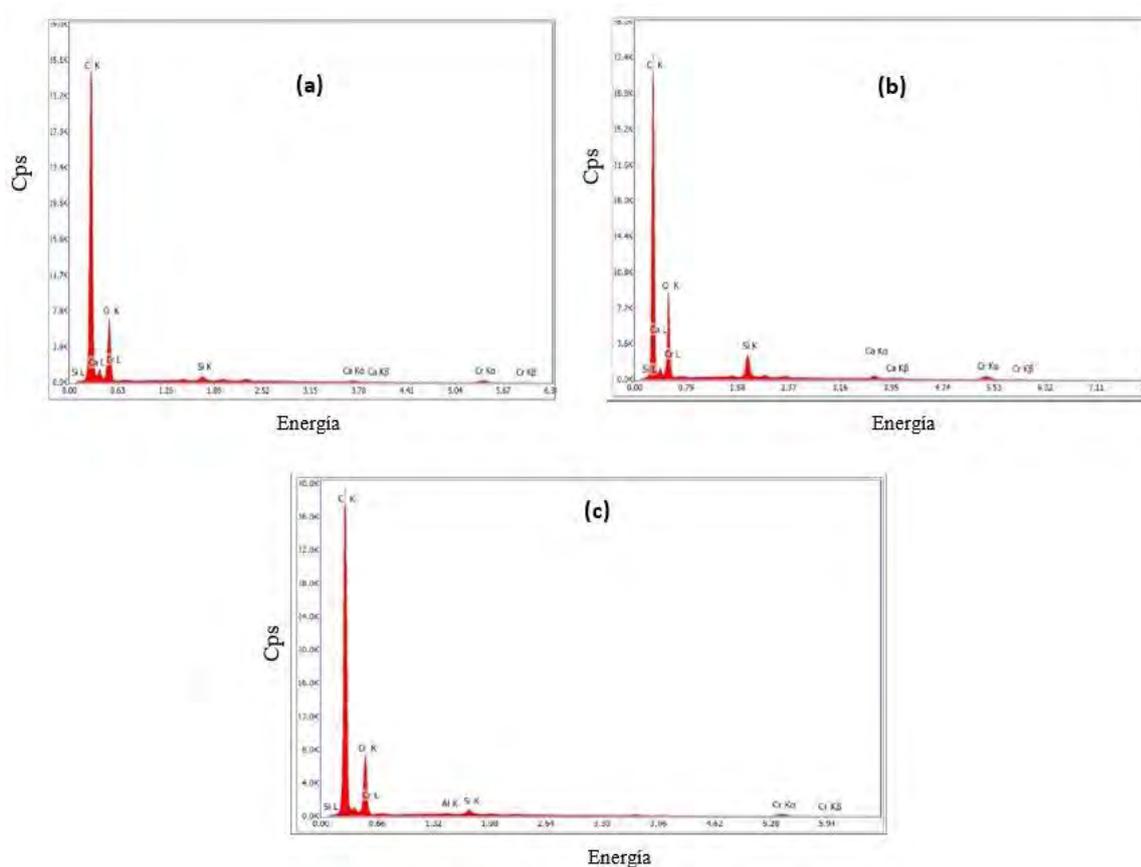
Resultados del análisis elemental (EDS) del biosorbente saturado (BS)

| Elemento | Unidad | Zona N°1 | Zona N°2 | Zona N°3 | | |
|-------------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|
| | | Área 1 | Área 1 | Área 1 | Área 2 | Área 3 |
| Carbono C | % | 54.11 | 55.88 | 67.85 | 68.27 | 63.73 |
| Oxígeno O | % | 42.17 | 41.27 | 30.83 | 30.47 | 33.47 |
| Cromo Cr | % | 0.48 | 1.02 | 0.65 | 0.65 | 0.86 |
| Aluminio Al | % | 0.41 | - | - | 0.23 | - |
| Silicio, Si | % | 2.82 | 0.49 | 0.4 | 0.39 | 1.45 |
| Calcio, Ca | % | - | 0.66 | 0.27 | - | 0.49 |

De la tabla anterior se observa la presencia de Cr (III) en un porcentaje de 0.48 a 1.02 % en todas las zonas y áreas analizadas de la muestra, se evidencia la adsorción del ion metálico en la superficie del biosorbente, así como también lo reporta Figueiroa et al. (2021) quien estudio por EDS al biosorbente de *Cladodios de oputinia ficus-inida var*, “Orelha de elefante” y confirmo la retención de cromo en la biomasa después del proceso de adsorción. Así mismo, se observa la ausencia de sodio (Na) en todas las zonas de análisis del biosorbente saturado.

Figura 38

Espectro obtenido de la zona de análisis 3; área 1, 2 y 3



Nota; Espectros (EDS) donde (a) representa al área 1, (b) el área 2 y (c) al área 3 de la zona de análisis 3

De los espectros analizados del biosorbente saturado se puede observar la presencia de los elementos carbono y oxígeno en mayor proporción, los cuales son los elementos principales presentes en el *Pennisetum clandestinos* Hochst, además, se puede apreciar la presencia de los picos de cromo a las intensidades de energía aproximadas de 0.6; 5.53 y 6 keV, lo cual es un indicador de que el proceso de adsorción tomo lugar en la superficie del adsorbente, esto se corrobora en otros estudios; por ejemplo Basu et al. (2019) reportó la biosorción de cromo (III) en la superficie de la biomasa de *Cymbopogon flexuosus* inmovilizado en perlas de alginato.

Los resultados del análisis de laboratorio de la caracterización SEM/EDS, se muestran en el Anexo C.

4.3. Pruebas de adsorción

En la Tabla 13 se muestra los resultados promedio de la capacidad de adsorción (q) la cual se determinó con la ecuación (3.3) ecuación de determinación de la capacidad de adsorción, donde la concentración inicial fue de 50 ppm, en el Apéndice 1 se muestran los resultados de los 33 experimentos y los resultados del análisis de laboratorio de las pruebas de adsorción se muestran en el Anexo D.

Tabla 13

Resultados de la capacidad de adsorción

| N° | pH | Dosis (g/L) | Tamaño (µm) | Cf (mg/L) | q (mg/g) |
|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 5.15 | 0.75 | 150 | 28.3 ± 2.23 | 28.9 ± 3 |
| 2 | 5.5 | 0.5 | 212 | 29.7 ± 1.21 | 40.6 ± 2.4 |
| 3 | 4.8 | 0.5 | 212 | 31.9 ± 1.89 | 36.1 ± 3.8 |
| 4 | 5.5 | 1 | 106 | 24.8 ± 3.15 | 25.2 ± 3.2 |
| 5 | 4.8 | 1 | 106 | 26.0 ± 0.53 | 24.0 ± 0.5 |
| 6 | 4.8 | 1 | 212 | 28.7 ± 3.62 | 21.3 ± 3.6 |
| 7 | 5.5 | 1 | 212 | 26.5 ± 3.86 | 23.5 ± 3.9 |
| 8 | 4.8 | 0.5 | 106 | 29.8 ± 2.95 | 40.4 ± 5.9 |
| 9 | 5.15 | 0.75 | 150 | 29.4 ± 3.03 | 27.5 ± 4 |
| 10 | 5.5 | 0.5 | 106 | 26.1 ± 2.24 | 47.9 ± 4.5 |
| 11 | 5.15 | 0.75 | 150 | 30.7 ± 1.49 | 25.7 ± 2 |

Nota; Donde Cf es la concentración final de la solución; q es la capacidad de adsorción.

De la Tabla anterior se observa que la mínima capacidad de adsorción de Cr (III) fue en el experimento N° 6, con una capacidad de adsorción de 21.3 mg/g a menor pH (4.8) de la solución contaminada, mayor dosis (1 g/L) y mayor tamaño (212 µm) del biosorbente. Por otro lado, la mayor capacidad de adsorción fue en el experimento N° 10 con una capacidad

de adsorción de 47.9 mg/g, a un pH de 5.5, dosis del biosorbente de 0.5 g/L y tamaño de biosorbente de 106 μm . Por lo tanto, se obtuvo una capacidad de adsorción superior al reportado por Andrade (2017) quien logró una capacidad máxima de adsorción de Cr (III) de 14.89 mg/g utilizando como biomasa la Cascara de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Sin embargo, en el trabajo de investigación de Basu et al. (2019), alcanzó una mayor capacidad de adsorción de Cr (III) de 121.64 mg/g donde utilizaron como biomasa residual al *Cymbopogon flexuosus*.

Además, Diaz et al. (2013) estudiaron la biosorción de Cr (VI) utilizando como biosorbente al quitosano cuaternario reticulado y consiguió una capacidad de adsorción del ion Cr (VI) de 208.3 mg/g y Maldonado et al. (2012) quienes utilizaron la biomasa de kikuyo como biosorbente de Pb (II), determinaron una capacidad máxima de adsorción de 139.35 mg/g.

4.4. Análisis estadístico

4.4.1. Efectos estimados para la capacidad de adsorción

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente con el software Statgraphics 18-X64, del cual se analizaron los efectos de las variables, la superficie de respuesta y contorno, el análisis de varianza y el modelo matemático de predicción, con los datos de las 33 experimentaciones.

De acuerdo a los datos experimentales los efectos estimados para la capacidad de adsorción se representan en la Tabla 14.

Tabla 14*Efectos estimados*

| Efecto | Estimado | Int. Confianza | V.I.F. |
|-----------|----------|----------------|--------|
| promedio | 31.01 | +/- 1.42921 | |
| A: pH | 3.86 | +/- 3.3518 | 1 |
| B: Dosis | -17.74 | +/- 3.3518 | 1 |
| C: Tamaño | -3.99 | +/- 3.3518 | 1 |
| AB | -2.11 | +/- 3.3518 | 1 |
| AC | -0.49 | +/- 3.3518 | 1 |
| BC | 1.77 | +/- 3.3518 | 1 |

Nota: Donde, AB es la interacción pH – Dosis, AC es la interacción pH – Tamaño y BC es la interacción Dosis – Tamaño.

De la Tabla 14 se puede apreciar que el efecto del pH es positivo; por ejemplo, al aumentar el pH de 4.8 a 5.5 la capacidad de adsorción se incrementa en promedio en un 3.85 mg/g. Por otro lado, el efecto de la dosis del biosorbente es negativo, ya que al aumentar la dosis de 0.5 a 1 mg/L la capacidad de adsorción disminuye en promedio, en 17.74 mg/g. De igual manera el efecto del tamaño del biosorbente es negativo debido a que al incrementar el tamaño del biosorbente de 106 a 212 μm , la capacidad de adsorción disminuye en promedio 3.99 mg/g. Esto se refleja en los efectos principales para la capacidad de adsorción de la Figura 39.

La Tabla indica también los efectos de las interacciones de las variables, siendo negativas en el caso de la interacción pH- Dosis (AB) y pH – Tamaño de biosorbente (AC) y un efecto positivo en la interacción Dosis -Tamaño (BC), donde la capacidad de adsorción aumenta en promedio en 1.77 mg/g.

Figura 39

Efectos principales para la capacidad de adsorción (q)

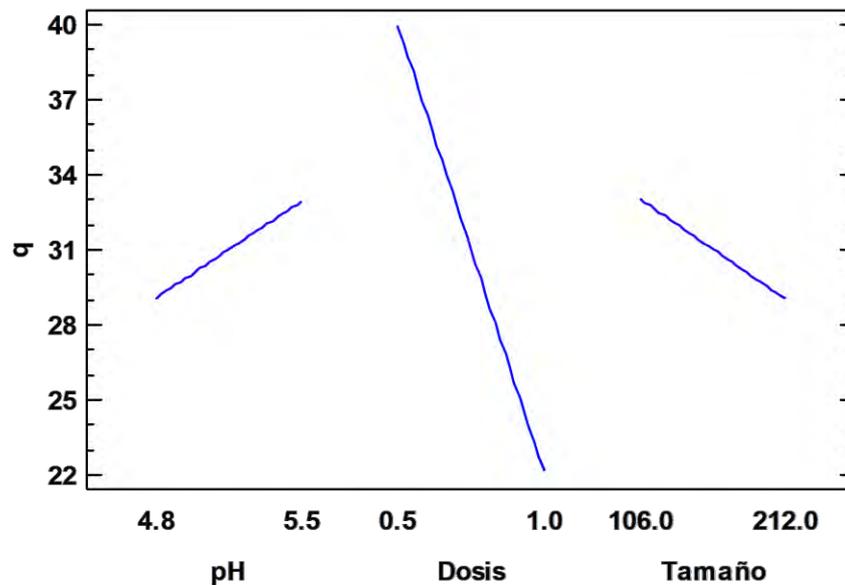


Diagrama de Pareto:

El diagrama de Pareto permite conocer el orden de importancia de las variables del estudio (pH, dosis del biosorbente y tamaño del biosorbente). La Figura 40 muestra el diagrama de Pareto.

Figura 40

Diagrama de Pareto estandarizado para q

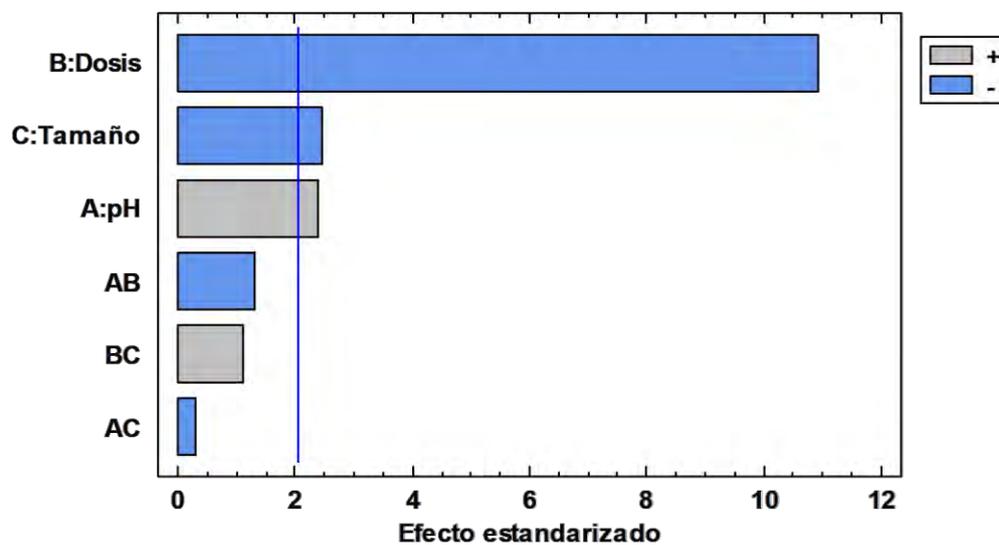


Gráfico de Pareto estandarizado muestra los efectos en orden decreciente de importancia, con una línea para determinar qué efectos son estadísticamente significativo, se puede apreciar los efectos entre las variables de estudio, con respecto a la capacidad de adsorción donde, la dosis del biosorbente, tamaño y pH sobrepasan el nivel de significancia significativas. Por otro lado, se puede apreciar que en las interacciones de las variables no son significativas, por no superar el nivel de significancia.

La longitud de cada barra es proporcional al valor del estadístico t calculado para el efecto correspondiente. Cualquiera barra fuera de la línea vertical es estadísticamente significativa al nivel de significación seleccionado, situado por defecto al 5%. Esto se corrobora con el análisis de varianza (sección 4.4.2.)

4.4.2. Análisis de varianza

Para determinar la significancia de las variables independientes se realiza el análisis de varianza (ANOVA), como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Análisis de varianza

| Fuente | Suma de cuadrados | GL | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| A: pH | 89.3204 | 1 | 89.3204 | 5.64 | 0.0258 |
| B: Dosis | 1888.6 | 1 | 1888.6 | 119.35 | 0 |
| C: Tamaño | 95.6004 | 1 | 95.6004 | 6.04 | 0.0216 |
| AB | 26.6704 | 1 | 26.6704 | 1.69 | 0.2065 |
| AC | 1.45042 | 1 | 1.45042 | 0.09 | 0.7647 |
| BC | 18.9038 | 1 | 18.9038 | 1.19 | 0.2853 |
| Bloques | 91.1297 | 2 | 45.5648 | 2.88 | 0.0757 |
| Error total | 379.787 | 24 | 15.8245 | | |
| Total (corr.) | 2591.46 | 32 | | | |

Nota; Donde, AB es la interacción pH – Dosis, AC es la interacción pH – Tamaño y BC es la interacción Dosis – Tamaño.

Del análisis de varianza se determinó que las variables significativas son pH, dosis del biosorbente y tamaño de biosorbente, debido al valor alto de Razón F y un Valor-P menor que 0.05, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 95 %.

4.4.3. Modelo matemático del proceso de adsorción:

El modelo matemático del proceso de adsorción de aguas contaminadas con Cr (III) utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo) se determinó en función de las variables de estudio, la Tabla 16 muestra los coeficientes de regresión para la capacidad de adsorción (q).

Tabla 16

Coefficiente de regresión para la capacidad de adsorción (q)

| Coeficiente | Estimado |
|-------------|------------|
| Constante | -14.1694 |
| A: pH | 16.6548 |
| B: Dosis | 15.9119 |
| C: Tamaño | -0.0196429 |
| AB | -12.0476 |
| AC | -0.0132525 |
| BC | 0.0669811 |

Nota; Donde, AB es la interacción pH – Dosis, AC es la interacción pH – Tamaño y BC es la interacción Dosis – Tamaño.

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos experimentales es el siguiente:

$$q = -14.1694 + 16.6548 \cdot \text{pH} + 15.9119 \cdot D - 0.0196429 \cdot T - 12.0476 \cdot \text{pH} \cdot D - 0.0132525 \cdot \text{pH} \cdot T + 0.0669811 \cdot D \cdot T$$

$$R^2 = 85.34 \%$$

Donde:

D: dosis del biosorbente (g/L)

T: tamaño del biosorbente (μm)

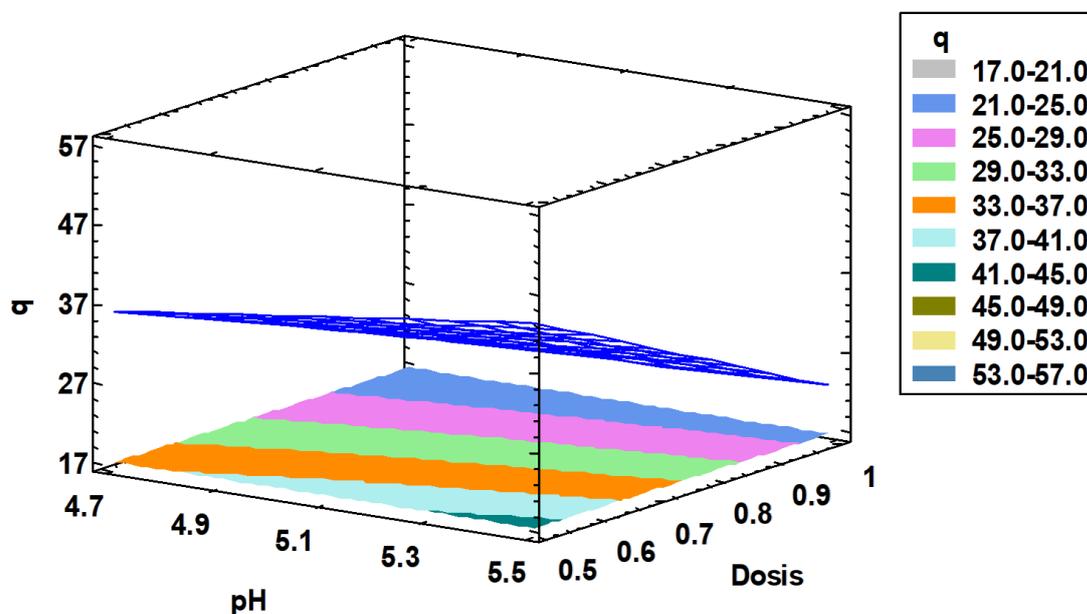
Las variables están especificadas en sus unidades originales.

Superficie de respuesta

La superficie de respuesta muestra la variación de la capacidad de adsorción en función de las variables estudiadas (pH, dosis y tamaño del biosorbente) como se muestra en la Figura 41

Figura 41

Superficie de respuesta estimada, tamaño = 159

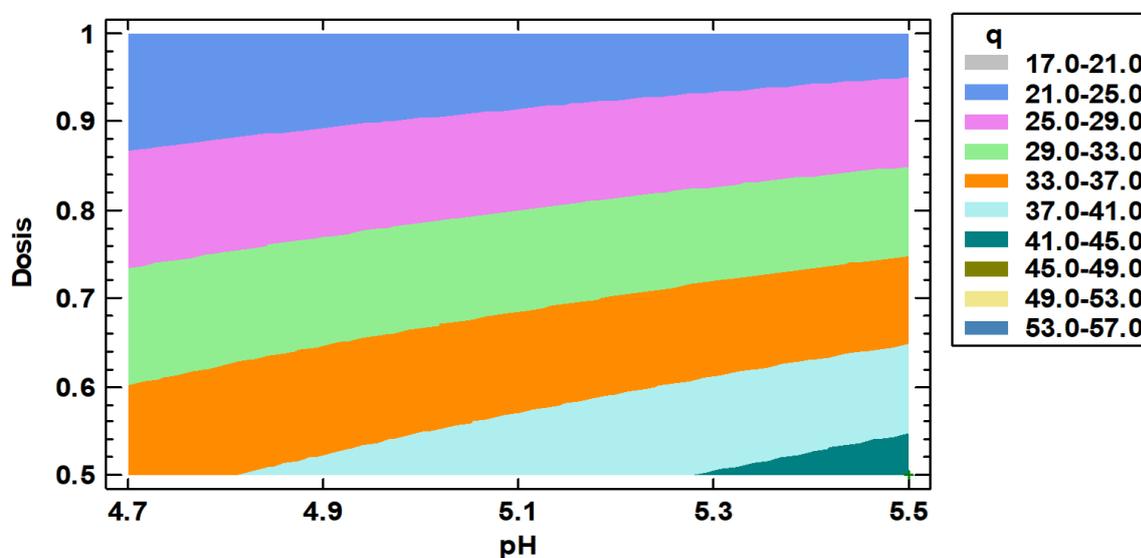


La Figura 41 representa la superficie de repuesta estimados para los puntos medios de la experimentación a un tamaño de adsorbente constante de 159 μm . Se puede concluir que se lograría una mayor capacidad de adsorción en la zona de color azul oscuro, de 53 a 57 mg/g, que no es visible a un pH de 5.5 y dosis de biosorbente menores a 0.5 g/L, pero se encuentra en la parte inferior derecha de la figura. Además, Se puede apreciar ligeramente en la zona de color amarillo una capacidad de adsorción de 49 a 53 mg/g y finalmente en la zona de color gris indica una capacidad de adsorción mínima de entre 17 a 21 mg/g.

En la Figura 42 se muestra los contornos de la superficie de respuesta estimada.

Figura 42

Contornos de la superficie de respuesta estimada, tamaño = 159



La figura nos muestra una paleta de colores que ayudan a la fácil interpretación de la capacidad de adsorción en función a las variables, la zona de color gris representa las capacidades de adsorción mínimas a dosis de biosorbente de 1 g/L y pH 4,8; por otro lado, la zona de color verde de la parte inferior derecha de la figura, indica una capacidad de adsorción de 45 a 49 mg/g valores similares a los datos experimentales, finalmente para obtener mayores capacidades de adsorción en el rango de 53 a 57mg/g, se recomendarían las

condiciones de operación de pH igual a 5.5, dosis menores a 0,5 g/L y tamaño de biosorbente de 159 μm .

El valor medio del tamaño del bioadsorbente teórico es de 159 μm , y dado que ese valor de malla no existe en el mercado, la malla más cercana es la de 150 μm .

4.5. Modelo cinético

Las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados del promedio de las experimentaciones se muestra en la Tabla 17 y la Figura 43. El cálculo de la capacidad de adsorción se realizó con la ecuación (3.3), teniendo en cuenta que la concentración inicial de la solución fue de 50 ppm. Los resultados de los análisis de laboratorio de la cinética se muestran en el Anexo E.

Tabla 17

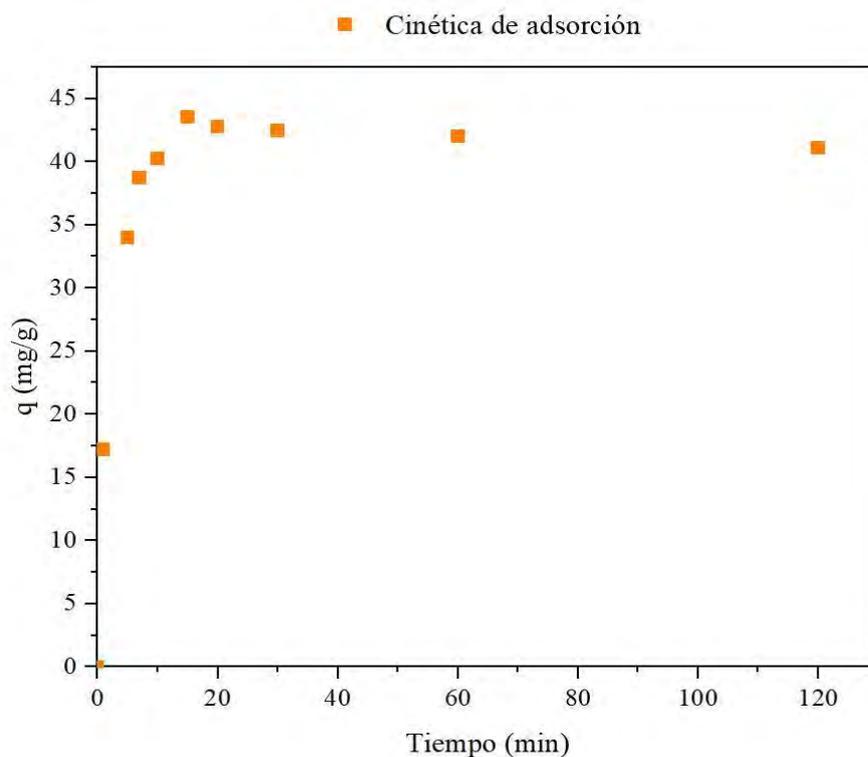
Resultados promedio de capacidad de adsorción en función del tiempo

| N° | t (min) | Cf (mg/L) | q (mg/g) |
|----|---------|-----------------|----------|
| 1 | 0 | 50.0 \pm 0.46 | 0 |
| 2 | 1 | 41.4 \pm 0.75 | 17.21 |
| 3 | 5 | 33.0 \pm 0.82 | 33.98 |
| 4 | 7 | 30.6 \pm 1.27 | 38.72 |
| 5 | 10 | 29.9 \pm 0.65 | 40.24 |
| 6 | 15 | 28.2 \pm 1.23 | 43.52 |
| 7 | 20 | 28.6 \pm 0.40 | 42.74 |
| 8 | 30 | 28.8 \pm 2.98 | 42.46 |
| 9 | 60 | 29.0 \pm 2.78 | 41.99 |
| 10 | 120 | 29.5 \pm 0.46 | 41.08 |

Donde: "Cf", es la concentración final de la solución, "t" es tiempo y "q", es capacidad de adsorción.

Figura 43

Cinética de adsorción de Cr (III) experimental



De la Tabla 17, se observa la cinética de adsorción, la cual fue evaluada en los tiempos 0, 1, 5, 7, 10, 15, 30, 60 y 120 min. Los resultados de la capacidad de adsorción en función al tiempo se representan en la Figura 43, donde se observa que la capacidad de adsorción es muy rápida en los primeros minutos, alcanzando una capacidad máxima de adsorción (43.52 mg/g) en el minuto 15. Luego se aprecia una ligera disminución en la capacidad de adsorción, alcanzando el equilibrio al minuto 30 (42.46 mg/g) donde disminuye, el valor no cambia significativamente en función del tiempo después del minuto 30. Basu et al (2019) estudiaron la cinética de adsorción de Cr (III) y determinaron que el tiempo de equilibrio fue alcanzado en el minuto 25. Por otro lado, Maldonado et al. (2012) determinaron la cinética de adsorción de Pb (II) utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst y reportaron que el proceso de adsorción se realizó en dos etapas, una rápida, de 0 a 15 minutos y una lenta, de 30 a 120 min. En función a los datos reportados por otras

investigaciones y al estudio realizado, se corrobora que el biosorbente preparado a partir de *Pennisetum clandestinum* Hochst, alcanza un tiempo de equilibrio de adsorción de metales a 30 min aproximadamente.

Los modelos estudiados de la cinética para analizar la velocidad de adsorción de Cr (III) fueron:

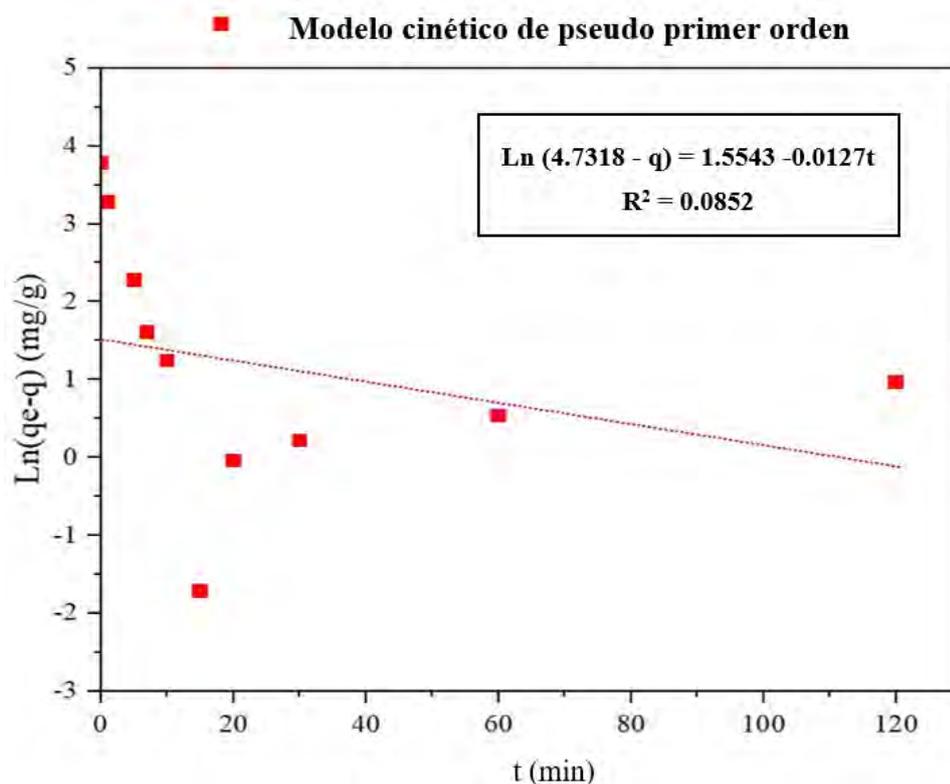
- Modelo de pseudo primer orden
- Modelo de pseudo segundo orden
- Modelo de Elovich

4.5.1. Modelo de pseudo primer orden

Los resultados del ajuste de los datos experimentales al modelo de Pseudo primer orden se representa en la Figura 44, para las condiciones experimentales de pH 5.5, dosis del biosorbente de 0.5 g/L y tamaño de biosorbente de 106 μm .

Figura 44

Modelo cinético de pseudo primer orden



Se puede observar de la ecuación linealizada de pseudo primer orden, que la pendiente brinda información de la constante de velocidad K_1 siendo -0.0127 y reemplazando el intercepto en la ecuación (2.1.1) se tiene el valor de q_e 4.7318 mg/g, un valor muy por debajo del valor obtenido experimentalmente que fue una capacidad de adsorción de equilibrio de 42.74 mg/g, la Tabla 18 refleja los parámetros de ajuste.

Tabla 18

Parámetros de ajuste para el modelamiento de pseudo primer orden

| Material adsorbente | K_1 (min^{-1}) | q_e (mg/g) | R^2 |
|---------------------------|-----------------------------|--------------|----------|
| Biosorbente Activado (BA) | -0.0127 | 4.7318 | 0.0852 |

De la tabla el valor del coeficiente de determinación R^2 es de $0,0852$.

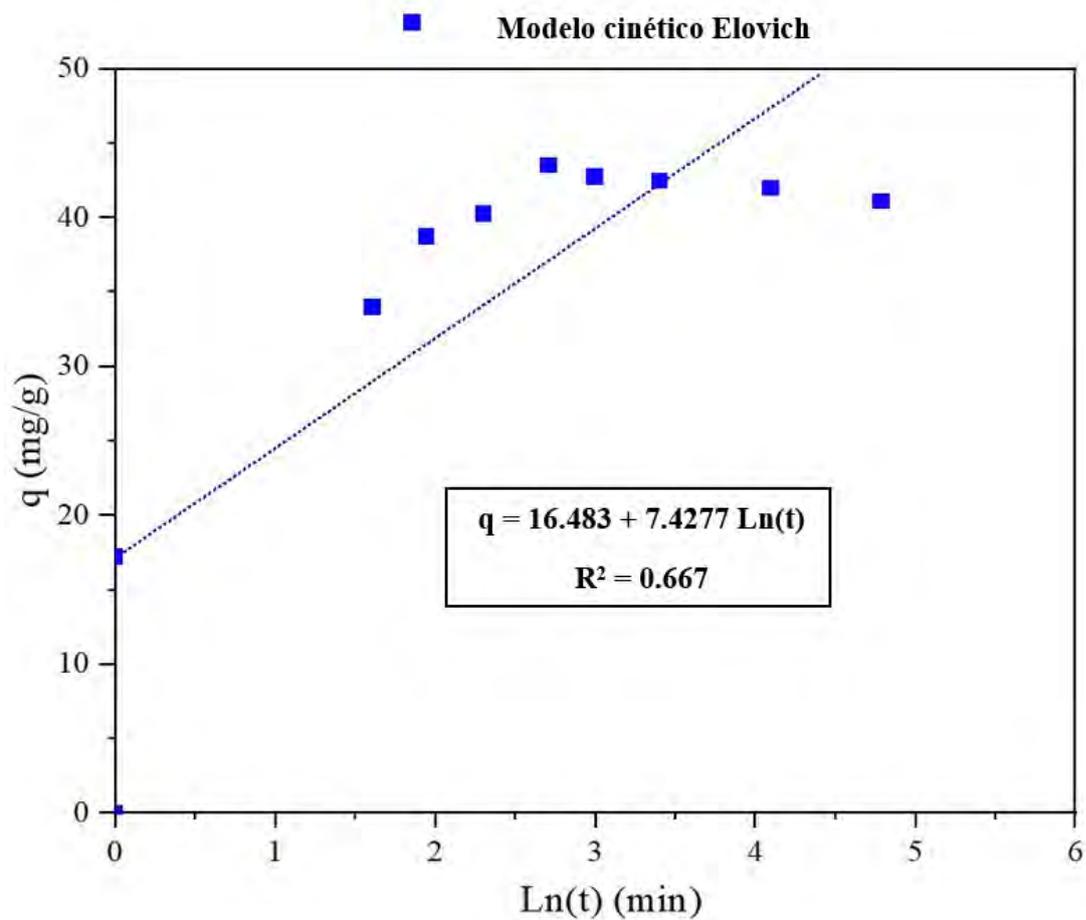
La cinética de adsorción no puede ser considerada de pseudo primer orden, puesto que, el valor de la capacidad de adsorción en equilibrio está muy distante a la capacidad de adsorción de equilibrio experimental; por lo tanto, el presente modelo cinético no se ajusta al proceso de adsorción de cromo (III); además, el valor de determinación R^2 está muy distante de la unidad.

4.5.2. Modelo de Elovich

Para el ajuste de los datos experimentales al modelo de Elovich se utilizó la ecuación (2.3.1), como se puede apreciar en la Figura 45. Se determinó las constantes cinéticas a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

Figura 45

Modelo cinético Elovich



La Figura muestra el ajuste de los datos experimentales del modelo Elovich, la ecuación de la gráfica nos proporciona información para poder determinar los valores de la velocidad de adsorción y la constante β , reemplazando el intercepto y la pendiente en la ecuación (2.3.1), el valor de la velocidad de adsorción para el modelo Elovich es de 68.33 mg/g min y el valor β que está relacionada con la superficie cubierta y la energía de activación por quimisorción es de 0.1346 g/mg. La Tabla 19 muestra los parámetros de ajuste del modelo Elovich.

Tabla 19

Parámetros de ajuste para el modelamiento de Elovich

| Material adsorbente | α (mg/g min) | β (g/mg) | R^2 |
|---------------------|---------------------|----------------|-------|
| Biosorbente | 68.33 | 0.1346 | 0.667 |
| Activado (BA) | | | |

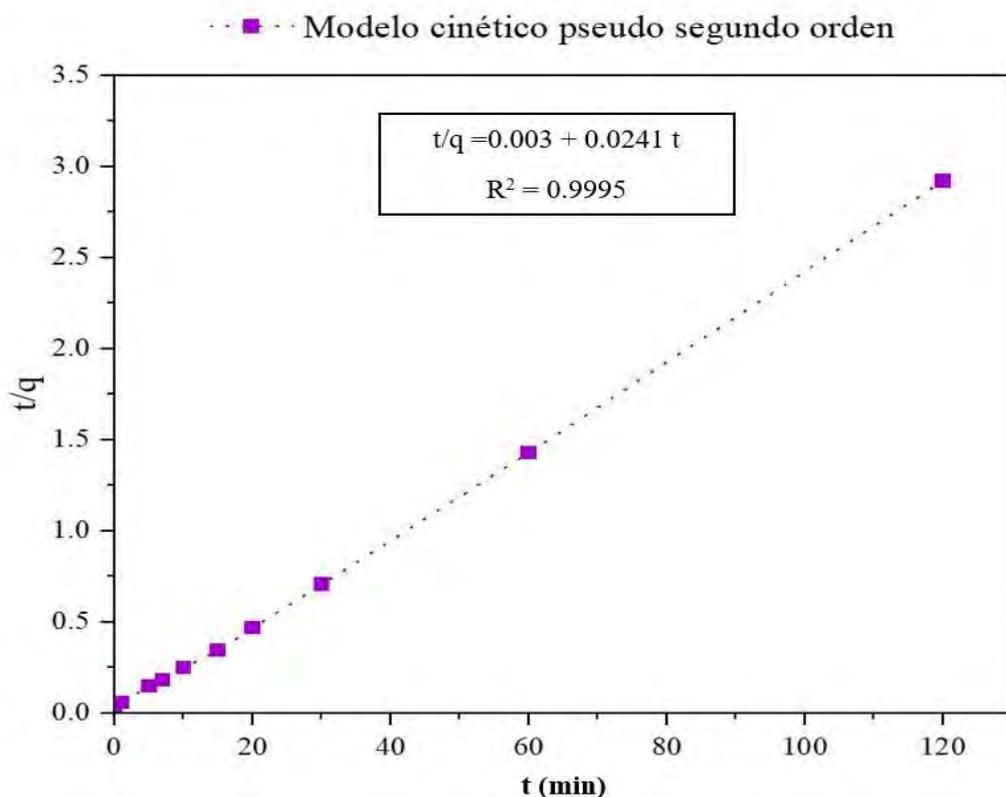
De la Tabla anterior, se puede apreciar que el coeficiente de determinación obtenido en el modelo Elovich es de 0.667.

4.5.3. Modelo de pseudo segundo orden

Se utilizó la ecuación (2.2.2) para el ajuste de los datos experimentales al modelo de Pseudo segundo orden, como se puede ver en la Figura 46. Se determinó las constantes cinéticas a partir de la pendiente y el intercepto de la ecuación de la recta.

Figura 46

Modelo cinético de pseudo segundo orden



De la gráfica se puede apreciar que los datos de ajustan mejor a este modelo; además, la ecuación presenta un coeficiente de determinación R^2 de 0.9995, la Tabla 19 muestra el ajuste de los parámetros del modelo cinético de pseudo segundo orden.

Tabla 20

Parámetros de ajuste para el modelamiento de pseudo segundo orden

| Material adsorbente | K_2 g mg ⁻¹ min ⁻¹ | q_e (mg/g) | V_0 (mg g ⁻¹ min ⁻¹) | R^2 |
|------------------------------|---|--------------|---|--------|
| Biosorbente Activado (BA) | 0.194 | 41.49 | 333.33 | 0.9995 |

De la tabla anterior, se puede apreciar que el valor de la velocidad de adsorción es igual a 333.33 mg/g min. En cuanto a la obtención de la capacidad de adsorción en equilibrio se reemplazó los valores de la pendiente y del intercepto y el valor modelado fue de 41.49 mg/g, valor muy cercano a la capacidad de adsorción de equilibrio experimental que resulto de 42.74 mg/g. Demostrando que este modelo presenta un gran ajuste de la cinética de adsorción de Cr (III) utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst.

Se hará una comparación de los resultados obtenidos con cada modelo cinético. En la Tabla 21 se muestran los parámetros de ajuste de los tres modelos analizados.

Tabla 21

Parámetros de ajuste cinético de los 3 modelos estudiados

| Pseudo primer orden | | Pseudo segundo orden | | | Elovich | | |
|---------------------|--------|----------------------|--------|-------|---------|-------|---------|
| R^2 | k_1 | R^2 | V^o | K_2 | R^2 | A | β |
| 0.0852 | 0.0127 | 0.99 | 333.33 | 0.194 | 0.667 | 68.33 | 0.1346 |

Al comparar los resultados de los parámetros de ajuste de los tres modelos analizados para el proceso de adsorción de cromo (III) de aguas contaminadas utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo), se puede concluir que el modelo cinético de pseudo segundo orden presenta un mejor ajuste a los datos experimentales con un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.99 y una velocidad de adsorción igual a 333.33 mg/g min. En comparación con Basu et al. (2019), donde la cinética de adsorción presento mejor ajuste con el modelo de pseudo primer orden, con una velocidad de adsorción igual a $2.5 \cdot 10^{-1} \text{ min}^{-1}$, utilizando como biosorbente al *Cymbopogon flexuosus* inmovilizada en perlas de alginato de sodio. Cárdenas Javier y Ulloa Alfaro (2013) determinaron que el proceso de adsorción de Pb (II) utilizando biomasa de kikuyo se ajustó mejor al modelo Elovich donde indica que el R^2 es igual a 0.9934 y el valor de la velocidad de adsorción inicial fue de $1.29129 \cdot 10^{11} \text{ mg/g min}$.

Se compararon las capacidades de adsorción de cromo (III), experimental y modelada, con la ecuación de pseudo segundo orden, como se muestra en la Tabla 22:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Teniendo los parámetros de ajuste del modelo cinético de pseudo segundo orden se reemplazan en la ecuación del q modelado:

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$$

Donde:

q_t : capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g)

t: tiempo de contacto (min)

q_e : capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g)

k_2 : constante de velocidad de pseudo segundo orden ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)

Tabla 22

Capacidades de adsorción experimentales y modeladas con la ecuación de pseudo segundo orden.

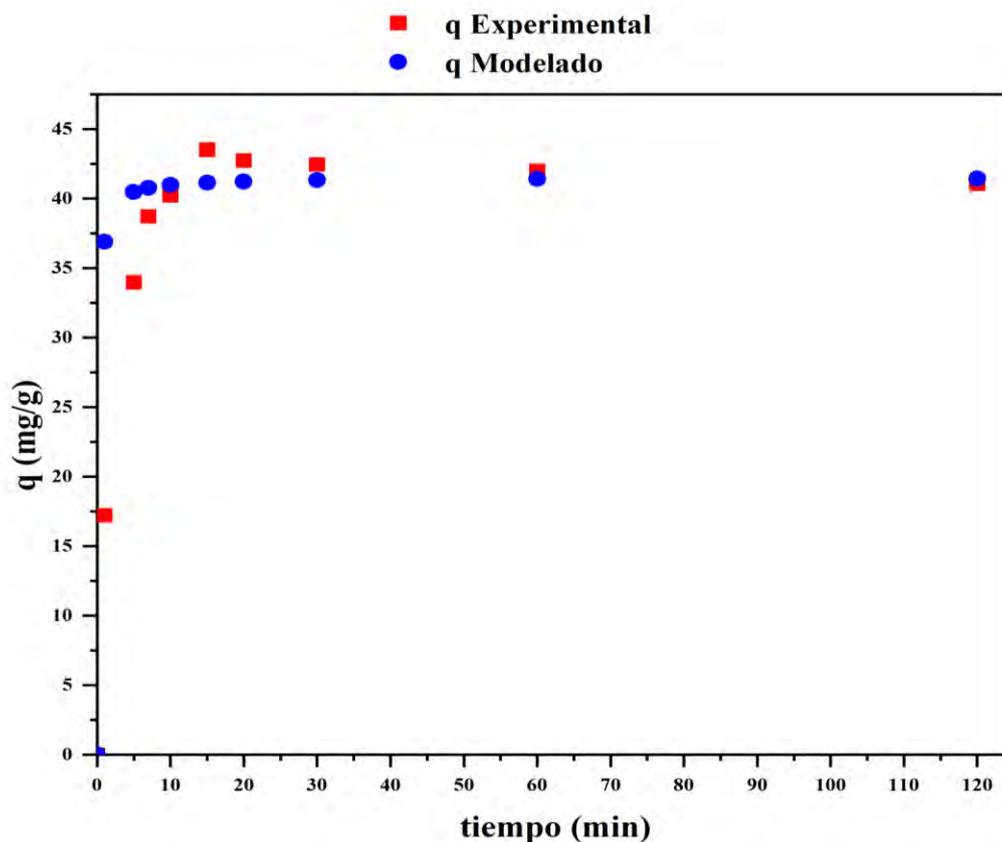
| t (min) | q Experimental (mg/g) | q Modelado (mg/g) | % Error |
|----------------|----------------------------------|------------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 17.21 | 36.90 | 114.41 |
| 5 | 33.98 | 40.49 | 19.15 |
| 7 | 38.72 | 40.77 | 5.29 |
| 10 | 40.24 | 40.98 | 1.85 |
| 15 | 43.52 | 41.15 | 5.44 |
| 20 | 42.74 | 41.24 | 3.52 |
| 30 | 42.46 | 41.32 | 2.68 |
| 60 | 41.99 | 41.41 | 1.39 |
| 120 | 41.08 | 41.45 | 0.90 |

De la tabla anterior, se puede observar que el margen de error del modelo es alto en los minutos 1, 5 y 7 (114.41, 19.15 y 5.29 % respectivamente), después el modelo tiende a tener una gran aproximación a los valores experimentales. Sin embargo, en el minuto 15 se observa que el q experimental esta por encima del q modelado teniendo un porcentaje de error de 5.44 %.

En la Figura 47 se puede apreciar las capacidades de adsorción obtenidas experimentalmente y las capacidades de adsorción obtenidas con la ecuación del modelo de pseudo segundo orden.

Figura 47

Capacidades de adsorción experimentales y modeladas



De la Figura 47, se puede observar como los valores experimentales distan de los modelados en los primeros 3 min, luego tiende a ajustarse, pero a los 15 min vuelven a distanciarse ligeramente, hasta estabilizarse en el equilibrio.

La diferencia entre los valores experimentales y modelados en los primeros minutos del proceso, es debido a la alta velocidad de adsorción que presentan los iones de cromo (III) en la superficie del adsorbente en los primeros segundos de contacto en la solución, generalmente los modelos cinéticos no consideran la alta velocidad de adsorción al inicio del proceso y por ende la discrepancia es notoria en los primeros minutos. Probablemente se esté suscitando una interacción rápida entre los grupos funcionales del adsorbente y el ión metálico cromo (III).

4.6. Pruebas de adsorción con el agua real

4.6.1. Caracterización del agua real

Los resultados de la caracterización físico química de la muestra recolectada (Industria Peletera ASAPES) se muestran en la Tabla 23, los resultados del análisis de laboratorio del agua real se muestran en el Anexo F

Tabla 23

Resultados de caracterización de la muestra de agua real

| Ensayos | Unidades | Resultados | D.S. N ° 010-2019- VIVIENDA VMA |
|--|-------------------|------------|------------------------------------|
| DBO ₅ | mg/L | 248.33 | 500 |
| DQO | mg /L | 374.4 | 1000 |
| Sólidos Totales en suspensión (SST) | mg/L | 494 | 500 |
| Aceites y grasas | mg/L | 49.39 | 100 |
| pH | Unidades de pH | 4.79 | 06 – 09 |
| Temperatura | °C | 16.8 | < 35 |
| Cromo | mg/L | 93.02 | 10 |

Comparando los resultados de la Tabla 23 de la caracterización de la muestra con el Decreto Supremo N ° 010-2019- VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario se puede apreciar que los valores del DBO₅ del agua real es de 248.33 mg/L y se encuentra por debajo de los VMA, el parámetro DQO también se encuentra por debajo de 1000 mg/L que indica la Ley, los sólidos totales en suspensión se

aprecian muy cerca de los VMA con un valor de 495 mg/L en el agua real, los aceites y grasas del agua real presentan un valor de 49.39 mg/L por debajo del VMA que es de 100 mg/L. En cuanto al valor del pH del agua real esta presenta un agua acida con un valor de 4.79 no cumpliendo con los VMA. Finalmente, el parámetro temperatura cumple con los VMA ya que el agua real se encuentra por debajo de 35° C.

Para el caso del cromo, este valor en la muestra real supera la normativa, lo que amerita su tratamiento.

4.6.2. Proceso de biosorción de muestra real

El proceso de biosorción se realizó con el efluente del agua real filtrado en el equipo de prueba de jarras. Se utilizó los efluentes de la Industria Peletera ASAPES - Sicuani – Cusco, las condiciones del proceso de adsorción fueron, dosis de biosorbente de 0.5 mg/L, pH de 5.5 y un tamaño de biosorbente de 106 μm , a una velocidad de agitación de 150 rpm y un tiempo de adsorción de 2 horas.

Se determino la capacidad de adsorción con la ecuación (3.3) y los resultados se reflejan en la Tabla 24, los resultados de los análisis de adsorción se muestran en el Anexo G.

Tabla 24

Resultado de la capacidad de adsorción utilizando el biosorbente de kikuyo en muestra de agua real

| V (L) | m (g) | Ci (mg/L) | Cf (mg/L) | q (mg/g) |
|-------|-------|-----------|-----------|----------|
| 0.3 | 0.15 | 30.02 | 11.2 | 37.6 |

Nota; m (g) es la masa del biosorbente, V (L) volumen de la solución, Ci es la concentración inicial de la solución, Cf es la concentración final de la solución y q (mg/g) es la capacidad de adsorción.

La capacidad de adsorción al emplear el biosorbente en muestras de agua real fue de 37.6 mg/g, un valor inferior en comparación con la capacidad de adsorción del biosorbente

con aguas sintéticas (47.9 mg/g), debido a las posibles interferencias que causan los SST, turbiedad, sales, grasas y otros compuestos propios de la Industria Peletera.

4.7. Estudio de regeneración del biosorbente saturado

Las pruebas de regeneración se realizaron por triplicado y los resultados del promedio se muestran en la Tabla 25 y se representan en la Figura 48. El % de desorción se calculó con la ecuación (3.4) y los resultados del análisis de laboratorio se muestran en el Anexo H.

Tabla 25

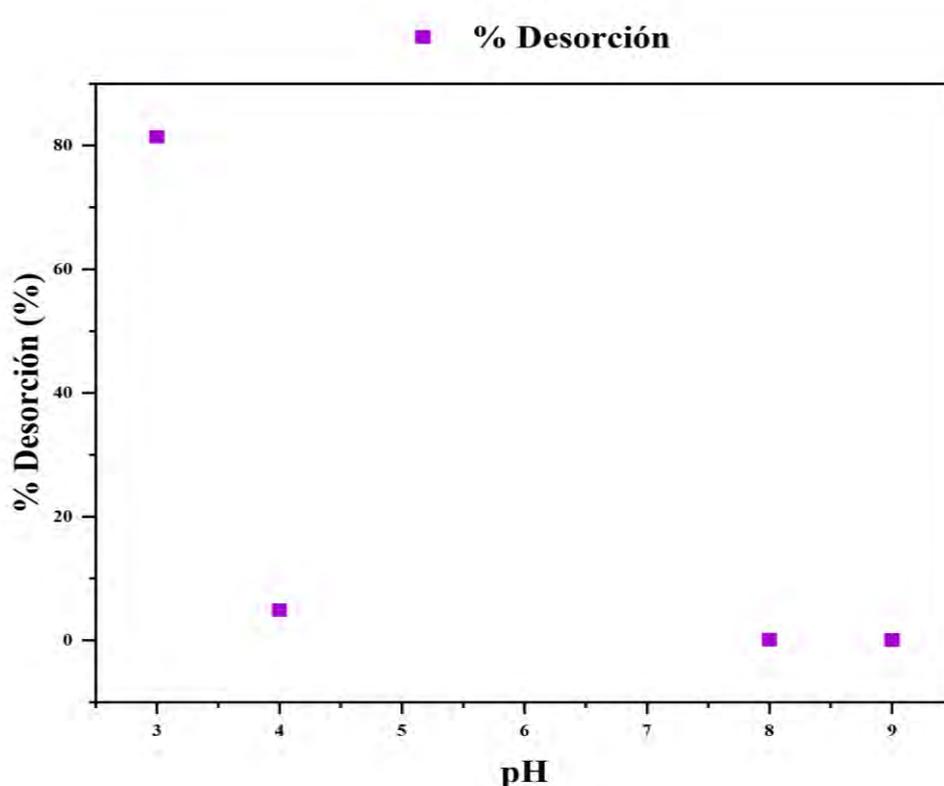
Resultados promedio del estudio de regeneración

| N° | pH | Ci | Cf | % Desorción |
|----|----|-------|-------------|-------------|
| 1 | 3 | 18.79 | 15.3 ± 2.11 | 81.41 |
| 2 | 4 | 18.79 | 0.92 ± 0.58 | 4.88 |
| 3 | 8 | 18.79 | 0.02 ± 0.02 | 0.1 |
| 4 | 9 | 18.79 | 0.01 ± 0 | 0.05 |

Nota; Donde Ci es la concentración inicial de la solución y Cf es la concentración final de la solución.

Figura 48

Resultados de la desorción del BS



De la tabla y la Figura anterior, se puede identificar que el mayor % de desorción fue a un pH ácido de 3, con un porcentaje de desorción de 81.41 %, ese valor representa el porcentaje de Cr (III) que se liberó del biosorbente saturado en medio ácido, quedando 18.59 % retenido en el biosorbente este resultado concuerda con Días et al., (2020) quienes lograron mejores resultados de desorción a pH 4, lo que corrobora que la desorción de cromo es más eficiente a pH ácidos. En contraste, el resultado obtenido por Rearte et al. (2013a) quienes determinaron un 10% de desorción para el cromo (III) utilizando NaOH 0.1 M, fue menor, sustentando que dicho valor puede deberse a las mayores fuerzas de retención entre el adsorbente y el metal; este hecho coincide con los resultados de la presente investigación donde se logró solo 0.10% con este mismo tratamiento. Por tanto, se aprecia resultados no muy favorables a pH básicos y favorables a pH ácidos.

Cabe mencionar que la posibilidad de regeneración del biosorbente es muy importante para mantener bajos los costos de procesamiento de biosorción de Cr (III) de aguas contaminadas

utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst dando como resultado una propuesta de economía circular favorable.

4.7.1. Proceso de adsorción con el biosorbente regenerado

Los resultados de la prueba de adsorción con el biosorbente regenerado a pH 3 se visualizan en la Tabla 26.

Tabla 26

Resultados prueba de adsorción con biosorbente regenerado

| V (L) | m (g) | Ci (g/L) | Cf (g/L) | q (mg/g) |
|-------|-------|----------|----------|----------|
| 0.3 | 0.15 | 47.25 | 32.9 | 28.7 |

El biosorbente regenerado (BR) logró una capacidad de adsorción de 28.7 mg/g, lo que constituye el 59,92 % de la capacidad de adsorción del biosorbente sin regenerar, en la literatura se encontró que los biosorbentes pueden ser regenerados y reutilizados, tal y como lo menciona Vakili et al., (2019) en su investigación, quien reporto la regeneración del Quitosano saturado con Cr (VI) utilizando ácido sulfúrico a una concentración de 0.1 M logrando 2 ciclos de regeneración con un porcentaje de desorción de 88%. Se recomienda evaluar más ciclos de regeneración del biosorbente obtenido de *Pennisetum clandestinum* Hochst.

5. Conclusiones

1. Se demostró que la biomasa residual de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo) activada tiene la capacidad de adsorber Cr (III) en aguas contaminadas sintéticas ($q=47.9$ mg/g).
2. De la caracterización de la biomasa residual de kikuyo, biosorbente activado y saturado se identificaron los grupos funcionales (-OH, C-H, -C=C, -C=O y -C-O-) mediante FTIR, a través del análisis SEM/EDS se identificó la morfología y la presencia de Cr (III) en el biosorbente saturado. Los resultados del análisis BET de la biomasa de kikuyo y del Biosorbente activado, demostraron que la activación química mejora las propiedades adsorbentes del kikuyo al obtener un incremento en el área superficial de 1308.58 %, con mejoras significativas en sus propiedades texturales, superficies específicas y porosidad.
3. Las tres variables de estudio (pH, D y T) resultaron significativas, siendo la mayor significancia y de mayor efecto la dosis del biosorbente.
4. Se logró una capacidad de adsorción de 47.9 mg/g en aguas simuladas utilizando biosorbente activado a partir de *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo) a pH 5.5, dosis de biosorbente de 0.5 g/L y tamaño de partícula del biosorbente de 106 μm .
5. El modelo matemático que representa el proceso de biosorción es:

$$q = -14.1694 + 16.6548 * \text{pH} + 15.9119 * D - 0.0196429 * T - 12.0476 * \text{pH} * D - 0.0132525 * \text{pH} * T + 0.0669811 * D * T$$

$$R^2 = 85.34 \%$$
6. De los estudios realizado de la cinética de adsorción de Cr (III) utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst (Kikuyo), se concluye que el modelo que representa el proceso fue el de pseudo segundo orden ($R^2 = 0.995$ y $V_0 = 333.33$ mg/g min).

7. Utilizando el biosorbente de *Pennisetum clandestinum* Hochst en el proceso de adsorción de Cr (III) de los efluentes de la Industria Peletera ASAPES se obtuvo $q = 37.6 \text{ mg/g}$.
8. Se logró regenerar el biosorbente saturado con Cr (III) obteniendo un porcentaje de desorción de 81.41 %. La capacidad de adsorción con el biosorbente regenerado fue de 28.7 mg/g siendo un 59.9% en comparación con el biosorbente sin regenerar.

6. Recomendaciones

1. Realizar pruebas de adsorción con la biomasa residual de kikuyo sin activar y comparar las capacidades de adsorción con el biosorbente activado.
2. Se recomienda realizar estudios utilizando otros medios activantes en la biomasa residual de kikuyo.
3. Optimizar el proceso de adsorción de Cr (III) disminuyendo la dosis, el tamaño del biosorbente y aumentando el pH.
4. Acondicionar el biosorbente en una columna de adsorción para pruebas de flujo continuo.
5. Se recomienda realizar más estudios de ciclos de regeneración con el biosorbente activado de *Pennisetum clandestinum* hochst a pH ácidos y utilizando distintos ácidos.

7. Referencias

- Acosta Arguello, H. A., Barraza Yance, C. A., & Albis Arrieta, A. R. (2017). Adsorption of chromium (VI) using cassava peel (*Manihot esculenta*) as biosorbent: A kinetic study. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 58–76. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8943>
- Alyüz, B., & Veli, S. (2009). Estudios de cinética y equilibrio para la remoción de níquel y zinc de soluciones acuosas mediante resinas de intercambio iónico. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1–3), 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.006>
- Andrade Espinosa, G. (2007). *Activación y caracterización de materiales nanoestructurados (CNx y CST): remoción de cadmio*. [Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.]. <https://1library.co/document/ynev05py-activacion-caracterizacion-materiales-nanoestructurados-cn-x-cst-remocion-cadmio.html>
- Andrade, L. F. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14460/1/UPS-CT007124.pdf>
- Azabache Azpilcueta, B. (2003). *Contaminación por cromo y aluminio en los efluentes del proceso artesanal de curtiembre y peletería* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/7449>
- Basso, M. C., Cerrella, E. G., & Cukierman, A. L. (2002). Empleo de algas marinas para la biosorción de metales pesados de aguas contaminadas. *Asades*, 6, 69–74.
- Basu, A., Behera, S. S., Dash, S., Banerjee, S., Sarkar, S., Mohanty, C. K., Dhal, N. K., Parhi, P. K., & Tripathy, S. K. (2019). A study on removal of Cr (III) from aqueous solution using biomass of *Cymbopogon flexuosus* immobilized in sodium alginate beads and its use as hydrogenation catalyst. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 102, 118–132. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.05.012>

Bentor, Y. (2022, October 15). *Elementos químicos.com - Cromo (Cr)*.

<http://www.chemicalelements.com/elements/cr.html>

Bernabé, I. (2019). *Adsorción de metales estratégicos sobre materiales carbonosos*.

Universidad Complutense de Madrid.

Burciaga Montemayor, N. G., Claudio Rizo, J. A., Cano Salazar, L. F., Martínez Luévanos, A., & Vega Sánchez, P. (2020). Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *Revista Especializada En Ciencias Químico- Biológicas*, 23, 1–13.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211>

Cabrera, L. F. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (solanum betaceum)*.

Camacho, M. ximena. (2009). *Determinación de la cinética de hidrólisis ácida de material lignocelulósico proveniente de la tusa de palma africana*. Universidad de los Andes.

Campana, S. P., de Almeida, L. A., & Luiz, G. (2017). *Chitosan Based Materials and its Applications* (S. P. Campana-Filho, L. A. de Almeida Pinto, & G. Luiz Dotto, Eds.; Vol. 3). Bentham E BOOKS. <https://acortar.link/AXqm35>

Cárdenas Javier, M. A., & Ulloa Alfaro, M. P. (2013). *Determinación de capacidad de bioadsorción de plomo divalente empleando Pennisetum clandestinum Hochst (KIKUYO) como adsorbente a nivel laboratorio* [Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://acortar.link/h6X2IM>

Cárdenas, M. A., & Ulloa, M. P. (2013). *Determinación de capacidad de bioadsorción de plomo divalente empleando Pennisetum clandestinum Hochst (Kikuyo) como adsorbente a nivel laboratorio* [Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2187/Cardenas%20Javier%20-%20Ulloa%20Alfaro.pdf?sequence=1>

Castillo, F. (2005). *Biocología ambiental*. Tebar, S.L.

<https://acortar.link/NI9gBF>

Chacua Mojica, D., & Rodríguez Martínez, M. A. (2018). *Evaluación de los polifenoles extraídos a partir de residuos de coffea arabica, para la producción de un coagulante natural* [Fundación Universidad de América].

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6704/1/6131073-2018-1-IQ.pdf>

Cheng, K. K., Cai, B. Y., Zhang, J. A., Ling, H. Z., Zhou, Y. J., Ge, J. P., & Xu, J. M. (2008).

Sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysate for ethanol production by acid recovery process. *Biochemical Engineering Journal*, 38(1), 105–109.

<https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.07.012>

Chien, S., Clayton, W., & McClellan, G. (1980). Kinetics of Dissolution of Phosphate Rocks in Soils. *SOIL SCL.SOC. AM.*, 44, 260–264.

Colpas C., F., Tarón D, A., & González C, R. (2017). Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola *Saccharum officinarum*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 62–72. <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.72>

Crine, G., & Badot, M. (2010). *Sorption Processes and Pollution*. Presses universitaires de Franche. <https://acortar.link/Teu55m>

Curia, M. V. (2010). *Estudio Físicoquímico y Catalítico del Sistema Mn-O-V*. Universidad Nacional de la Plata.

Dhankhar, R., & Hooda, A. (2011). Fungal biosorption-an alternative to meet the challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions. In *Environmental Technology* (Vol. 32,

Issue 5, pp. 467–491). Taylor and Francis Ltd.

<https://doi.org/10.1080/09593330.2011.572922>

Dias, R. M., Silva, J. G., Cardoso, V. L., & de Resende, M. M. (2020). Eliminación y desorción de cromo en efluentes sintéticos mediante un cultivo mixto en un biorreactor con campo magnético. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *91*, 151–159.

<https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.01.026>

Díaz, C., Jacinto, C., Medina, R., Navarro, A., Cuizano, N., & Llanos, B. (2013). Estudio de la biosorción de cromo (VI) con quitosano cuaternario reticulado para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas. *Rev Soc Quím Perú*, *79*(4), 304–318.

Dimple, L. (2014). Adsorción de metales pesados: una revisión. *International Journal of Environmental Research and Development*, *4*(1), 41–48.

<http://www.ripublication.com/ijerd.htm>

Erazo B., I. (2018). *Determinación de la influencia del tamaño de partícula del residuo de café como biosorbente de metales pesados*. <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/4672>

Fernández Bernaola, U. R. (2015). *Adsorción de plomo de aguas contaminadas usando el cactus gigantón (Trichocereus cuzcoensis)*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Figueirôa, J. A., Menezes Novaes, G. U., de Souza Gomes, H., de Moraes Silva, V. L. M., de Moraes Lucena, D., Lima, L. M. R., de Souza, S. A., Viana, L. G. F. C., Rolim, L. A., da Silva Almeida, J. R. G., Oliveira, A. P. de, & Gomes, J. P. (2021). *Opuntia ficus-indica* is an excellent eco-friendly biosorbent for the removal of chromium in leather industry effluents. *Heliyon*, *7*(6). <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07292>

Fomina, M., & Gadd, G. M. (2014). Biosorption: Current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, *160*, 3–14.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>

- Franks, G., & Maegher, L. (2003). Los puntos isoelectrónicos de los cristales de zafiro y el polvo de alfa-alúmina. *Elsevier*, 99–110.
- Gadd, G. M., & White, C. (1992). Removal of Thorium from Simulated Acid Process Streams by Fungal Biomass: Potential for Thorium Desorption and Reuse of Biomass and Desorbent. *J. Chem. Tech. Biotechnol*, 55, 39–44.
- Galbe, M., & Zacchi, G. (2007). Pretreatment of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 108, 41–65. https://doi.org/10.1007/10_2007_070
- Garcés Giraldo, L. F., Mejía Franco, E. A., & Santamaría Arango, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigación*, 1(1), 83–92. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511013>
- García, C., Moreno, J. L., Hernandez, M. T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*.
- Giraldo Gutierrez, L., García Cuello, V., & Moreno Piraján, J. C. (2007). Caracterización superficial en fase gas y líquida de carbones activados. *Revista de Ingeniería*, 0(27), 7–16. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i27.275>
- Gómez Tovar, F. (2008). *Métodos secuenciales de pretratamiento químico y enzimático de residuos agrícolas para la producción de metano*.
- González, E., Tornero, M., Ángeles, Y., & Bonilla, N. (2009). Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Int. Contam. Ambient.*, 25(1), 15–22.
- Gunatilake S. K. (2015). Métodos de eliminación de metales pesados de Aguas residuales industriales. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, 1(1), 12–18. www.jmess.org

- Gutiérrez, O., González, J., Freire, M. S., Rodríguez, I. L., & Moreira, Á. R. (2014, January). *Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados*.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852014000100008
- Hernández, M. Á., Velasco, J. A., Rojas, F., Lara, V. H., Salgado, M. A., & Tamariz, V. (2003). Evaluación de mesoporos y caracterización de arcillas del estado de Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19(4), 183–190.
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/23591>
- Ho, Y., & McKay, G. (2000). The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water Research*, 34(3), 735–742. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00232-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00232-8)
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). The sorption of lead (II) ions on peat. *Water Research*, 33(2), 578–584. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00207-3)
- Horsfall, M. J., Abia, A., & Spiff, A. (2003). Remoción de iones Cu (II) y Zn (II) de aguas residuales por biomasa residual de yuca (*Manihot esculenta* Cranz). *Revista Africana de Biotecnología*, 2(10), 360–364. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Ipohorski, M., & Bozzano, P. B. (2013). Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Ciencia e Investigación*, 63(3), 1–11.
<http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCeI/tomo63-3/5-microscopia-electronica-de-barrido-en-la-caracterizacion-de-materiales-cei63-3-2013-5.pdf>
- Kumar, P. S., Ramalingam, S., Kirupha, S. D., Murugesan, A., Vidhyadevi, T., & Sivanesan, S. (2011). Adsorption behavior of nickel (II) onto cashew nut shell: Equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design. *Chemical Engineering Journal*, 167(1), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.010>

- Lavado Meza, C., Sun Kou, M. del R., & Recuay Arana, N. (2012). Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 78(1).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000100003
- López García, U. M. (2005). *Aplicación de la electrodiálisis a la eliminación de nitrato en agua*. <https://acortar.link/uHrVfY>
- López Gutiérrez, I. (2015). *Producción de hidrógeno a partir de hidrolizados de bagazo de Agave tequilana Weber var. azul: Efecto del procesamiento de la piña y de la sacarificación del bagazo*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Lucía Pinzón-Bedoya, M., María, A., & Tamayo, C. (2010). “Influencia del pH en la bioadsorción de Cr (III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo.” *Bistua*, 8(1), 21–30.
- Maldonado, A., Luque, C., & Urquiza, D. (2012). Biosorción de plomo de aguas contaminadas utilizando pennisetum clandestinum hochst (kikuyo). *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 52–57. <https://docplayer.es/37109696-Biosorcion-de-plomo-de-aguas-contaminadas-utilizando-pennisetum-clandestinum-hochst-kikuyo.html>
- Medina Roa, I. F. (2007). *tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis* [Universidad de los andes].
http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/12/TDE-2012-09-19T03:03:18Z-1654/Publico/medinaisrael.pdf
- Miranda Urrutia, J. C. (2018). *Estudio de adsorción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembres con la utilización de compost* [Universidad de las Américas].
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2786617>

- Montoya Molina, N. P., Aguilar Casas, P., & Cordovez Wandurraga, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología Para Las Salud Visual y Ocular*, 8(1), 77–88.
- Muñiz Rondan, J. A. (2016). *Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del cromo hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Hachipa*. Universidad César Vallejo.
- Murillo, C., Gómez, O., Ortiz, O., & Muñoz, S. (2015). Aplicación de modelos para la generación de la isoterma de adsorción de metano en una muestra de shale y su impacto en el cálculo de reservas. *El Reventón Energético*, 13(2), 131–140.
<https://doi.org/10.18273/revfue.v13n2-2015012>
- Peters, D. (2007). Materias Primas. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 105, 1–30. https://doi.org/10.1007/10_031
- Pinilla Arbeláez, D. E. (2014). *Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito (Bogotá)*. Universidad Santo Tomás.
- Pinzón, M., & Tamayo, M. (2008). “Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente.” *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 6, 1–23.
- Rajesh, Y., & Jeeru, L. R. (2022). Synthesis and Characterization of Low-Cost Wood based Biosorbent. *Materials Today: Proceedings*, 57, 34–37.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.01.251>
- Randtke, S. J. (1988). Organic Contaminant Removal by Coagulation and Related Process Combinations. *Journal - American Water Works Association*, 80(5), 40–56.
<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1988.tb03037.x>
- Rearte, T. A., Bozzano, P. B., Andrade, M. L., Fabrizio De Iorio, A., Hsieh, -T, Rodriguez, J. J., & Xu, C. (2013a). Biosorption of Cr (III) and Pb (II) by *Schoenoplectus californicus*

and Insights into the Binding Mechanism. *ISRN Chemical Engineering*, 2013, 13.

<https://doi.org/10.1155/2013/851602>

Rearte, T. A., Bozzano, P. B., Andrade, M. L., Fabrizio De Iorio, A., Hsieh, -T, Rodriguez, J. J., & Xu, C. (2013b). Biosorption of Cr (III) and Pb (II) by *Schoenoplectus californicus* and Insights into the Binding Mechanism. *ISRN Chemical Engineering*, 2013, 13.

<https://doi.org/10.1155/2013/851602>

Rey de Castro Rosas, A. C. (2013). *Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo* [Pontificia Universidad Católica del Perú].

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5123/REY_DE_CV_ASTRO_ANA_CROMO_EFLUENTES_CURTIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romero Rey, A. L. (2015). *Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas(kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región central del Perú*. Universidad Nacional del Centro del Perú escuela de posgrado.

Saha, R., Mukherjee, K., Saha, I., Ghosh, A., Ghosh, S. K., & Saha, B. (2013). Removal of hexavalent chromium from water by adsorption on mosambi (*Citrus limetta*) peel. *Research on Chemical Intermediates*, 39(5), 2245–2257.

<https://doi.org/10.1007/s11164-012-0754-z>

Salcedo Recalde, E. L. (2019). *Evaluación de concentración de plomo y cromo en poblaciones de *Typha latifolia* en la laguna de Yahuarcocha*.

Sánchez, L. (2018). *Aplicación de residuos vegetales en el tratamiento de aguas contaminadas por metales* [Universidad de Cádiz].

<https://rodin.uca.es/handle/10498/23560>

- Sánchez-Ponce, L. (2018). *Aplicación de residuos vegetales en el tratamiento de aguas contaminadas por metales* [UNIVERSIDAD DE CADÍZ].
<https://rodin.uca.es/handle/10498/23560>
- Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A. P., Kim, H. Y., & Joshi, M. K. (2021). Tendencias tecnológicas en la remoción de metales pesados de aguas residuales industriales: Una revisión. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 9, Issue 4, pp. 1–19). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105688>
- Sun, M., Obregón, D., Pinedo, Á., Paredes, L., & Aylas, J. (2014). Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 80(4), 225–236.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937640002>
- Sun, Y., Li, H., Li, G., Gao, B., Yue, Q., & Li, X. (2016). Characterization and ciprofloxacin adsorption properties of activated carbons prepared from biomass wastes by H₃PO₄ activation. *Bioresource Technology*, 217, 239–244.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.047>
- Tan, Y. H., Davis, J. A., Fujikawa, K., Ganesh, N. V., Demchenko, A. v., & Stine, K. J. (2012). Surface area and pore size characteristics of nanoporous gold subjected to thermal, mechanical, or surface modification studied using gas adsorption isotherms, cyclic voltammetry, thermogravimetric analysis, and scanning electron microscopy. *Journal of Materials Chemistry*, 22(14), 6733–6745.
<https://doi.org/10.1039/C2JM16633J>
- Tejada, C., Villabona, A., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109–123.

- Tenorio Rivas, G. (2006). *Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna*. Universidad de Granada.
- Torres Robles, R., Cano López, M. N., & Aburto Anell, J. (2018). Obtención de bioetanol a partir de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(3), 1–23. www.reibci.org
- Ugya, A. Y., Hua, X., & Ma, J. (2019). Biosorption of Cr³⁺ and Pb²⁺ from tannery wastewater using combined fruit waste. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 1773–1787. https://doi.org/10.15666/AEER/1702_17731787
- Vakili, M., Deng, S., Cagnetta, G., Wang, W., Meng, P., Liu, D., & Yu, G. (2019). Regeneration of chitosan-based adsorbents used in heavy metal adsorption: A review. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 224, pp. 373–387). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.040>
- Vásquez Ruiz, S. M. (2019). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Vicente-Martínez, Y., Caravaca, M., Soto-Meca, A., de Francisco-Ortiz, O., & Gimeno, F. (2020). Graphene oxide and graphene oxide functionalized with silver nanoparticles as adsorbents of phosphates in waters. A comparative study. *Science of The Total Environment*, 709. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.136111>
- Volesky, B., Sang Yun, Y., Park, D., & Park, J. M. (2001). Biosorción de cromo trivalente en la biomasa de algas pardas. *Environmental Science and Technology*, 35(21), 4353–4358. <https://doi.org/10.1021/es010866k>
- Wang, J., Gao, Z., Gao, Y., Hu, Y., & Sun, W. (2016). Flotation separation of scheelite from calcite using mixed cationic/anionic collectors. *Minerals Engineering*, 98, 261–263. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.006>

- Wang, L., Nam, K. S., & Kwon, S. C. (2007). Effect of plasma nitriding of electroplated chromium coatings on the corrosion protection C45 mild steel. *Surface and Coatings Technology*, 202(2), 203–207. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.05.027>
- Wen, C. (2015). *Surface Coating and Modification of Metallic Biomaterials* (C. Wen, Ed.). woodhead Publishing. <https://acortar.link/DIj2bq>
- Zhang, L., Zhao, B., Xu, G., & Guan, Y. (2018). Characterizing fluvial heavy metal pollutions under different rainfall conditions: Implication for aquatic environment protection. *Science of the Total Environment*, 635, 1495–1506. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.211>
- Zhao, X., Zhang, L., & Liu, D. (2008). Comparative study on chemical pretreatment methods for improving enzymatic digestibility of crofton weed stem. *Bioresource Technology*, 99(9), 3729–3736. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.016>

Apéndice

Apéndice 1

Tabla A- 1

Resultados de la capacidad de adsorción de los 33 experimentos

| Bloque | Nº | pH | Dosis g/L | Tamaño (µm) | q (mg/g) |
|----------|----|------|-----------|-------------|----------|
| 1 | 1 | 5.15 | 0.75 | 159 | 32.27 |
| | 2 | 5.5 | 0.5 | 212 | 40.2 |
| | 3 | 4.8 | 0.5 | 212 | 34.8 |
| | 4 | 5.5 | 1 | 106 | 25.2 |
| | 5 | 4.8 | 1 | 106 | 23.4 |
| | 6 | 4.8 | 1 | 212 | 24.4 |
| | 7 | 5.5 | 1 | 212 | 22.1 |
| | 8 | 4.8 | 0.5 | 106 | 35.6 |
| | 9 | 5.15 | 0.75 | 159 | 22.93 |
| | 10 | 5.5 | 0.5 | 106 | 43 |
| | 11 | 5.15 | 0.75 | 159 | 28 |
| 2 | 12 | 5.15 | 0.75 | 159 | 26.53 |
| | 13 | 5.5 | 0.5 | 212 | 43.2 |
| | 14 | 4.8 | 0.5 | 212 | 40.4 |
| | 15 | 5.5 | 1 | 106 | 28.4 |
| | 16 | 4.8 | 1 | 106 | 24.4 |
| | 17 | 4.8 | 1 | 212 | 22.1 |
| | 18 | 5.5 | 1 | 212 | 27.9 |
| | 19 | 4.8 | 0.5 | 106 | 47 |
| | 20 | 5.15 | 0.75 | 159 | 30.67 |
| | 21 | 5.5 | 0.5 | 106 | 51.8 |
| | 22 | 5.15 | 0.75 | 159 | 24.27 |
| 3 | 23 | 5.15 | 0.75 | 159 | 28 |
| | 24 | 5.5 | 0.5 | 212 | 38.4 |
| | 25 | 4.8 | 0.5 | 212 | 33.2 |
| | 26 | 5.5 | 1 | 106 | 22.1 |
| | 27 | 4.8 | 1 | 106 | 24.2 |
| | 28 | 4.8 | 1 | 212 | 17.3 |
| | 29 | 5.5 | 1 | 212 | 20.6 |
| | 30 | 4.8 | 0.5 | 106 | 38.6 |
| | 31 | 5.15 | 0.75 | 159 | 28.8 |
| | 32 | 5.5 | 0.5 | 106 | 48.8 |
| | 33 | 5.15 | 0.75 | 159 | 24.93 |

Anexos

Anexo A: Resultados de la caracterización FTIR

INFORME DE ENSAYO

IE-010622-04-01

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 1.2 RUC/DNI : 20172474501
 1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO COMEDOR)
 CUSCO - CUSCO - CUSCO

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 02 de junio del 2022
 2.2 Fin : 14 de junio del 2022
 2.3 Emisión de informe : 15 de junio del 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.0 °C
 3.2 Humedad Relativa : 54.4 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado / Método o Técnica utilizada : Caracterización de materiales por espectroscopia Infrarroja.

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

- 5.1 Código de Muestra : S-3997
 5.2 Tipo de Muestra : Muestra en polvo
 5.3 Descripción : FTIR 01 - Biomasa granular seca (a partir de kikuyo - pasto podado)
 5.4 Estado : Sólido
 5.5 Presentación : Pulverizado
 5.6 Muestreo : Muestreado por el Cliente

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERGARAY O'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA INFRAROJA

- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo - Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 3800 cm^{-1} a 400 cm^{-1}

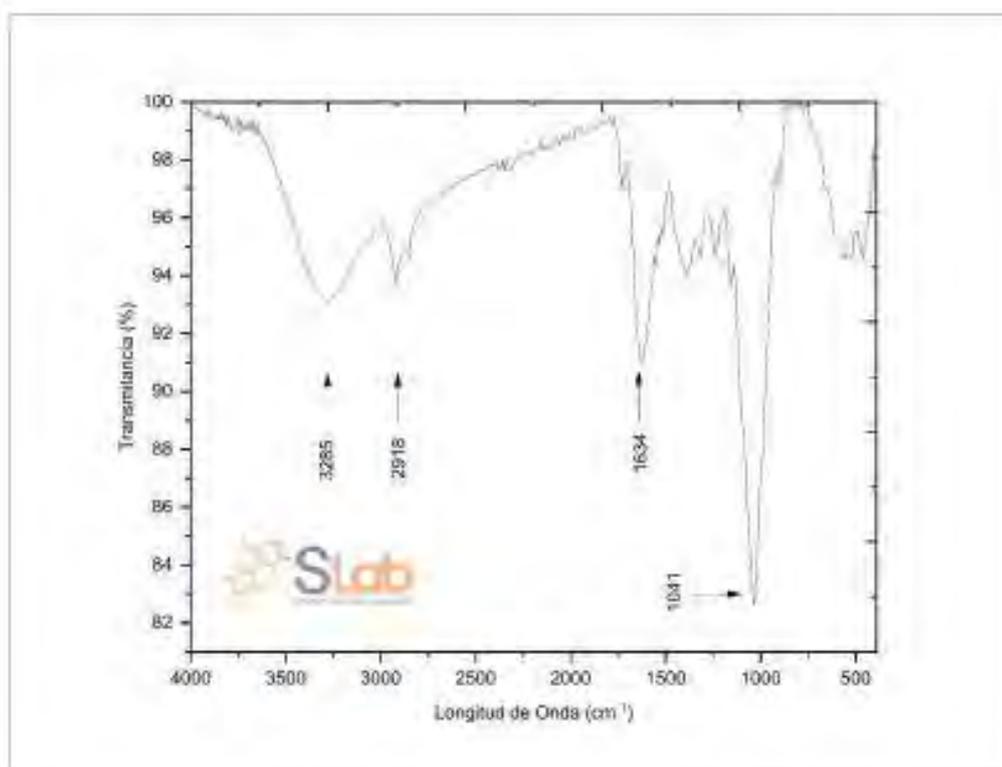


Figura N°1: Espectro Infrarrojo de la muestra S-3997

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

"FIN DEL DOCUMENTO"



Diego Romano Vergara
QUÍMICO
CCP. 1337



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

INFORME DE ENSAYO

IE-010622-04-02

1. DATOS DEL CLIENTE

- | | | |
|---------------|---|--|
| 1.1 Cliente | : | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO |
| 1.2 RUC/DNI | : | 20172474501 |
| 1.3 Dirección | : | AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DÍGA - ANTIGUO COMEDOR) CUSCO - CUSCO - CUSCO |

2. FECHAS

- | | | |
|------------------------|---|----------------------|
| 2.1 Inicio | : | 02 de junio del 2022 |
| 2.2 Fin | : | 14 de junio del 2022 |
| 2.3 Emisión de informe | : | 15 de junio del 2022 |

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- | | | |
|----------------------|---|---------|
| 3.1 Temperatura | : | 20.0 °C |
| 3.2 Humedad Relativa | : | 54.4 % |

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- | | | |
|--|---|--|
| 4.1 Ensayo solicitado / Método o Técnica utilizada | : | Caracterización de materiales por espectroscopia Infrarroja. |
|--|---|--|

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

- | | | |
|-----------------------|---|--|
| 5.1 Código de Muestra | : | S-3998 |
| 5.2 Tipo de Muestra | : | Muestra en polvo |
| 5.3 Descripción | : | FTIR 02 - Biomasa granular seca (Muestra FTIR 01 hidrolizada con H ₂ SO ₄ al 1.25 % y NaOH al 3.25 %). |
| 5.4 Estado | : | Sólido |
| 5.5 Presentación | : | Pulverizado |
| 5.6 Muestreo | : | Muestreado por el Cliente |

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERSARAY OYARBIDE
 QUÍMICO
 CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA INFRAROJA

- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo - Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380 cm^{-1} a 4000 cm^{-1}

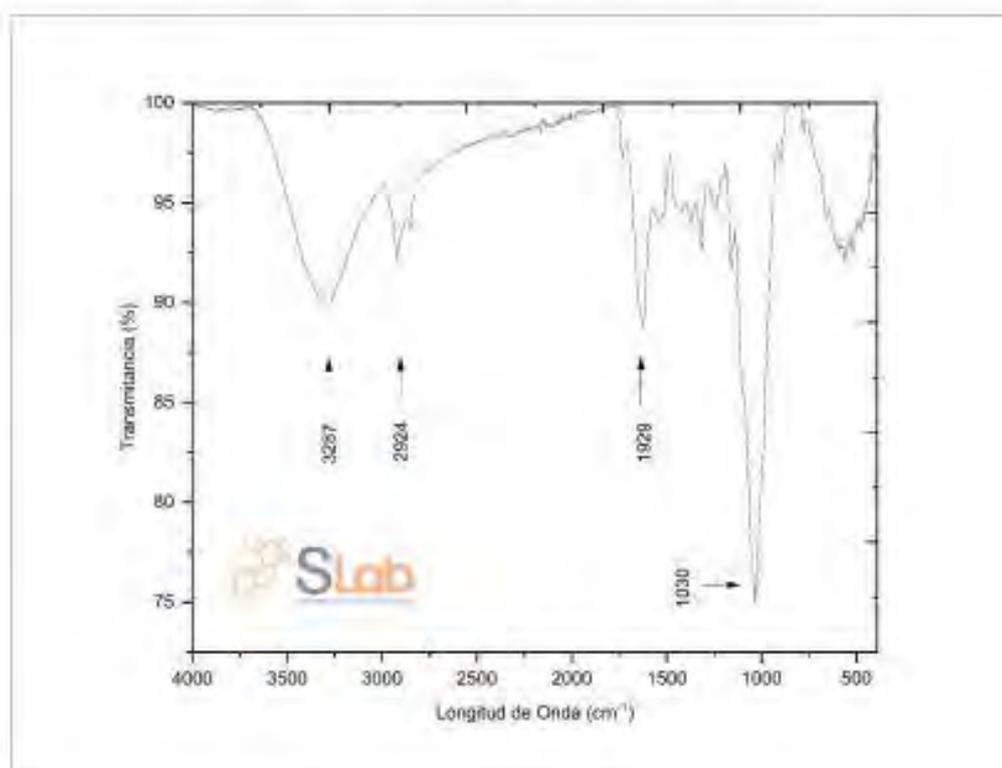


Figura N°1: Espectro Infrarrojo de la muestra S-3998

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

"FIN DEL DOCUMENTO"



DIEGO ROMÁN VERGARÁ D'138160
 QUÍMICO
 CQP. 1337



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

INFORME DE ENSAYO IE-010622-04-03

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 1.2 RUC/DNI : 20172474501
 1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO COMEDOR)
 CUSCO - CUSCO - CUSCO

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 02 de junio del 2022
 2.2 Fin : 14 de junio del 2022
 2.3 Emisión de informe : 15 de junio del 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.0 °C
 3.2 Humedad Relativa : 54.4 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado / Método o Técnica utilizada : Caracterización de materiales por espectroscopia Infrarroja.

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

- 5.1 Código de Muestra : S-3999
 5.2 Tipo de Muestra : Muestra en polvo
 5.3 Descripción : FTIR 03 - Biomasa granular seca (Muestra FTIR 02) contactada con cromo (III).
 5.4 Estado : Sólido
 5.5 Presentación : Pulverizado
 5.6 Muestreo : Muestreado por el Cliente

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.


 DIEGO ROMANO VERSARAY FERRISO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA INFRAROJA

- Equipo Utilizado: Espectrofotómetro Infrarrojo - Perkin Elmer
- Software: Perkin Elmer Spectrum 10
- Rango de Prueba: Intervalo de número de onda 380 cm^{-1} a 4000 cm^{-1}

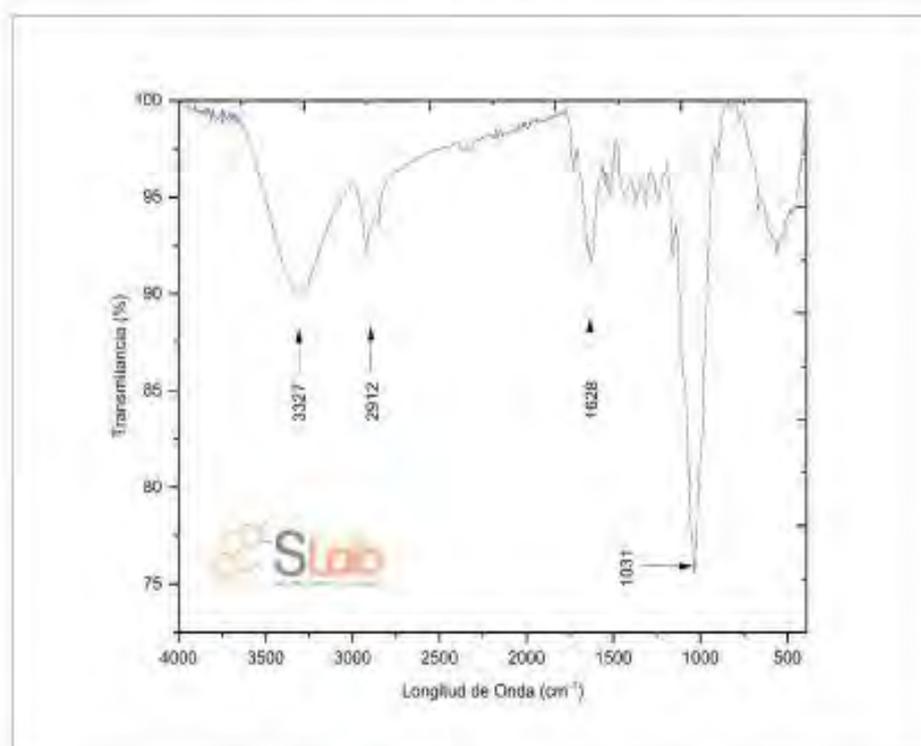


Figura N°1: Espectro Infrarrojo de la muestra S-3999

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

"FIN DEL DOCUMENTO"



DIEGO ROMANO VERGARÁ D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

Anexo B: Resultados de la caracterización BET



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

INFORME DE ENSAYO

IE-060422-02-01

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC : 20172474501

2. FECHAS

2.1 Inicio : 07 de Abril de 2022
2.2 Finalización : 19 de Abril de 2022
2.3 Emisión de informe : 19 de Abril de 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 20.2°C
3.2 Humedad Relativa : 54 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODO UTILIZADO

4.1 Ensayo solicitado / Método utilizado : Ver 6.1

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de las muestras

| Código de Laboratorio | Tipo de Muestra | Descripción |
|-----------------------|-----------------|---|
| 5-3612 | Biomasa | MUESTRA 01: BIOMASA GRANULAR SECA (A PARTIR DE KIKUYO - PASTO PODADO) Cantidad de Muestra Enviada: 80 mg |

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANALISIS QUIMICOS SAC.


DIEGO ROMÁN VERGARÁ D'AMICO
QUÍMICO
CQP. 1397



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

6. RESULTADOS

6.1. Resultados Obtenidos

- Equipo Utilizado: Analizadores de área de superficie.
- Análisis Adsorbente: N₂
- Tasa de evacuación: 1000.00mmHg/min
- Tiempo de Equilibrio: 5 segundos
- Densidad de muestra: 1.000 g/cm³
- Masa de muestra: 0.0483 g
- Condición de desgasificación: 6 horas a 200°C / He

Tabla N°2: Resultados Obtenidos

| Parámetro | Unidad | Método de Ensayo | Resultado S-3612 |
|---|--------------------|--|------------------|
| Superficie Específica BET | m ² /g | ISO 9277/ Determinación de la superficie específica de sólidos por adsorción de gas — método BET | 0.0303 |
| Langmuir Surface Area | m ² /g | | 0.0326 |
| BJH Adsorption cumulative surface area of pores | m ² /g | | 0.0795 |
| BJH Desorption cumulative volume of pores | cm ³ /g | | 0.000264 |
| BJH Desorption average pore diameter | nm | | 13.28 |

Superficie específica BET, adsorción de área de poro del modelo BJH, desorción del volumen de poro del modelo BJH y diámetro de poro medio en la desorción por el modelo BJH para la muestra.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO


 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARMAS
 QUÍMICO
 CQP. 1337



INFORME DE ENSAYO

IE-060422-02-02

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC : 20172474501

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 07 de Abril de 2022
2.2 Finalización : 19 de Abril de 2022
2.3 Emisión de informe : 19 de Abril de 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2°C
3.2 Humedad Relativa : 54 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODO UTILIZADO

- 4.1 Ensayo solicitado / Método utilizado : Ver 6.1

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: Datos de las muestras

| Código de Laboratorio | Tipo de Muestra | Descripción |
|-----------------------|-----------------|--|
| 5-3613 | Biomasa | MUESTRA 02: BIOMASA GRANULAR SECA HIDROLIZADA (MUESTRA 01 HIDROLIZADA CON H ₂ SO ₄ AL 1.25% Y NaOH AL 3.25%) Cantidad de Muestra Enviada: 60 mg |

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANALISIS QUIMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

6. RESULTADOS

6.1. Resultados Obtenidos

- Equipo Utilizado: Analizadores de área de superficie.
- Análisis Adsorbente: N₂
- Tasa de evacuación: 1000.00mmHg/min
- Tiempo de Equilibrio: 5 segundos
- Densidad de muestra: 1.000 g/cm³
- Masa de muestra: 0.0471 g
- Condición de desgasificación: 6 horas a 200°C / He

Tabla N°2: Resultados Obtenidos

| Parámetro | Unidad | Método de Ensayo | Resultado S-3613 |
|---|--------------------|--|------------------|
| Superficie Específica BET | m ² /g | ISO 9277/ Determinación de la superficie específica de sólidos por adsorción de gas — método BET | 0.4268 |
| Langmuir Surface Area | m ² /g | | 0.5991 |
| BJH Adsorption cumulative surface area of pores | m ² /g | | 1.173 |
| BJH Desorption cumulative volume of pores | cm ³ /g | | 0.002011 |
| BJH Desorption average pore diameter | nm | | 12.37 |

Superficie específica BET, adsorción de área de poro del modelo BJH, desorción del volumen de poro del modelo BJH y diámetro de poro medio en la desorción por el modelo BJH para la muestra.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO


 DIEGO ROMERO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

Anexo C: Resultados de la caracterización SEM/EDS



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

INFORME DE ENSAYO

IE-140622-01-01

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 1.2 RUC/DNI : 20172474501
 1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO COMEDOR)
 CUSCO - CUSCO - CUSCO

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 15 de junio del 2022
 2.2 Fin : 27 de junio del 2022
 2.3 Emisión de informe : 30 de junio del 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
 3.2 Humedad Relativa : 54.8 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado / Método o Técnica utilizada : Caracterización de materiales por Microscopía electrónica

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

- 5.1 Código de Muestra : S-3995
 5.2 Tipo de Muestra : Muestra en polvo
 5.3 Descripción : Biomasa granular seca (a partir de kikuyo - pasto podado) hidrolizada con H₂SO₄ al 1.25 % y NaOH al 3.25 %
 5.4 Estado : Sólido
 5.5 Presentación : Pulverizado
 5.6 Muestreo : Muestreado por el Cliente

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERGARA ITARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

6. RESULTADOS
6.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN SEM / MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO
Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS (EDS)

| Elemento | Unidad | Zona N°1 | | | Zona N°2 | Zona N°3 |
|--------------|--------|----------|--------|--------|----------|----------|
| | | Area 1 | Area 2 | Area 3 | Area 1 | Area 1 |
| Carbono, C | % | 61,49 | 61,20 | 63,10 | 60,66 | 62,44 |
| Oxígeno, O | % | 30,79 | 32,54 | 28,56 | 38,01 | 33,28 |
| Sodio, Na | % | 1,73 | --- | --- | --- | 2,41 |
| Aluminio, Al | % | 3,91 | 3,71 | 5,47 | 0,21 | 0,38 |
| Silicio, Si | % | 0,81 | 0,28 | 1,05 | 0,37 | 0,71 |
| Calcio, Ca | % | 1,27 | 1,73 | 1,82 | 0,75 | 0,78 |

Comentarios:

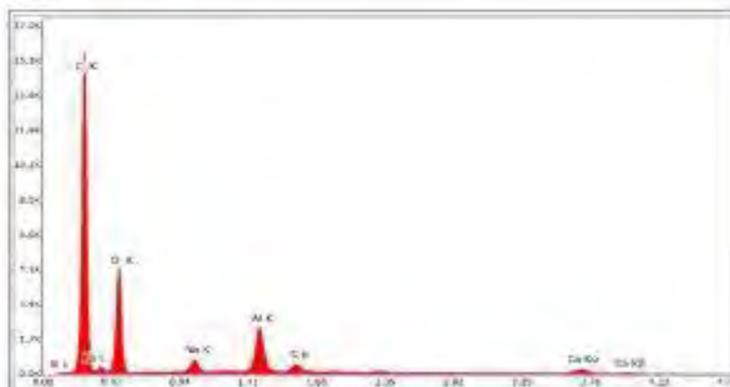
- La muestra analizada fue proporcionada por el cliente y acondicionada para ensayo.
- Las Fotos 1, 2 y 3 representan las zonas analizadas en la muestra, 300X y 600X.
- Las Fotos 4 y 5 representan micrografías donde se aprecia la morfología de las partículas que conforman la muestra a 100X y 2000X.
- La muestra analizada es compatible con origen orgánico por la alta presencia de carbono, se detecta también la presencia de óxidos de aluminio, silicio y calcio.


Foto N°1: Zona de análisis 1 – 300X.

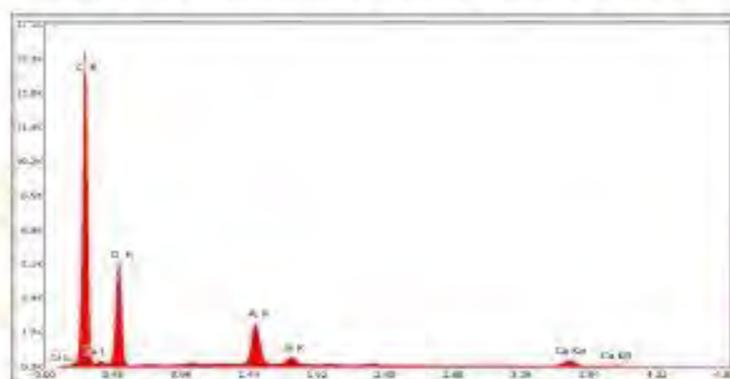
- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANALISIS QUIMICOS SAC.



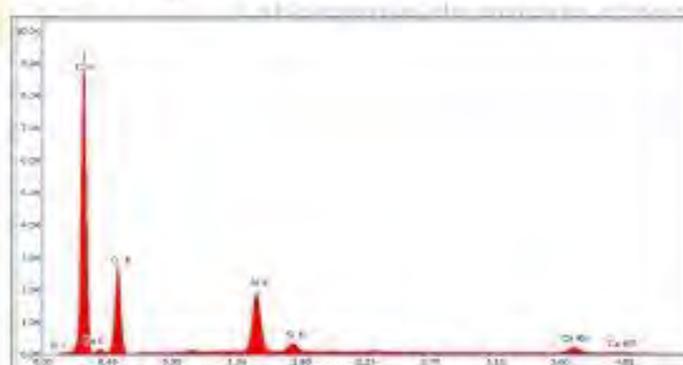
Diego Romano Vergara D'Amigo
 QUÍMICO
 CQP, 1337



Gráfica N°1: Espectro obtenido del análisis en el Área 1 de la Zona 1.



Gráfica N°2: Espectro obtenido del análisis en el Área 2 de la Zona 1.



Gráfica N°3: Espectro obtenido del análisis en el Área 3 de la Zona 1.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

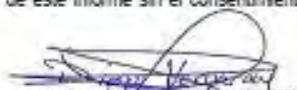

DIEGO ROMÁN VERGARÁ BARRIGA
QUÍMICO
CQP. 1337

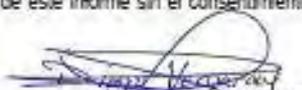


Foto N°2: Zona de análisis 2 – 800X.



Gráfica N°4: Espectro obtenido del análisis en el Área 1 de la Zona 2.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMERO VERGARA D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

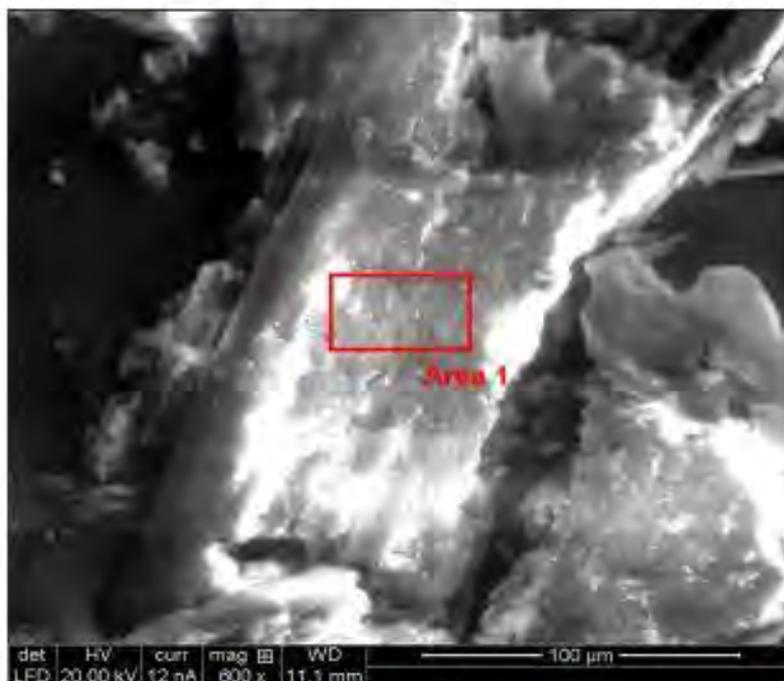


Foto N°3: Zona de análisis 3 – 600X.



Gráfica N°5: Espectro obtenido del análisis en el Área 1 de la Zona 3.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMÁN VERGARA D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

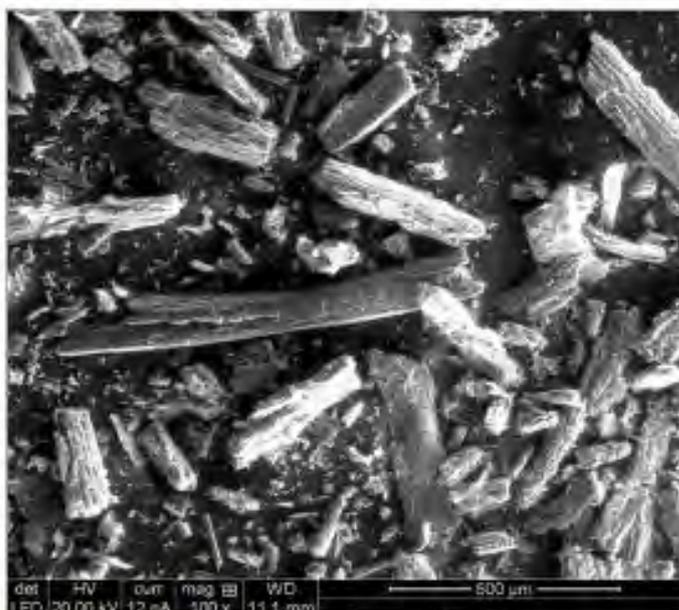


Foto N°4: Micrografía morfología, 100X.



Foto N°5: Micrografía morfología, 2000X.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO

[Handwritten Signature]
DIEGO ROMANO VERGARA D'ARISO
QUÍMICO
CQP. 1537



INFORME DE ENSAYO

IE-140622-01-02

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 1.2 RUC/DNI : 20172474501
 1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA - ANTIGUO COMEDOR)
 CUSCO - CUSCO - CUSCO

2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 15 de junio del 2022
 2.2 Fin : 27 de junio del 2022
 2.3 Emisión de informe : 30 de junio del 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C
 3.2 Humedad Relativa : 54.8 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado / Método o Técnica utilizada : Caracterización de materiales por Microscopía electrónica

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

- 5.1 Código de Muestra : S-3996
 5.2 Tipo de Muestra : Muestra en polvo
 5.3 Descripción : Muestra MEB 01 contactada con cromo (III)
 5.4 Estado : Sólido
 5.5 Presentación : Pulverizado
 5.6 Muestreo : Muestreado por el Cliente

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERGARAY D'AMICO
 QUÍMICO
 CQP- 1337

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN SEM / MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS (EDS)

| Elemento | Unidad | Zona N°1 | Zona N°2 | Zona N°3 | | |
|--------------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|
| | | Área 1 | Área 1 | Área 1 | Área 2 | Área 3 |
| Carbono, C | % | 54,11 | 55,88 | 67,85 | 68,27 | 63,73 |
| Oxígeno, O | % | 42,17 | 41,27 | 30,83 | 30,47 | 33,47 |
| Cromo, Cr | % | 0,48 | 1,02 | 0,65 | 0,65 | 0,86 |
| Aluminio, Al | % | 0,41 | --- | --- | 0,23 | --- |
| Silicio, Si | % | 2,82 | 0,49 | 0,40 | 0,39 | 1,45 |
| Calcio, Ca | % | --- | 0,66 | 0,27 | --- | 0,49 |

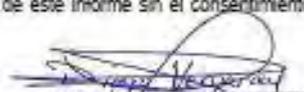
Comentarios:

- La muestra analizada fue proporcionada por el cliente y acondicionada para ensayo.
- Las Fotos 1, 2 y 3 representan las zonas analizadas en la muestra, 300X, 600X y 1200X.
- Las Fotos 4 y 5 representan micrografías donde se aprecia la morfología de las partículas que conforman la muestra a 50X y 400X.
- La muestra analizada es compatible con origen orgánico por la alta presencia de carbono, se detecta también la presencia de óxidos de aluminio, silicio y calcio. Se evidencia presencia de Cromo.



Foto N°1: Zona de análisis 1, 600X.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERGARA D'ARRISO
 QUÍMICO
 C.O.P. 1337

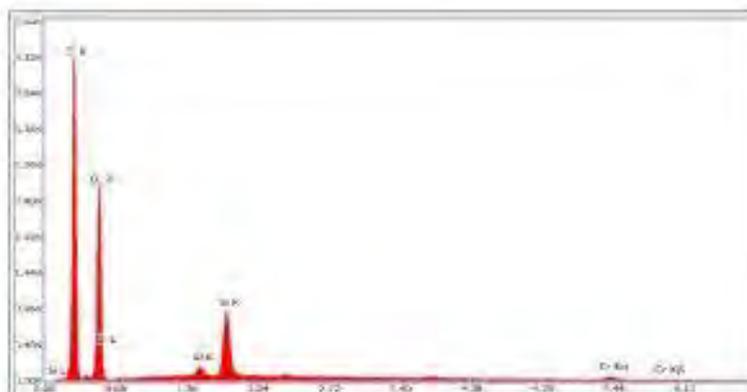


Gráfico N°1: Espectro obtenido del análisis en el Área 1 de la Zona 1.

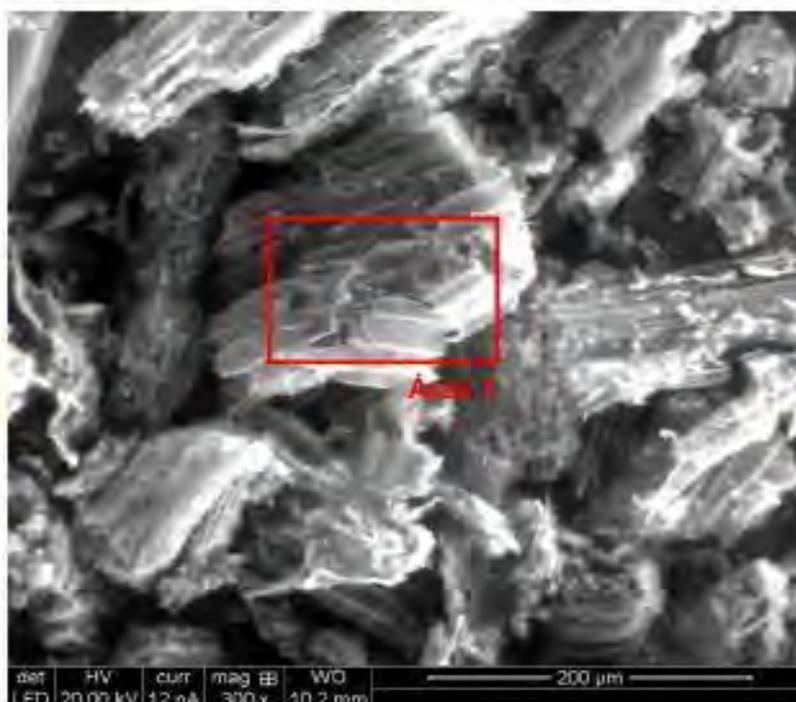
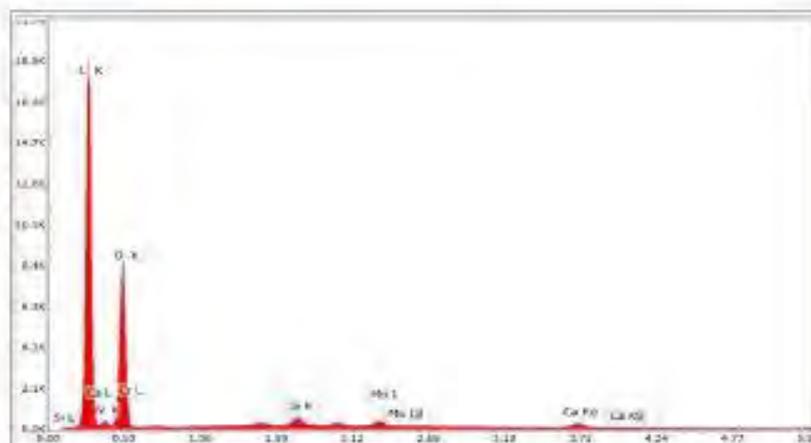


Foto N°2: Zona de análisis 2, 300X.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


DIEGO ROMANO VERGARA D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337



Gráfica N°2: Espectro obtenido del análisis en el Área 1 de la Zona 2.



Foto N°3: Zona de análisis 3, 1200X.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

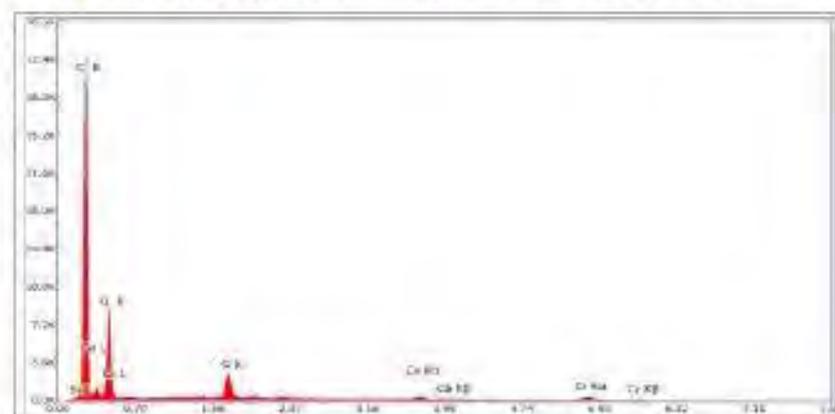

 DIEGO ROMANO VERGARAY 0788100
 QUÍMICO
 C.Q.P. 1337



Gráfica N°3: Espectro obtenido del análisis en el Área 1 de la Zona 3.



Gráfica N°4: Espectro obtenido del análisis en el Área 2 de la Zona 3.



Gráfica N°5: Espectro obtenido del análisis en el Área 3 de la Zona 3.


DIEGO ROMANO VERGARÁ D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

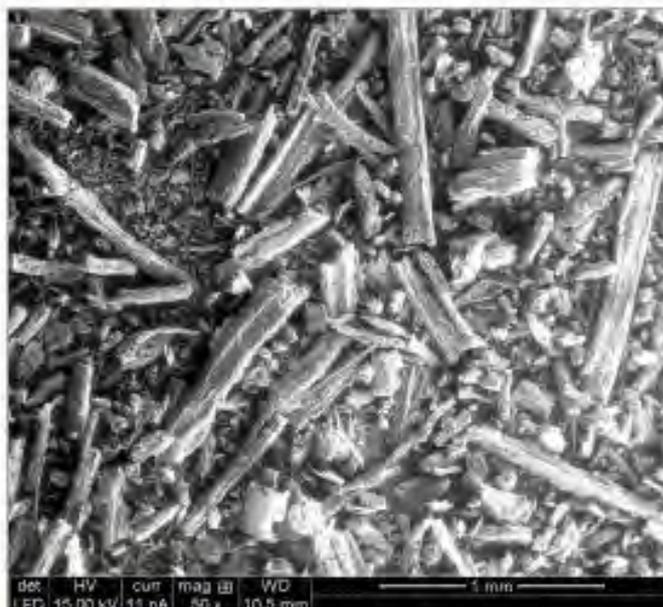


Foto N°4: Micrografía morfología, 50X

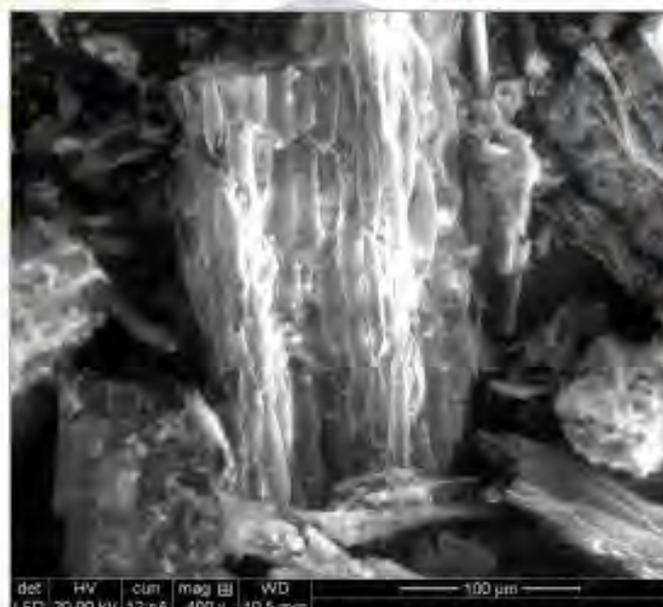


Foto N°5: Micrografía morfología, 400X.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO

Diego Romano Vergara
DIEGO ROMANO VERGARÁ D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

Anexo D: Resultados de las pruebas de adsorción

|  | | Informe de Análisis 2205041-II | | |
|--|------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Cotización: 2204076 | | | | |
| (FAP-009-01) | | | | |
| Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00 | | | | |
| Identificación del Cliente | | | | |
| Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | RUC: 20172474501 | | |
| Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: Edilma Shany Chipa Daza | | | Teléfono: --- | |
| N° Muestra: 2205041-2 MB1 | | | | |
| Matriz: Agua Destilada | | | | |
| Término de muestreo: 04-05-2022 11:00 | | Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15 | | |
| Departamento: Cusco | | Provincia: Cusco | | |
| Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco | | | | |
| Dirección de muestreo: Cusco - Cusco | | Punto de muestreo: MB1 | | |
| Proyecto: --- | | | | |
| Tipo de muestreo: --- | | Instrumento ambiental: --- | | |
| Muestreado por: El cliente | | | | |
| Coordenadas: --- | | | | |
| Resultados Analíticos | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
| Cromo total (Cr) | 29,90 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |
| | | | | |
| Notas | | | | |
| NA: No se aplica. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017 | | | | |
| Resultados válidos únicamente para la muestra analizada Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017 | | | | |
|  Raquel Rosales Torres Responsable de calidad CIP N° 209612 | | | | |
| Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com RUC: 20512978795 | | | | |



Informe de Análisis 2205041-XIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-13 MB1-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: MB1-2
 Proyecto: — Instrumento ambiental: —
 Tipo de muestreo: — Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,40 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209812



Informe de Análisis 2205041-XXIV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-24 MB1-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MB1-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 30,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-IV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

| Identificación del Cliente | | | | | |
|----------------------------|---|-------------|------------------------|-------------------|-------------|
| Cliente: | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | | RUC: | 20172474501 |
| Dirección: | Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: | Edilma Shany Chipa Daza | | | Teléfono: | --- |
| N° Muestra: 2205041-4 MB2 | | | | | |
| Matriz: | Agua Destilada | | | | |
| Término de muestreo: | 04-05-2022 | 11:00 | Fecha de Recepción: | 10-05-2022 | 11:15 |
| Departamento: | Cusco | | Provincia: | Cusco | |
| Lugar de muestreo: | Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco | | | | |
| Dirección de muestreo: | Cusco - Cusco | | Punto de muestreo: | MB2 | |
| Proyecto: | --- | | Instrumento ambiental: | --- | |
| Tipo de muestreo: | --- | | Muestreado por: | El cliente | |
| | | | Coordenadas: | --- | |
| Resultados Analíticos | | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis | |
| Cromo total (Cr) | 24,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 | |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad
CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501

Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco

Contacto: Edilma Shany Chipa Daza

Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-15 MB2-2

Matriz: Agua Destilada

Término de muestreo: 05-05-2022 17:00

Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Punto de muestreo: MB2-2

Dirección de muestreo: Cusco - Cusco

Instrumento ambiental: ---

Proyecto: ---

Muestreado por: El cliente

Tipo de muestreo: ---

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 21,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad
CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXVI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

| Identificación del Cliente | | | | | |
|------------------------------|---|------------------------|--------------------|-------------------|-------------|
| Cliente: | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | | RUC: | 20172474501 |
| Dirección: | Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: | Edilma Shany Chipa Daza | | | Teléfono: | --- |
| N° Muestra: 2205041-26 MB2-3 | | | | | |
| Matriz: | Agua Destilada | | | | |
| Término de muestreo: | 05-05-2022 17:00 | Fecha de Recepción: | 10-05-2022 | 11:15 | |
| Departamento: | Cusco | Provincia: | Cusco | | |
| Lugar de muestreo: | Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco | | | | |
| Dirección de muestreo: | Cusco - Cusco | Punto de muestreo: | MB2-3 | | |
| Proyecto: | --- | | | | |
| Tipo de muestreo: | --- | Instrumento ambiental: | --- | | |
| | | Muestreado por: | El cliente | | |
| | | Coordenadas: | --- | | |
| Resultados Analíticos | | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis | |
| Cromo total (Cr) | 27,90 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 | |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
 Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-VI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-6 MB3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 04-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MB3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: -- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

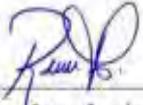
Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XVII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-17 MB3-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MB3-2
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 27,90 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXVIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-28 MB3-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MB3-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 32,70 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 : de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-VIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-8 MB4

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MB4
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: -- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordinadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 32,20 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

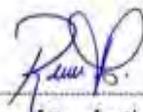
LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP/ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XIX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501

Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco

Contacto: Edilma Shany Chipa Daza

Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-19 MB4-2

Matriz: Agua Destilada

Término de muestreo: 05-05-2022 11:00

Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Punto de muestreo: MB4-2

Dirección de muestreo: Cusco - Cusco

Instrumento ambiental: --

Proyecto: --

Muestreado por: El cliente

Tipo de muestreo: --

Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 26,50 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-30 MB4-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MB4-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 30,70 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-X

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-10 MB5

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: MB5
 Proyecto: --- Instrumento ambiental: ---
 Tipo de muestreo: --- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,50 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edición 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-21 MB5-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MB5-2
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 24,10 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

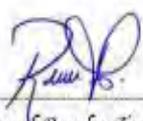
Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXXII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733. Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-32 MBS-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBS-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25.60 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 DIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-I

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-1 MBA

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 04-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBA
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

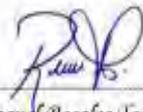
Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
 Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-12 MBA-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBA-2
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 30,10 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edlima Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-23 MBA-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBA-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29,00 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-III

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-3 MBB

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 04-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBB
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 32,60 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XIV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-14 MBB-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: MBB-2
 Proyecto: --- Instrumento ambiental: ---
 Tipo de muestreo: --- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-25 MBB-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBB-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 33.40 mg/L | < 0.01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de DetECCIÓN.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-V

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-S - MBC

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 04-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBC
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 26.80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 : de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XVI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-16 MBC-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBC-2
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: -- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,60 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este Informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXVII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-27 MBC-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: MBC-3
 Proyecto: -- Instrumento ambiental: --
 Tipo de muestreo: -- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-VII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-7 MBD

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBD
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 27,90 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XVIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501

Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco

Contacto: Edilma Shany Chipa Daza

Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-18 MBD-2

Matriz: Agua Destilada

Término de muestreo: 05-05-2022 11:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Dirección de muestreo: Cusco - Cusco

Proyecto: —

Tipo de muestreo: —

Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: MBD-2

Instrumento ambiental: —

Muestreado por: El cliente

Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 22,10 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXIX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-29 MBD-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBD-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29,40 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica
 LD: Límite de Detección
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-IX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

| Identificación del Cliente | | | | | |
|----------------------------|---|-------------|------------------------|-------------------|-------------|
| Cliente: | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | | RUC: | 20172474501 |
| Dirección: | Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: | Edilma Shany Chipa Daza | | | Teléfono: | — |
| N° Muestra: 2205041-9 MBE | | | | | |
| Matriz: | Agua Destilada | | | | |
| Término de muestreo: | 05-05-2022 | 11:00 | Fecha de Recepción: | 10-05-2022 | 11:15 |
| Departamento: | Cusco | | Provincia: | Cusco | |
| Lugar de muestreo: | Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco | | Punto de muestreo: | MBE | |
| Dirección de muestreo: | Cusco - Cusco | | Instrumento ambiental: | — | |
| Proyecto: | — | | Muestreado por: | El cliente | |
| Tipo de muestreo: | — | | Coordenadas: | — | |
| Resultados Analíticos | | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis | |
| Cromo total (Cr) | 32,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 | |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2205041-20 MBE-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBE-2
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: --- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

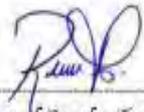
Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 27,00 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
 Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXXI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-31 MBE-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBE-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: -- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,40 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

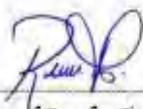
Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-11 MBF

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: MBF
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: -- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29,00 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2205041-22 MBF-2

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: MBF-2
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: -- Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 31,80 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP/ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2205041-XXXIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-33 MBF-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 11:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: MBF-3
 Proyecto: — Instrumento ambiental: —
 Tipo de muestreo: — Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 31.30 mg/L | < 0.01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad

CIP N° 209812



Informe de Análisis 2205041-XXXVI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 17-05-2022 18:09

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edlma Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2205041-36 TESTIGO-3

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 05-05-2022 17:00 Fecha de Recepción: 10-05-2022 11:15
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: TESTIGO-3
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: — Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|-----------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 50.0 mg/L | < 0.01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 11-05-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017

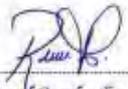
Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad
CIP N° 209812

Anexo E: Resultados de la cinética de adsorción

|  | | Informe de Análisis 2206042-XI | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| | | Cotización: 2204076 | | |
| (FAP-009-01) Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00 | | | | |
| Identificación del Cliente | | | | |
| Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | RUC: 20172474501 | | | |
| Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: Edilma Shany Chipa Daza | Teléfono: --- | | | |
| N° Muestra: 2206042-11 ASR | | | | |
| Matriz: Agua Destilada | | | | |
| Término de muestreo: 07-06-2022 11:00 | Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30 | | | |
| Departamento: Cusco | Provincia: Cusco | | | |
| Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco | Punto de muestreo: ASR | | | |
| Dirección de muestreo: Cusco - Cusco | Instrumento ambiental: --- | | | |
| Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado 'BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)' | Muestreado por: El cliente | | | |
| Tipo de muestreo: --- | Coordenadas: --- | | | |
| Resultados Analíticos | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
| Cromo total (Cr) | 29,53 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |
| | | | | |
| Notas | | | | |
| NA: No se aplica. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017 | | | | |
| Resultados válidos únicamente para la muestra analizada Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017 | | | | |
|  Raquel Rosales Torres Responsable de calidad CIP N° 209812 | | | | |
| Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 8 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate- Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com RUC: 20512976795 | | | | |



Informe de Análisis 2206042-XXI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edlima Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-21 AYW

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: AYW
 Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 26,54 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 : de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 DIP N° 209812



Informe de Análisis 2206042-IV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-4 BTQ

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 11:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: BTQ
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)" Instrumento ambiental: --
 Tipo de muestreo: -- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29.56 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-25 DAB

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: DAB
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,09 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-20 EPT

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: EPT
 Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,58 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XIV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edlima Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-14 HEN

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: HEN
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 30,84 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 - de acuerdo a NTP-ISO 17025.2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XVI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-16 HQE

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: HQE
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intítulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,24 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209812



Informe de Análisis 2206042-II

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-2 HUD

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 11:00 Fecha de Recepción: 16-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: HUD
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 26,82 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-V

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-5 IHD

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 11:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: IHD
 Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,67 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

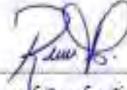
Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación (INACAL-DA) con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

Nº Muestra: 2206042-13 IJZ

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: IJZ
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,64 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612

Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com

RUC: 20512976795



Informe de Análisis 2206042-XXX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-30 JAX

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: JAX
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)" Instrumento ambiental: --
 Tipo de muestreo: -- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,29 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas:

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXVIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-28 JXY

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIO 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: JXY
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hoohst (kikuyo)" Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 24,23 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XVII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-17-KEC

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ.213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: KEC
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intítulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,35 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209812



Informe de Análisis 2206042-XV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2206042-15 KMP

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: KMP
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)" Instrumento ambiental: ---
 Tipo de muestreo: --- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29.88 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XIX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2206042-19 NFK

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: NFK
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 24,65 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP450 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXIX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-29 NOC

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Punto de muestreo: NOC
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo)" Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 24,18 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 208612



Informe de Análisis 2206042-XXVII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2206042-27 OAX

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: OAX
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (*kikuyo*)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,83 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP/ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-VIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-8 PZV

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 11:00 Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: PZV
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)" Instrumento ambiental: —
 Tipo de muestreo: — Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28,77 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP/ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXVI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chipa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-26 OAQ

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: OAQ
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: —
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: — Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,91 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-22 OAT

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: OAT
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 27.65 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-X

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edlima Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-10 RTG

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 11:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: RTG
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitolado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Höchst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29,46 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas:

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXIV

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501

Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco

Contacto: Edilma Shany Chipa Daza

Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-24 SOE

Matriz: Agua Destilada

Término de muestreo: 07-06-2022 17:00

Departamento: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Dirección de muestreo: Cusco - Cusco

Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"

Tipo de muestreo: —

Fecha de Recepción: 18-06-2022 11:30

Provincia: Cusco

Punto de muestreo: SOE

Instrumento ambiental: —

Muestreado por: El cliente

Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 24,14 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad
CIP N° 209812



Informe de Análisis 2206042-VII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-7 TQW

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 11:00 Fecha de Recepción: 18-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: TQW
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 29,14 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition, 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-VI

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474601

Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco

Contacto: Edilma Shany Chipa Daza

Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-6 TRK

Matriz: Agua Destilada

Término de muestreo: 07-08-2022 11:00

Fecha de Recepción: 18-08-2022 11:30

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Punto de muestreo: TRK

Dirección de muestreo: Cusco - Cusco

Instrumento ambiental: —

Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo)"

Muestreado por: El cliente

Tipo de muestreo: —

Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 30,33 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-08-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-III

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-3 UTY

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 11:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: UTY
 Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 33,01 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas:

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XVIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edlima Shary Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-18 VEO

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-08-2022 17:00 Fecha de Recepción: 18-08-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: VEO
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: --
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: -- Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 22,85 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-1

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-1 VJW

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 11:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: VJW
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)" Instrumento ambiental: --
 Tipo de muestreo: -- Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 28.35 mg/L | < 0.01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada
 Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.
 Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación (INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 QIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XXIII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shany Chipa Daza Teléfono: ---

N° Muestra: 2206042-23 XVB

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ.213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Punto de muestreo: XVB
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Instrumento ambiental: ---
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo)"
 Muestreado por: El cliente
 Tipo de muestreo: --- Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,83 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edición 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077, de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad

CIP N° 209612



Informe de Análisis 2206042-XII

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ÁBAD DEL CUSCO RUC: 20172474501
 Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco
 Contacto: Edilma Shary Chípa Daza Teléfono: —

N° Muestra: 2206042-12 XVK

Matriz: Agua Destilada
 Término de muestreo: 07-06-2022 17:00 Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30
 Departamento: Cusco Provincia: Cusco
 Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Ábad del Cusco
 Dirección de muestreo: Cusco - Cusco Punto de muestreo: XVK
 Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo)" Instrumento ambiental: —
 Tipo de muestreo: — Muestreado por: El cliente
 Coordenadas: —

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 25,30 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.
 LD: Límite de Detección.
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


 Raquel Rosales Torres
 Responsable de calidad
 CIP N° 209812



Informe de Análisis 2206042-IX

Cotización: 2204076

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 02-07-2022 12:00

Identificación del Cliente

Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO RUC: 20172474601

Dirección: Av. de la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco

Contacto: Edilma Shany Chipa Daza

Teléfono: --

N° Muestra: 2206042-9 YWN

Matriz: Agua Destilada

Término de muestreo: 07-06-2022 11:00

Fecha de Recepción: 16-06-2022 11:30

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Punto de muestreo: YWN

Dirección de muestreo: Cusco - Cusco

Instrumento ambiental: --

Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial intitulado "BIOSORCIÓN DE CROMO (III) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO Pennisetum clandestinum Hochst (kikuyo)"

Muestreado por: El cliente

Tipo de muestreo: --

Coordenadas: --

Resultados Analíticos

| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
|------------------|------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Cromo total (Cr) | 30,08 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 28-06-2022 |

Notas

NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd, Edition 2017

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 : de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Responsable de calidad
CIP N° 209612

Anexo F: Resultados de la caracterización fisicoquímica del Agua Real



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-042



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayos
Acreditado

INFORME DE ENSAYO
LLP-2253-2022
SO-0664-2022

Registro N° LE - 042

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
Solicitante: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Dirección Legal: Av. de La Cultura N° 733 – Cusco.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA
Nombre del Producto: Agua residual
Matriz química: Agua residual
Fecha de Ingreso de Muestra: 2022/07/12
Fecha de Ensayo: 2022/07/12
Nro Cotización: 95-06-2022

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):
Muestreo realizado por: Personal de Laboratorio Louis Pasteur
Muestreo fue realizado según el instructivo:
 LLP-MP14-106. Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico
Fecha de Muestreo: 2022/07/11
Hora de Muestreo: 18:30
Procedencia de la Muestra: Muestra 1 – Desagüe principal, Cruce Sicuani - Cusco – Agua residual
 proveniente de la industria peletera.
Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de vidrio de 1L, frascos de polietileno de 1L, 500ml y 250ml,
 transportado en cadena de frío.

REPORTE DE RESULTADOS
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2022/07/26

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS QUÍMICOS

| Ensayo(s) | Unidad | Resultado(s) |
|-------------------------------|----------------------|--------------|
| DBO ₅ | DBO, mg/L | 248,33 |
| DQO | mg O ₂ /L | 374,40 |
| Sólidos totales en suspensión | mg STS/L | 494,00 |
| Aceites y grasas | mg AyG/L | 49,39 |
| pH ^R | Unidades de pH | 4,79 |
| Temperatura (°) | °C | 16,8 |

^R Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.
 (°) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL – DA.

Métodos de Referencia:

| | |
|---|--|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (2017) |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017) |
| Sólidos Totales en Suspensión | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. (2017) |
| Aceites y Grasas | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 D, 23 rd Ed. (2017) |
| pH | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H ⁺ B, 23rd Ed. (2017) |
| Temperatura | 2017 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 23RD EDITION Part 2540 Temperature.B.Laboratory and Field Methods Pág. 2-69 |



Dr. Felipe Filvez
C. B. P. 2017
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021
 Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - 771906 Cel. 975713500 - 974787151
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.

Urb. Velasco Astete D-18-B
 Wanchaq - Cusco - Perú
 Telefax: 084-234727
 Celular: 975 713500 - 974787151
 laboratorioulouispasteur@yahoo.es
 www.lablouispasteur.pe

OPINIONES E INTERPRETACIONES**INFORME DE ENSAYO
LLP-2253-2022**

Pág. 1 de 1

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

| Determinaciones | Unidad de Medida | Límite Máximo permisible | Valores Hallados | Cumple o No con la Norma |
|-------------------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| DBO ₅ | mg/L | 500 | 248,33 | Si |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 1000 | 374,40 | Si |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 500 | 494,00 | Si |
| Aceites y grasas | mg/L | 100 | 49,39 | Si |
| pH | unidad | 6-9 | 4,79 | No |
| Temperatura | °C | <35 | 16,8 | Si |

Conclusión:

No cumple con los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA – Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

| | |
|---|--|
| N° de Referencia: A-22/084319 | Tipo Muestra: Agua Residual Industrial |
| Descripción(^): CRUCE SICUANI-CUSCO - DESAGUE PRINCIPAL | Fecha Fin: 22/07/2022 |

RESULTADOS ANALITICOS

| Parámetro | Resultado | Unidades | Incert. | CMA |
|---------------------------------------|-----------|----------|---------|-----|
| Parámetros Físico-Químicos | | | | |
| Sulfuro | < 0,03 | mg/L | - | |
| Formas Nitrogenadas/Fosforadas | | | | |
| Nitrógeno Amoniacal | 18,36 | mg/L | ±1,5973 | |
| Metales Totales | | | | |
| Cromo Total | 93,02 | mg/L | ±23,57 | |
| Metales - Especiación | | | | |
| Cromo Hexavalente (VI) | 0,015 | mg/L | ±0,0027 | |

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

Anexo G: Resultados del análisis de adsorción atómica del agua real filtrada y tratada con el biosorbente



INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE-072

| | |
|------------------------------------|--|
| Nº de Referencia: A-22/084324 | Tipo Muestra: Agua Residual Industrial |
| Descripción(^): LABORATORIO UNSAAC | Fecha Fin: 22/07/2022 |

RESULTADOS ANALITICOS

| Parámetro | Resultado | Unidades | Incert | CMA |
|---------------------------------------|-----------|----------|---------|-----|
| Parámetros Físico-Químicos | | | | |
| Sulfuro | 0,06 | mg/L | ±0,01 | |
| Formas Nitrogenadas/Fosforadas | | | | |
| Nitrógeno Amoniacal | 19,65 | mg/L | ±1,7096 | |
| Metales Totales | | | | |
| Cromo Total | 30,02 | mg/L | ±13,98 | |
| Metales - Especiación | | | | |
| Cromo Hexavalente (VI) | 0,066 | mg/L | ±0,0117 | |

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

Resultados del análisis de adsorción atómica del agua real tratada con el biosorbente



INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



Registro N° LE - 072

N° de Referencia: A-22/084325
Descripción(*): LABORATORIO UNSACC

Tipo Muestra: Agua Residual Industrial
Fecha Fin: 22/07/2022

RESULTADOS ANALITICOS

| Parámetro | Resultado | Unidades | Incert | CMA |
|---------------------------------------|-----------|----------|---------|-----|
| Parámetros Físico-Químicos | | | | |
| Sulfuro | 0,04 | mg/L | ±0,00 | |
| Formas Nitrogenadas/Fosforadas | | | | |
| Nitrógeno Amoniacal | 20,20 | mg/L | ±1,7574 | |
| Metales Totales | | | | |
| Cromo Total | 11,2 | mg/L | ±7,323 | |
| Metales - Especiación | | | | |
| Cromo Hexavalente (VI) | 0,140 | mg/L | ±0,0247 | |

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

Anexo H: Resultado de proceso de regeneración

|  | | Informe de Análisis 2207070-1 | | |
|--|------------|--|--------------------|--------------------|
| (FAP-009-01) | | Cotización: 2207028 | | |
| Fecha Emisión Informe: 26-07-2022 14:00 | | | | |
| Identificación del Cliente | | | | |
| Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | | | RUC: 2020172474501 |
| Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 (Local Diga - Antigua Comedor) , Cusco - Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: Edilma Shary Chpa Daza | | | | Teléfono: -- |
| N° Muestra: 2207070-1 | | | | |
| Matriz: Agua Residual | | | | |
| Término de muestreo: 13-07-2022 11:00 | | Fecha de Recepción: 16-07-2022 08:00 | | |
| Departamento: Cusco | | Provincia: Cusco | | |
| Lugar de muestreo: Laboratorio PIQ 213, Pabellón de Ingeniería Química | | Punto de muestreo: i | | |
| Dirección de muestreo: Cusco | | Instrumento ambiental: P-LAB-08 Muestreo | | |
| Proyecto: Proyecto de investigación de nivel inicial titulado "Biosorción de Cromo (III) de soluciones acuosas utilizando Pennisetum clandestinum Hochst (Kikuyo)" | | Muestreado por: El cliente | | |
| Tipo de muestreo: Puntual | | Coordenadas: -- | | |
| Resultados Analíticos | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
| Cromo total (Cr) | 47.25 mg/L | < 0.01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 16-07-2022 |
| Notas | | | | |
| NA: No se aplica. | | | | |
| LD: Límite de Detección. | | | | |
| SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017. | | | | |
| Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. | | | | |
| Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. | | | | |
| HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 - de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017 | | | | |
|  Jorge Lopez Rodriguez Jefe de Laboratorio COP N° 1397 | | | | |
| Av. Carretera Central Km 9.3 Mz. "A" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced -Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidroLab.com RUC: 20512976795 | | | | |

|  | | Informe de Análisis 2207070-II | | |
|---|------------|---|---------------------------|-------------------|
| Cotización: 2207028 | | | | |
| (FAP-009-01) Fecha Emisión Informe: 27-07-2022 14:00 | | | | |
| Identificación del Cliente | | | | |
| Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | | RUC: 2020172474501 | |
| Dirección: Av. De La Cultura Nro. 733 (Local Dips - Antigua Comedor) Cusco - Cusco - Cusco | | | | |
| Contacto: Edilma Shany Chips Daza | | | Teléfono: — | |
| N° Muestra: 2207070-2 | | | | |
| Matriz: Agua Residual | | | | |
| Término de muestreo: 13-07-2022 11:00 | | Fecha de Recepción: 16-07-2022 08:00 | | |
| Departamento: Cusco | | Provincia: Cusco | | |
| Lugar de muestreo: Laboratorio FIO 213, Pabellón de Ingeniería Química | | Punto de muestreo: 2 | | |
| Dirección de muestreo: Cusco | | Instrumento ambiental: P-LAB-08 Muestreo | | |
| Proyecto: "Proyecto de investigación de nivel inicial titulado "Biosorción de Cromo (III) de soluciones acuosas utilizando Pennisetum Clandestinum Hochst (Kikuyo)" | | Muestreado por: El cliente | | |
| Tipo de muestreo: Puntual | | Coordenadas: — | | |
| Resultados Analíticos | | | | |
| Parámetro | Resultado | LD | Referencia | Fecha de Análisis |
| Cromo total (Cr) | 32,90 mg/L | < 0,01 mg/L | SM 3030 E y 3111 B | 16-07-2022 |
| Notas | | | | |
| NA: No se aplica. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition/2017. | | | | |
| Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017 | | | | |
|  Jorge Louza Rodríguez Jefe de Laboratorio COP N° 1397 | | | | |
| Av. Carretera Central Km 9,3 Mz. "W" Lt. 6 Asoc. Nuestra Sra. de la Merced - Ate - Lima 03 - Perú - Teléfono: (511) 7191257 - www.hidrolab.com RUC: 20512976795 | | | | |