



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS



CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Tema: Caracterización de agua residual proveniente de la industria automotriz del cantón Ambato y su tratamiento por adsorción para remoción de metales

Trabajo de Titulación, modalidad de Proyecto de Investigación, previa la obtención del Título de Ingeniera Bioquímica, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Este Trabajo de Titulación forma parte del Proyecto “Identificación y caracterización de sustancias reactivas naturales y sintéticas de origen ecuatoriano para el diseño de un filtro destinado a la descontaminación de metales pesados en aguas residuales de la industria automotriz del cantón Ambato.”, financiado por DIDE mediante la Convocatoria INÉDITA 2019 y coordinado por Celia Margarita Mayacela Rojas PhD.

Autor: Bryan Gilmar Aguas Salazar

Tutor: Dr. Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

Ambato – Ecuador

Marzo - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 08 de febrero del 2022.

Dr. Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

C.I. 171228352-0

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Bryan Gilmar Aguas Salazar, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Bryan Gilmar Aguas Salazar

C.I. 1804219465

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal
Dr. José Homero Vargas López

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás
C.I. 180270659-6

Ing. Daniel Alfonso Cabrera Valle
C.I. 180256159-5

Ambato, 04 de marzo del 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Bryan Gilmar Aguas Salazar

C.I. 1804219465

AUTOR

DEDICATORIA

Este proyecto final va dedicado primeramente a Dios por guiarme día a día en cada paso que he dado, por llenarme de sabiduría y valentía para no desistir en el camino hasta llegar a mi meta.

A mis padres que siempre se mantuvieron firme a la hora de apoyarme económicamente y moralmente con sus consejos, que hicieron de mí una mejor persona y un excelente profesional.

A mis hermanas, que con sus ocurrencias me ayudaron a superar problemas que alguna vez tuve académicamente y que gracias a su apoyo he sabido sobrellevar cada día.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme seguir con vida para alcanzar este logro que lo anhelaba desde que era un niño.

A mis padres y mis hermanas que siempre estuvieron presente para que no me faltara nada en mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato por abrirme los brazos y brindarme todas las comodidades que un estudiante puede tener. Especialmente un agradecimiento a la facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, carrera de Ingeniería Bioquímica, por todos los conocimientos otorgados y los valores transmitidos de cada uno de los profesionales que se encuentran presentes y que tuve la dicha de conocerlos tanto académicamente como moralmente.

A mi tutor el Doctor Rodney peñafiel que con su apoyo, conocimiento impartido y dedicación me ayudo en la guía del presente trabajo de investigación.

A todos mis amigos, con los cuales compartí momentos inolvidables dentro y fuera de clases. Ya que hicieron que esta etapa sea una de las mejores de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Aguas residuales.....	1
1.1.2. Aguas residuales en la industria automotriz	2
1.1.3. Características físicas de las aguas residuales	3
1.1.4. Características químicas de las aguas residuales	4
1.1.5. Filtración.....	5
1.1.6. Metales pesados	5
1.1.7. Adsorción	6
1.1.8. Isotermas de adsorción	8
1.1.9. Influencia de la precipitación e intercambio iónico en la adsorción	11
1.1.10. Materiales adsorbentes	13
1.1.11. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua	
LIBRO VI ANEXO 1	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo general.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17

1.3 Hipótesis	17
1.3.1 Hipótesis nula	17
1.3.2 Hipótesis alternativa.....	17
1.4 Variables de la hipótesis.....	18
1.4.1 Variables dependientes	18
1.4.2 Variables independientes	18
CAPÍTULO II.....	19
METODOLOGÍA	19
2.1 Materiales.....	19
2.1.1 Materia prima.....	19
2.1.2 Materiales de laboratorio, equipos y reactivos	20
2.2 Métodos	22
2.2.1 Análisis físico- químico de la muestra	22
2.2.2 Determinación de Iones.....	24
2.2.3 Determinación de metales por espectrofotometría visible.....	25
2.2.4 Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica (EAA).....	26
2.2.5 Determinación de isoterma de adsorción	27
2.2.6 Ajuste de la isoterma de adsorción	28
2.2.7 Determinación de coeficientes en las isotermas de adsorción.....	29
CAPÍTULO III.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
3.1 Discusión y análisis de resultados.....	30
3.1.1 Caracterización fisicoquímica del efluente.....	30
3.1.2 Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica.	32
3.1.3 Determinación de isotermas de adsorción	33

3.1.4 Modelo de isoterma de adsorción de Langmuir y de Freundlich.....	33
3.1.5 Ajuste lineal e isotermas de adsorción de cromo.....	33
3.1.6 Ajuste lineal e isotermas de adsorción de níquel.....	38
3.1.7 Ajuste lineal e isotermas de adsorción de zinc	42
3.1.8 Ajuste lineal e isotermas de adsorción de cobre.....	47
3.1.9 Capacidad de adsorción de los materiales para cada metal	51
3.2 Verificación de hipótesis.....	53
CAPÍTULO IV.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
4.1 Conclusiones	54
4.2 Recomendaciones	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas entre métodos físico-químicos para eliminación de metales pesados	12
Tabla 2. Información obtenida de las lavanderías a muestrear	19
Tabla 3. Descripción de equipos a usarse	20
Tabla 4. Descripción de materiales de laboratorio	20
Tabla 5. Descripción de materiales adsorbentes.....	21
Tabla 6. Reporte analítico de muestras de agua colectadas filtradas de la industria automotriz	30
Tabla 7. Concentraciones de As, Mn, Pb y Cd en las muestras analizadas	32
Tabla 8. Parámetros de isothermas de adsorción de cromo.....	35
Tabla 9. Parámetros de isothermas de adsorción de níquel.....	40
Tabla 10. Parámetros de isothermas de adsorción en zinc	45
Tabla 11. Parámetros de isothermas de adsorción en cobre	48
Tabla 12. Comparación de materiales adsorbentes en agua destilada	51
Tabla 13. Comparación de materiales adsorbentes en agua residual	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de sólidos totales	4
Figura 2. Tipos de isothermas de adsorción física y química.....	9
Figura 3. Estructura del carbón activado	14
Figura 4. Piedra caliza.....	15
Figura 5. Tipos de turba	16
Figura 6. Equipo y reactivo para la obtención de la DQO (Hanna instrument)	24
a) Fotómetro b) Digestor c) Reactivo	24
Figura 7. Ajuste lineal de la cantidad de cromo adsorbido vs concentración final – TURBA	33
Figura 8. Ajuste lineal de la cantidad de cromo adsorbido vs concentración final - CARBÓN ACTIVADO.....	34
Figura 9. Ajuste lineal de la cantidad de cromo adsorbido vs concentración final - PIEDRA CALIZA.....	34
Figura 10. Isotherma de adsorción Freundlich de Cr en agua destilada.....	37
Figura 11. Isotherma de adsorción Freundlich de Cr en agua residual	37
Figura 12. Ajuste lineal de la cantidad de níquel adsorbido vs concentración final - TURBA	38
Figura 13. Ajuste lineal de la cantidad de níquel adsorbido vs concentración final - CARBÓN ACTIVADO.....	39
Figura 14. Ajuste lineal de la cantidad de níquel adsorbido vs concentración final - PIEDRA CALIZA.....	39
Figura 15. Isotherma de adsorción Freundlich de Ni en agua destilada.....	41
Figura 16. Isotherma de adsorción Freundlich de Ni en agua residual	42
Figura 17. Ajuste lineal de la cantidad de zinc adsorbido vs concentración final - TURBA	43

Figura 18. Ajuste lineal de la cantidad de zinc adsorbido vs concentración final - CARBÓN ACTIVADO.....	43
Figura 19. Ajuste lineal de la cantidad de zinc adsorbido vs concentración final - PIEDRA CALIZA.....	44
Figura 20. Isoterma de adsorción Freundlich de Zn en agua destilada.....	46
Figura 21. Isoterma de adsorción Freundlich de Zn en agua residual	46
Figura 22. Ajuste lineal de la cantidad de cobre adsorbido vs concentración final - TURBA	47
Figura 23. Ajuste lineal de la cantidad de cobre adsorbido vs concentración final - CARBÓN ACTIVADO.....	47
Figura 24. Ajuste lineal de la cantidad de cobre adsorbido vs concentración final - PIEDRA CALIZA.....	48
Figura 25. Isoterma de adsorción Freundlich de Cu en agua destilada.....	50
Figura 26. Isoterma de adsorción Freundlich de Cu en agua residual.....	50

RESUMEN

La mayoría de los efluentes residuales son desechados en cuerpos hídricos sin ningún tipo de pre-tratamiento, lo que incrementa el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

El presente proyecto experimental consta de una caracterización fisicoquímica y un pre-tratamiento del efluente residual generado en varias lavanderías de autos del cantón Ambato, el cual tiene como objetivo sugerir alternativas de tratamientos para la remoción de metales presentes en el efluente, con el fin de que sea desechado de manera adecuada. Para ello, se recolectaron muestras aleatorias de las lavanderías en diferentes puntos para su posterior homogeneización, estas muestras fueron caracterizadas a través de 14 parámetros fisicoquímicos. Estos resultados fueron comparados con las normativas del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), en donde se observó que incumplen con algunos parámetros establecidos por la misma.

Por otro lado, para su pre-tratamiento con isothermas de adsorción se utilizaron soluciones con concentraciones conocidas de Cr, Ni, Cu y Zn, que fueron agregadas en diferentes tipos de materiales adsorbentes (turba, piedra caliza y carbón activado) a diferentes pesos, obteniendo un resultado de 24 muestras por cada metal que fueron analizadas por espectrofotometría posteriormente. Gracias a esto se pudo describir el comportamiento individual de cada contaminante empleado en los modelos de Langmuir y Freundlich, encontrando gran correlación en este último de acuerdo a los parámetros determinados. Una vez analizado los resultados se estableció que el grado de remoción fue superior al 90 por ciento; teniendo como mejores bioadsorbente a el carbón activo y la turba.

Palabras clave: aguas residuales, gestión ambiental, contaminación ambiental, caracterización fisicoquímica, tratamiento de aguas, adsorción, isothermas de adsorción, remoción de metales, Langmuir, Freundlich.

ABSTRACT

Most of the residual effluents are discharged into bodies of water without any type of pre-treatment, which increases the risk of contamination of surface and groundwater.

This experimental project consists of a physicochemical characterization and a pre-treatment of the residual effluent generated in several car laundries of the Ambato canton to suggest alternative treatments for the removal of metals present in the effluent, in order to be disposed of properly. For this, random samples were collected from the laundries at different points for subsequent homogenization, these samples were characterized through 14 physicochemical parameters. These results were compared with the current *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*, where it was observed that they do not comply with some parameters established by the standard.

On the other hand, for its pre-treatment with adsorption isotherms, solutions with known concentrations of Cr, Ni, Cu and Zn were used, which were added in different types of adsorbent materials (peat, limestone and activated carbon) to different weights, obtaining a result of 24 samples for each metal that were subsequently analyzed by spectrophotometry. Thanks to this, it was possible to describe the individual behavior of each pollutant used in the Langmuir and Freundlich models, finding a great correlation in the latter according to the determined parameters. Once the results were analyzed, it was established that the degree of removal of each contaminating metal was greater than 90 percent; having active carbon and peat as the best bioadsorbent.

Keywords: wastewater, environmental management, environmental pollution, physicochemical characterization, water treatment, adsorption, adsorption isotherms, metal removal, Langmuir, Freundlich.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Aguas residuales

Es aquella agua que consta de algunas características modificadas por actividades humanas y que por el cambio en su calidad necesitan un tratamiento previo para poder ser reutilizadas o para poder ser correctamente vertidas en el sistema de alcantarillado sin afectar a el medio ambiente (OEFA, 2013).

Existen varios tipos de aguas residuales de acuerdo a como se originan:

Aguas negras o servidas: Son aquellas que se originan en el hogar, en otras palabras, las que resultan de uso doméstico las cuales contienen desechos fecales y orina que provienen de inodoros por lo que son altamente contaminantes.

Aguas grises: Son aquellas que contienen residuos de materia inorgánica como jabones, detergentes que provienen de el aseo persona o de la limpieza de la casa.

Aguas blancas: Son aquellas que proviene de fenómenos naturales como lluvia, hielo y nieve pero que a su vez pueden contener contaminantes orgánicos e inorgánicos ya que son arrastrados por las calles o las alcantarillas.

Aguas residuales industriales: Como su nombre lo indica son aquellas aguas que se caracterizan por tener una composición variable ya que provienen de diferentes industrias de acuerdo a su producción, estas pueden ser lácteas, alimenticias, automotrices, etc.

Es importante mencionara que algunos autores hacen una diferencia entre aguas negras y aguas residuales, donde su principal diferencia está en que las primeras solo provienen del uso doméstico y las segundas son consideradas como una mezcla de aguas domésticas e industriales. En cualquier caso, ambas son conducidas por alcantarillas en donde pueden estar incluidas aguas de lluvia y aguas de regadío (Muñoz, 2008).

1.1.2. Aguas residuales en la industria automotriz

De acuerdo a varios estudios realizados en el año 2015, Ecuador consta con alrededor de 1668 negocios dedicados al servicio lavado de autos. En los cuales, su mayor problema es que no cuentan con un sistema de tratamiento del agua utilizada en sus procesos, en otras palabras, no tienen licencia ambiental que es una norma de calidad. Según datos de la Dirección de Higiene, Salud y Medio Ambiente, en la ciudad de Ambato existen alrededor de 148 locales industriales que contaminan el agua de los cuales el 14% corresponden a lavadoras y lubricadoras de autos (**Castillo, 2015**).

Según estudios realizados por Bonilla y Acurio en el año 2012, existen al menos 193 negocios prestadores de estos servicios de mantenimiento automotriz registrados en la zona rural y las áreas periféricas en la ciudad de Ambato desconocen el proceso de gestión.

El agua proveniente de este tipo de industria en comparación a las otras es sumamente contaminante ya que está compuesta por componentes derivados principalmente de petróleo en donde sobresalen compuestos como aceites, grasas, detergentes y tensoactivos, así como también materia orgánica los cuales son perjudiciales para la salud del ser humano y para el medio ambiente (**Baron et al., 2003**).

Los contaminantes de estas aguas tienen muchos efectos negativos que pueden ser:

- En el caso de los aceites y grasas estos afectan a su transparencia lo que la hace de un aspecto aceitoso, lo que reduce la Demanda Química de Oxígeno que imposibilita eliminar la materia orgánica que se encuentra presente.
- Por otra parte, los detergentes forman espuma lo que posibilita la creación de fosforo y nitrógeno que a su vez pueden producir algas y materia orgánica que se va acumulando lo que evitará el paso del oxígeno conforme sigue recorriendo los cauces.
- Los tensoactivos influyen en la tensión superficial ya que aumenta el número de bacterias y crea una cadena de alimentación entre microorganismos. Por último, los metales pesados como el cromo o plomo son los principales agentes perjudiciales para el medio ambiente ya que tienen efectos negativos en casi

todo lo que tocan, hasta en el ser humano lo que puede provocar graves enfermedades (**Ramalho, 2003**).

Al conocer la cantidad y calidad de efluentes generados en este tipo de industria, ha surgido la necesidad de desarrollar procesos cada vez más eficientes para el tratamiento de estas aguas residuales con la finalidad de minimizar la contaminación del efluente.

Por ende, en base al estudio realizado por Galarza Alberto bajo el tema Diseño y Construcción de un Filtro Separador de Grasa y Eliminación de Impurezas para una Lavadora Comercial de Autos, arrojo resultados interesantes en donde se observa que el agua filtrada con los materiales de piedra volcánica, cama de turba y carbón activado se obtiene una reducción de DQO de 2416 a 272 mg/l, 1752 a 371 mg/l para DBO5 y de 1041 a 42 mg/l para aceites y grasas.

En el presente proyecto de tesis se propone encontrar el mejor material adsorbente para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado y lubricado de autos mediante análisis físicos y químicos. Estudio que podría ser utilizado en la construcción de un filtro, para cumplir con las normas vigentes de agua descargada al alcantarillado.

1.1.3. Características físicas de las aguas residuales

Entre las principales características se tiene (**Metcalf, 1995**):

Color: En aguas residuales frescas el color suele ser gris pero mientras pasa el tiempo y se va descomponiendo suele volverse negra por su descomposición. Aunque su color puede variar de sus componentes químicos.

Olor: La materia orgánica descompuesta genera olores, principalmente en el agua residual fresca su olor es desagradable pero tolerable, a medida que esta se descompone su olor se vuelve insoportable dependiendo los químicos que se utilicen en determinadas industrias

Sólidos suspendidos: Son pequeñas partículas generalmente sólidas que se encuentran en suspensión en el agua como coloides y que pueden ser retenidas en un filtro de fibra de vidrio para ser secados a temperaturas de 103 a 105 °C hasta peso constante.

Temperatura: Afecta principalmente al desarrollo de la vida acuática, ya que disminuye la concentración de oxígeno en el agua lo que provoca que exista reacciones de degradación anaeróbicas de los contaminantes orgánicos que presenta, generando olores desagradables y mal aspecto al efluente.

Turbidez: Aunque este parámetro no es generalmente usado en el control de aguas residuales crudas, se lo denomina como una forma de medida para caracterizar la eficiencia del tratamiento secundario ya que puede estar relacionada con la concentración de sólidos en suspensión que se encuentran en la muestra.

Sólidos totales: Se define como la materia que se obtiene como residuo luego de un proceso de evaporación (103 – 105 °C) al que es sometido. Estos sólidos, principalmente provienen de abastecimientos de agua de uso industrial y doméstico. Suele tener una amplia clasificación, la cual se encuentra en la siguiente figura (Metcalf, 1995):

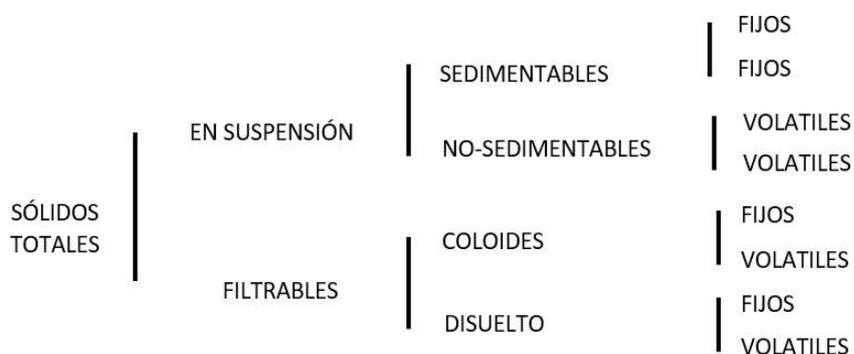


Figura 1. Clasificación de sólidos totales (Galvin,2019).

1.1.4. Características químicas de las aguas residuales

Entre las principales características se tiene (Romero, 2018):

pH: Es la medida de alcalinidad o acidez que tiene una muestra. Su medida y control tiene una gran importancia ya que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Un claro ejemplo es que si se obtiene valores extremos de pH este puede originar limitaciones en la vida acuática, llegando afectar a la flora y fauna de su alrededor.

Aceites y grasas: Entran en este grupo ya que no se descomponen de manera fácil, ya que estos deben ser atacados por ácidos minerales para lograr que se estabilicen la materia orgánica de una manera correcta

Oxígeno disuelto: Es un parámetro esencial para las formas de vida aerobias en la que se encuentran los microorganismos. La cantidad de oxígeno y de otros gases que pueden estar presentes en el fluente se limitan a los siguientes factores: solubilidad del gas, temperatura y pureza del agua.

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Es denominada como la cantidad de oxígeno necesaria para que la materia orgánica que se encuentra en la muestra se pueda degradar u oxidar, por lo general en agua residual la DQO es mayor que su DBO, esto se da debido a que sus compuestos en su mayoría se oxidan más de forma química que biológica.

1.1.5. Filtración

Es un proceso del tratamiento de aguas residuales el cual se emplea con el objetivo de conseguir la eliminación en su mayoría de los sólidos en suspensión; para esto existen diversas formas de filtración como por filtros rápidos los cuales tienen una alta carga superficial o los filtros lentos los cuales tienen una baja carga superficial, por ende, la eliminación de contaminantes se puede dar por diferentes medios, ya sean biológicos y físico-químicos. (Robles, 2011).

1.1.6. Metales pesados

Están definidos en base a sus propiedades físicas en estado sólido, los cuales son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica y ductilidad. También se los ha denominado como elementos que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión (Cornelis et al., 2007).

Los metales pesados tóxicos se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua. Entre los más conocidos son el plomo, zinc, mercurio, cadmio y talio. También se suele incluir a el arsénico ya que es considerado como un semimetal. A veces también se habla de contaminación por metales más ligeros, como el berilio o el aluminio (Olmos et al., 2012).

1.1.6.1 Métodos de eliminación de iones metálicos pesados

Estos compuestos se los pueden eliminar por métodos químicos y fisicoquímicos, el método químico más utilizados esta la precipitación, con algún reactivo que sea adecuado (**Farajzadeh & Monji, 2004**). Un ejemplo claro es la precipitación como hidróxido, la cual se da mediante la adición de NaOH, con el fin de elevar su pH hasta su punto de mínima solubilidad. Sin embargo, también existen otros métodos que pueden ser utilizados como la adsorción, filtración por membrana, intercambio iónico, electrocoagulación, coagulación-floculación, etc (**Pabón et al., 2020**).

1.1.7. Adsorción

Es un proceso fisicoquímico que se caracteriza por remover una gran variedad de contaminantes gracias a su alta capacidad de remoción, cinética rápida y el tipo de adsorbente que se seleccione. Su proceso se basa en la acumulación de partículas (adsorbatos) presentes en solución acuosa o gaseosa sobre la superficie de una interfase adecuada (adsorbente) (**Metcalf et al., 2003**).

Entre las características principales que debe tener un adsorbente para su elección están: gran área superficial, grupos funcionales, alta distribución del tamaño del poro y su polaridad (**Pabón et al., 2020**).

La cantidad de material que adsorbe en un sistema depende de la concentración del adsorbato y de la temperatura. Si esta última se mantiene constante durante todo el proceso, el grado de adsorción se puede estudiar en función de la concentración y así producir la llamada isoterma de adsorción (**Tubert, & Talanquer, 1997**).

1.1.7.1 Tipos de procesos de adsorción

Dentro de este proceso se pueden diferenciar varios tipos de sorción que van de acuerdo con la naturaleza de atracción entre moléculas del adsorbente de las del soluto (**Gebremedhin, 2002**).

En general se identifican dos tipos:

- **Adsorción física o fisisorción:** Sus moléculas se mantienen unidas a la superficie del sólido esencialmente por las fuerzas de Van Der Waals, se caracterizan por ser de baja resistencia (**Hayes & Mmbaga, 2013**)

Es un proceso no específico debido a las fuerzas que intervienen por lo que no existe una selectividad establecida entre adsorbato y adsorbente. Por lo general, los gases muy polarizables son adsorbidos más fácilmente (**Tuñón et al., 2009**).

- **Adsorción química o quimisorción:** Sus moléculas se mantienen unidas a la superficie formando un enlace covalente, lo que las hace tener una interacción más resistente (**Tuñón et al., 2009**).

Al contrario de la fisisorción esta es específica. En general, esta sorción implica una rotura y formación de enlaces, por lo que la molécula quimisorbida no mantiene su estructura de enlaces en fase gaseosa (**Tuñón et al., 2009**).

1.1.7.2 Factores influyentes en la adsorción

Existen muchos factores que influyen en este proceso ya que pertenece a la química de superficies, por lo que es importante tener el conocimiento necesario de las características de la superficie activa con la finalidad de poder modificar o mejorar sus propiedades para hacerla óptima para el proceso de adsorción. Los principales factores que influyen en este proceso son (**Ramírez, 2002**):

- pH
- Temperatura
- Área superficial
- Tamaño de poro
- Naturaleza de lo que se va a adsorber

Los poros pueden ser clasificados en base a los hechos que ocurren en su llenado; así la clasificación estándar según IUPAC 2007, se encuentran los microporos (tamaño menor a 2 nm), mesoporos (entre 2 y 50 nm) y macroporos (mayor que 50 nm) (**Vallejos-Burgos, 2008**).

1.1.8. Isotermas de adsorción

Básicamente, la capacidad de adsorción está definida en base a las isotermas de adsorción en disoluciones. Por lo general la cantidad adsorbida de un efluente por un sólido depende de la temperatura y la concentración del adsorbato en equilibrio (**Ovin Ania, 2011**).

Las isotermas se obtienen de forma experimental, al poner en contacto cantidades conocidas de adsorbente con el compuesto de interés, para después realizar una gráfica de las concentraciones resultantes de cada fase. Estos resultados pueden ser ajustados matemáticamente o en base a los modelos de isotermas que existen, relacionándolos con los datos experimentales obtenidos (**Solís, 2004**).

El modelo más sencillo denominado modelo de isoterma lineal se lo puede expresar como:

Ec (1)

$$C_s = K_D C_e$$

Siendo:

- C_s : cantidad de soluto retenido.
- K_D : coeficiente de adsorción.
- C_e : concentración de soluto en la solución acuosa en equilibrio.

Este modelo sirve solo en procesos de adsorción en los que tiene una cantidad de adsorbente baja (**Gebremedhin, 2002**).

1.1.8.1. Tipos de isotermas de adsorción

IUPAC reconoce 5 tipos de isotermas de adsorción (**Sing, et al., 1985**)

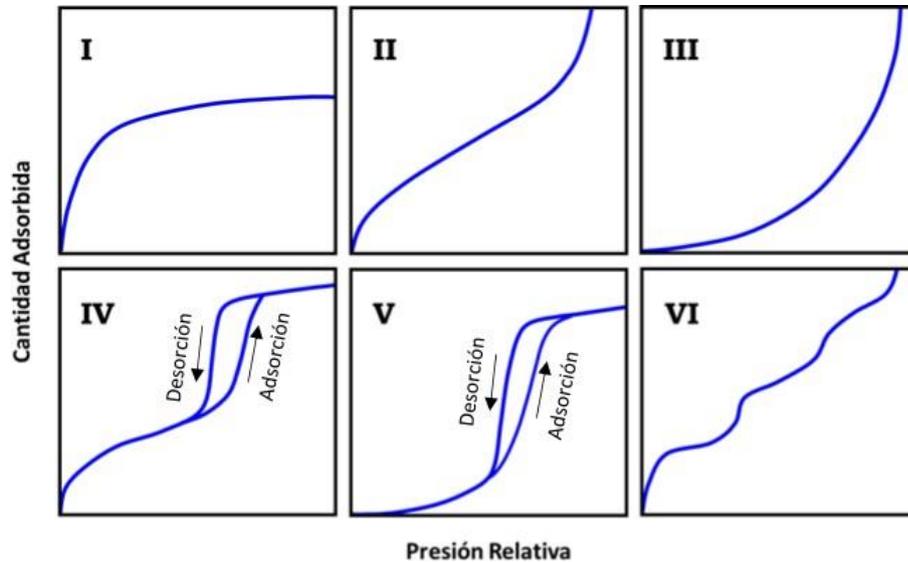


Figura 2. *Tipos de isothermas de adsorción física y química (Maron & Prutton, 1988).*

Tipo I (Tipo Langmuir)

Es el más común en los procesos porosos en donde están involucrados los microporos, el caso más típico es el de los carbones activos. Ver sección 1.8.1.2 (Latham, 2001).

Tipo II (Tipo BET)

Es característico de procesos de adsorción en sólidos no porosos o macroporosos. Este modelo se basa en la formación de varias capas de moléculas (multicapa) en la superficie, aplicándose el modelo de Langmuir a cada una. Otra de sus características es que no es necesario que se complete una capa para iniciar la siguiente (Solís, 2004).

Tipo III

Es convexa hacia el eje de las abscisas y se encuentran principalmente en el proceso de adsorción para sólidos no porosos, cuando existe poca afinidad entre adsorbato y el adsorbente, por lo que, al tener interacciones relativamente bajas, no se observa el efecto de un campo de fuerzas a bajas presiones (Morales, 2006).

Tipo IV

Su primera parte es similar a la parte de la isoterma Tipo II, pero a media presión comienza la condensación capilar en los mesoporos. Por condensación capilar se entiende como la fase final del proceso de adsorción en un sólido poroso en donde el poro queda taponado, pero si se aumenta la presión, este es empujado hacia adentro por lo que se igualan las presiones en todo el capilar, todo esto permite determinar la distribución del tamaño de poro. La sílice y la alúmina son ejemplos típicos (**Tuñón, 2009**).

Tipo V

Son raros y los más difíciles de interpretar. Los adsorbentes (aquí porosos a diferencia del Tipo III) tienen una baja afinidad por los adsorbatos y un ciclo de histéresis (las curvas de adsorción y desorción difieren) se asocia con el llenado de poros. Esto es típico de la adsorción de vapor de agua por parte del carbón a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (**Latham, 2001**).

1.1.8.2. Modelos de adsorción

Isoterma de Langmuir

Este tipo de isoterma se utiliza para describir el equilibrio entre la superficie del adsorbente y la solución como un equilibrio químico reversible entre especies. El modelo de Langmuir sugiere que cada sitio debe de ser capaz de enlazar al menos una molécula de adsorbato formando una monocapa (**Días et al., 2001**).

La ecuación puede expresarse como:

Ec (2)

$$q_e = q_m \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

Dónde:

q_e : cantidad de iones metálicos adsorbidos por unidad de masa de adsorbente sólido en el equilibrio.

C_e : concentración del ion metálico en la fase líquida en equilibrio.

q_m : capacidad de adsorción máxima.

K_L : es la constante de adsorción.

Isoterma de Freundlich

Este modelo isotérmico se usa comúnmente para procesos de adsorción en sistemas sólidos - líquidos y se basa en que la distribución de la energía de adsorción entre sitios es exponencial, es decir, existe una interacción entre las moléculas adyacentes adsorbidas, provocando la formación de muchas capas (**Crittenden, 2005**).

Es expresada por la siguiente ecuación:

Ec (3)

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

Dónde:

q_e : cantidad de ion metálico adsorbida por unidad de masa sólida en equilibrio.

C_e : concentración de iones metálicos en la solución de equilibrio.

K_F : constante de Freundlich relativa a la energía de enlace.

$1/n$: factor de la heterogeneidad de Freundlich es el grado de desviación de la linealidad de la absorción (**Pérez et al., 2014**).

1.1.9. Influencia de la precipitación e intercambio iónico en la adsorción

La adsorción puede verse afectada de manera positiva o negativa, por ciertas variables como la temperatura, pH, tamaño de partículas o simplemente por la presencia de otros iones. El pH puede ser la variable que más influencia tiene entre la adsorción y la precipitación, debido a que, en un ajuste del pH comúnmente se utiliza cal, compuesto

que también es utilizado en la precipitación de metales en forma de hidróxidos, por lo que puede verse afectado indirectamente en ciertos metales que son más solubles (Tejada-Tovar, 2015).

En cuanto al intercambio iónico, este hace que la presencia de iones que se encuentran en la disolución hace que exista una competencia con el metal en el interés de las zonas de sorción (Tejada-Tovar, 2015).

Tabla 1. *Ventajas y desventajas entre métodos físico-químicos para eliminación de metales pesados*

Método	Ventajas	Desventajas
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil proceso. • Alto nivel para eliminar metales. • Bajo costo de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los agentes orgánicos disminuyen su eficiencia. • No es selectivo. • Se necesita agentes coagulantes y floculantes. • Genera lodos con alto costo para su tratamiento.
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina metales con concentraciones bajas. • Tiene gran selectividad. • Se puede recuperar los metales por electrólisis. 	<ul style="list-style-type: none"> • En presencia de Ca, Na y Mg disminuye su rendimiento. • Hay competencia entre metales pesados y cationes. • Las resinas no son tolerantes a el cambio del pH. • La resina puede verse afectada por materia orgánica. • La solución contaminada debe ser pretratada para eliminar materiales en suspensión.
Adsorción	<ul style="list-style-type: none"> • Efectivo a concentraciones bajas de metal. • Fácil proceso. • Permite que los metales se fijen en presencia de otros cationes. 	<ul style="list-style-type: none"> • El costo del adsorbente puede ser alto. • La capacidad de adsorción depende altamente del pH. • Es necesario un pretratamiento para eliminar materiales en suspensión.

-
- Utilizado en remoción de metales pesados.
 - El adsorbente puede ser regenerado.
-

Adaptado de “*Tecnológicas*” por Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico, *18*(34), p 109-123.

1.1.10. Materiales adsorbentes

Son materiales insolubles que se utilizan para recuperar líquidos a través de mecanismos de adsorción y/o adsorción, dichos materiales atrapan y retienen líquidos a través de su estructura con un aumento de volumen, se caracterizan por la gran cantidad de poros con la que cuenta, su gran superficie de contacto y el cual presenta sitios específicos de adsorción. En general, un buen adsorbente será el que presente un área superficial grande y el que utilice menos tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción (**Hammed & El-Khaiary, 2008**).

1.1.10.1 Adsorbentes como medios filtrantes en sustancias reactivas

Generalmente la filtración a través de un medio poroso es un método que se ha utilizado a lo largo del tiempo para la eliminación de partículas que se encuentran presentes en una disolución de interés. Por ende, si se quiere utilizar un filtro en algún proceso de estos, es importante elegir el material que a va a estar incluido en el mismo mediante un preanálisis de estos adsorbentes. Muchas investigaciones han determinado un gran número de materiales adsorbentes que tienen un alto nivel de remoción de metales o contaminantes entre los que se tiene (**Díaz, 2021**):

Carbón activado

Es un material oscuro, microcristalino y no grafítico que es formado a partir de la carbonización de materiales orgánicos, comúnmente es de origen vegetal y para su preparación es sujeto a procesos de activación con gases oxidantes o a un tratamiento con adición de químicos, con el objetivo de aumentar la porosidad por lo que se

caracteriza por ser un material con alta capacidad adsorbente (Martínez & Ariza, 2010).

Este material puede presentarse de manera vegetal o mineral dependiendo del proceso al que ha sido sometido, obteniendo las dos principales formas que son:

- Carbón activado en polvo, el cual es utilizado para la purificación de efluentes en donde el carbón se distribuye en un tanque agitado y luego se separa del líquido por medio de un filtro para retener partículas finas
- Carbón activo granular con un diámetro superior a 0,01 mm el cual es utilizado para el tratamiento de agua y filtros de columna.

El carbón activo está formado por microcristales elementales que están compuestos por estructuras bidimensionales de planos hexagonales de átomos de carbono. Básicamente, es un conjunto de capas de carbono con espacio producido por los hoyos formados por el plegamiento de sus capas y esto constituye a la porosidad que presenta.

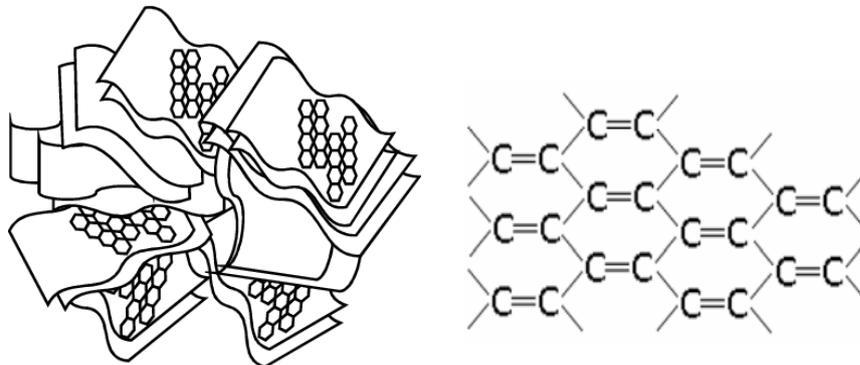


Figura 3. Estructura del carbón activado (Martínez & Ariza, 2010).

Capacidad de adsorción

Es considerado como un adsorbente muy versátil por sus características físicas como el tamaño, distribución del poro y la química superficial, parámetros que pueden ser controlados en su producción.

Este material tiene capacidad de retener en su superficie componentes como átomos, iones y moléculas que están disueltos en el efluente analizado, también tiene la capacidad de adsorber colores, olores, sabores, pesticidas herbicidas, detergentes derivados del petróleo, compuestos fenólicos y turbiedad (Sevilla, 2011).

Piedra caliza

Es una roca sedimentaria porosa de origen químico compuesto por calcita en un 50% (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca, Mg (CO}_3\text{)}$), teniendo colores claros en su mayoría. Se deriva de la cal, el carbonato de calcio y cemento es utilizado en la industria de la construcción como materia, cementantes y producción de vidrio (**Montiel & Jhomayra, 2012**).

En tratamientos químicos con aguas residuales, sus componentes como la cal otorgan algunas ventajas como el control del pH, neutralización del agua residual ácida, clarificación, floculación y coagulación de partículas coloidales. Entre los metales pesados que pueden ser removidos están el plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu), zinc (Zn), cromo (Cr), mercurio (Hg), etc (**CALCINOR, 2015**).



Figura 4. *Piedra caliza* (**CALCINOR, 2015**).

Turba

Es un material compuesto por la descomposición vegetal en condiciones de humedad y deficiencia de aire en exceso. Sus propiedades físicas y químicas varían dependiendo su origen, por lo que un suelo que contiene más del 65% de materia orgánica es considerado como turba.

Se forma en lugares que presentan grandes cantidades de agua debido a su proceso en el cual interfieren altas precipitaciones y baja evapotranspiración. Además, las condiciones de drenaje deben ser casi nulas para que la materia orgánica se oxide y se transforme en turba (**Roig & Roig, 2004**).

Propiedades de la turba

La turba es un bioadsorbente de origen biológico rico en carbono con alta capacidad de conservación y de intercambio iónico entre metales disueltos, nutrientes, sólidos suspendidos, materia orgánica, hidrocarburos, aceites y olores de productos domésticos o industriales. Su capacidad de eliminación está dada en base a su composición y reactividad química de su superficie interna **(Rúales, 2018)**.

Tipos de turba

Existen dos tipos:

Las turbas negras tienen un bajo contenido de materia orgánica y se encuentran mineralizadas, su porosidad está comprendida en un rango de 50 y 75%.

Las turbas rubias se encuentran en un bajo nivel de descomposición y contiene un mayor porcentaje de materia orgánica **(Clemenson, Brooklyn & Minn; 2001)**.



Figura 5. Tipos de turba (Clemenson, Brooklyn & Minn; 2001).

1.1.11. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

LIBRO VI ANEXO 1

El presente proyecto tiene como finalidad precautelar el medio ambiente, por tal motivo es necesario comparar los datos obtenidos experimentalmente con los bibliográficos que expone la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes.

La caracterización será analizada en base al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Anexo 1. (Ver Anexo 1).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Identificar las características fisicoquímicas de un efluente residual proveniente de la industria automotriz del cantón Ambato para un posterior pre-tratamiento por adsorción con la finalidad de remover los metales presentes.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la caracterización fisicoquímica por espectrometría del agua residual de las distintas lavanderías y lubricadoras localizadas en el cantón Ambato.
- Identificar el efecto de la matriz sobre la capacidad de adsorción de diferentes materiales adsorbentes para remover metales disueltos en agua residual de lavadoras de autos del cantón Ambato.
- Determinar el material absorbente más apropiado para la remoción de metales en el tratamiento de este tipo de efluentes.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis nula

Las características físicas y químicas de los materiales adsorbentes: carbón activo, piedra caliza y turba en efluentes residuales provenientes de la industria automotriz del cantón Ambato **NO** presentan alta capacidad de adsorción de metales para el tratamiento de aguas.

1.3.2 Hipótesis alternativa

Las características físicas y químicas de los materiales adsorbentes: carbón activo, piedra caliza y turba en efluentes residuales provenientes de la industria automotriz del cantón Ambato **SI** presentan alta capacidad de adsorción de metales para el tratamiento de aguas.

1.4 Variables de la hipótesis

1.4.1 Variables dependientes

Concentración final de los contaminantes.

Concentración final de metales pesados.

Capacidad de adsorción en base a los resultados experimentales.

1.4.2 Variables independientes

Materiales adsorbentes: carbón activado, piedra caliza y turba.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Materia prima

Muestras del efluente

Se realizó un levantamiento de información de las actividades industriales del sector automotriz específicamente de ocho lavadoras de autos debido a que en sus aguas residuales existe gran cantidad de metales pesados. Las muestras fueron colocadas en dos botellas tipo ámbar de un litro y mantenidas en refrigeración para sus respectivos análisis. Las muestras fueron filtradas previo a los análisis realizados.

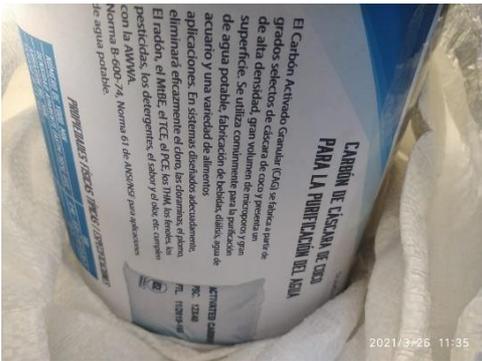
Tabla 2. Información obtenida de las lavanderías a muestrear

No.	NOMBRE	DIRECCION	COORDENADAS	
			X	Y
1	SCARLET	AV. VICTOR HUGO S/N Y ANTONIO ANTE	764652	9860117
2	CARWASH	AV. LOS ATIS Y GREGORIO ESCOBEDO	764341	9860230
3	OCTOPUS	AV. MANUELA SAENZ Y NIBRIJA	762558	9860816
4	AMBATO	AV. RUMIÑAHUI Y AV. PICHINCHA	762999	9854929
5	B & B	LA JOYA, FRENTE A JUANCHOS´S GRILL	765314	9858772
6	ZURITA	VICTOR HUGO Y MANUEL ISAIAS SANCHEZ	763666	9859944
7	BANDYS	AV. JULIO JARAMILLO Y AV. LOS CHASQUIS	764015	9858905

Botellas ámbar
 Probetas y pipetas

Kits de reactivos
 Lámpara y monocromador
 Celda de cuarzo
 Pinzas y espátulas

Tabla 5. Descripción de materiales adsorbentes

Material	Fotografía	Características
<p>Carbón activado</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Carbón granular • Fabricado a partir de cascara de coco • Utilizado en la purificación de agua potable • Elimina cloro y metales
<p>Turba</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Turba fina y canadiense • Presentación 107 litros • Turba más popular en el mercado

Piedra caliza



- Color marfil
- Permeable
- Aspecto poroso
- Compuesta por calcio

2.1.2.3 Reactivos

- Cloruro de cobre (II) (CuCl_2)
- Cloruro de zinc (ZnCl_2)
- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- Cloruro de níquel (II) (NiCl_2)

2.2 Métodos

2.2.1 Análisis físico- químico de la muestra

Potencial hidrógeno pH

El potencial de hidrógeno es el logaritmo negativo en décadas del valor numérico de la actividad molar de los iones hidrógeno a H^+ .

Para realizar mediciones de pH directas se utilizó un pH metro, Mettler Toledo, siguiendo el procedimiento descrito en el protocolo para análisis, basado en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22 Ed.* (APHA,2017).

Conductividad

Es de suma importancia conocer una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica.

Las mediciones de conductividad se realizaron con el equipo pH metro, Mettler Toledo, e siguiendo el procedimiento descrito en el protocolo para análisis, basado en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22 Ed* (**APHA, 2017**).

Sólidos totales disueltos

Cuando una muestra se encuentra bien mezclada, esta se evapora en una cápsula secada a peso constante en una estufa a 103 - 105 °C; el incremento de peso de la cápsula vacía representa el residuo total. En su preferencia realizar este parámetro en un horno de secado a 103° ± 2. Marca Fisher Scientific

Su procedimiento fue en base a:

Laboratorio: método (APHA- 2540D, 2011)

Turbiedad

Este método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en las condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por la suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones. Normalmente este parámetro es medido con el turbidímetro portátil Modelo 2020we.

Laboratorio: método (APHA-2130 B, 2011).

Demanda química de oxígeno (DQO)

El DQO se determinó utilizando el método adaptado USEPA 410.4 *approved method for the COD determination on surface waters and wastewaters*, implementado en el fotómetro multiparamétrico HI 83399, en base al siguiente procedimiento:

- Tomar una muestra homogénea, esta muestra debe contener sólidos capaces de sedimentarse se deben homogeneizar con un mezclador.
- Preparar el reactor Hanna® HI 839800 a 150 °C (302 °F).

Es recomendable NO USAR UN HORNO O MICROONDAS ya que las muestras que presenten fugas o goteos pueden generar una atmósfera corrosiva y posiblemente explosiva.

Puede causar interferencias cuando el Cloro (Cl^-) es mayor de 2000 mg/L, por lo que es necesario diluir las muestras con mayor concentración de cloruro (O'Dell,1993).



Figura 6. Equipo y reactivo para la obtención de la DQO (Hanna instrument)

a) Fotómetro b) Digestor c) Reactivo

2.2.2 Determinación de Iones

Nitrato

En este método el nitrato se reduce a nitrito (NO_2^-) al pasar la muestra a través de una columna de cadmio recubierta de cobre. El nitrito fue determinado mediante la formación de un compuesto rojo por la reacción con sulfanilamida diazotada y N-(1-naftil)-etilendiamina dihidrocloro (NED dihidrocloro).

Laboratorio: método (Adaptado del método de reducción de cadmio).

Amonio

El amoníaco reacciona con reactivos en una solución básica para formar un compuesto amarillo. La absorbancia que resulta de esta coloración es proporcional a la concentración de nitrógeno amoniacal presente en la muestra acuosa.

Laboratorio: método (Adaptado de *ASTM Manual of Water and Environmental Technology, D1426, Nessler method*) (**HANNA, 2021**).

Fosfato

Este método se determinó en base a la formación de un heteropoliácido con el reactivo vanado-molíbico (de color amarillo y soluble en agua) cuya absorción de luz se mide a 420 nm.

Laboratorio: método (Adaptado de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition, Amino Acid method*) (**APHA, 2017**).

Sulfatos

El método propuesto para determinar sulfatos se basa en la formación de un heteropoliácido con vanado-molíbico como reactivo (color amarillo y soluble en agua) cuya absorción de luz se mide a 420 nm.

Laboratorio: método (El sulfato se precipita con cristales de cloruro de bario).

Cloruro

Cuando hay partículas presentes, la muestra debe filtrarse o centrifugarse antes a la determinación.

El cloruro de la muestra reacciona con el tiocianato de mercurio para formar cloruro de mercurio y liberar el ion tiocianato. Los iones de tiocianato reaccionan con los iones férricos para formar un complejo de tiocianato férrico de color naranja, su cantidad es proporcional a la concentración de cloruro.

Laboratorio: método (Adaptado del *mercury (II) thiocyanate method*) (**HANNA, 2021**).

2.2.3 Determinación de metales por espectrofotometría visible

Los metales pesados que se analizaron fueron los siguientes: cromo (Cr), zinc (Zn), cobre (Cu) y níquel (Ni)

Los análisis de estos metales fueron analizados utilizando el fotómetro multiparamétrico HI 83399 en base a los siguientes métodos:

(HANNA, 2021).

Cr: La muestra se hace reaccionar con una solución ácida de difenilcarbohidrazida. El cromo hexavalente reacciona selectivamente con este reactivo para formar el característico complejo de color violeta

Adaptado de *ASTM Manual of Water and Environmental Technology, D1687, Diphenylcarbohydrazide method (HANNA, 2021).*

Zn: El zinc forma un complejo azul con 2-carboxi-2'-hidroxi-5'-sulfoformazil benceno (zincon) en una solución tamponada a pH 9.

Adaptado de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition, Zincon method (APHA, 2017).*

Cu: Adaptado de *EPA method (HANNA, 2021).*

Ni: Adaptado de *photometric method (HANNA, 2021).*

2.2.4 Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica (EAA)

Determinación de As (EAA)

Como parte de los análisis realizados, para la cuantificación de arsénico, se construyó una curva de calibración de concentración de 0,25,50,100 y 150 mg/L. En Anexo 2 se muestra la curva de calibración obtenida para el arsénico, la ecuación de la recta y el valor del coeficiente correlación lineal R^2 (PG instruments, 2021).

Determinación de Mn (EAA)

Como parte de los análisis realizados, para la cuantificación de manganeso, se construyó una curva de calibración de concentración de 0,1,10, 25,50 y 100 mg/L. En Anexo 2 se muestra la curva de calibración obtenida para el manganeso, la ecuación de la recta y el valor del coeficiente correlación lineal R^2 (PG instruments, 2021).

Determinación de Pb (EAA)

Como parte de los análisis realizados, para la cuantificación de plomo, se construyó una curva de calibración de concentración de 0,10, 25,50,100 y 200 mg/L. En Anexo 2 se muestra la curva de calibración obtenida para el plomo, la ecuación de la recta y el valor del coeficiente correlación lineal R^2 (PG instruments, 2021).

Determinación de Cd (EAA)

Como parte de los análisis realizados, para la cuantificación de cadmio, se construyó una curva de calibración de concentración de 0,1,5,10,20 y 50 mg/L. En Anexo 2 se muestra la curva de calibración obtenida para el cadmio, la ecuación de la recta y el valor del coeficiente correlación lineal R^2 (PG instruments, 2021).

R^2 indica que el modelo ajustado el cual explica el 99.32 % (As); 99.79 % (Mn); 99.95 % (Pb) y el 99.82 % (Cd) de la variabilidad en la absorbancia. El coeficiente de correlación indica que hay una relación relativamente fuerte entre la absorbancia y la concentración. Por tanto, se considera que no existen diferencias apreciables entre los valores experimentales de absorbancia obtenidos y los puntos de concentración de la curva; por tanto, se puede afirmar que la linealidad es adecuada y se cumple la ley de Bouguer-Lambert-Beer.

2.2.5 Determinación de isoterma de adsorción

- Para el análisis de metales en la determinación de isotermas se utilizó el fotómetro multiparamétrico en base al siguiente procedimiento:

Preparar 12 litros de soluciones de iones metálicos según las siguientes indicaciones:

Volumen	Compuesto	Peso Mol. (g/mol)	Cantidad (mg)	Metal	Concentración mg(metal)/l	PH a ajustar
3 litros	CuCl ₂ * 2H ₂ O	170.48	80.5	Cu	10	6
3 litros	ZnCl ₂	136.30	312.7	Zn	50	6
3 litros	KrCr ₂ O ₇	294.18	42	Cr	5	6
3 litros	NiCl ₂ * 6H ₂ O	237.69	243	Ni	20	6

1. Añadir en alícuotas de 100 mL las siguientes cantidades de material adsorbente: 0.05 g / 0.10 g / 0.20 g / 0.30 g / 0.50 g / 0.80 g / 1.00 g / 2.00 g
2. Ajustar pH de la solución a pH 7
3. Agitar y dejar bajo obscuridad durante 7 días
4. Filtrar el material de interés
5. Medir la concentración residual de cada contaminante en la solución
6. Repetir este procedimiento para cada material adsorbente: (piedra caliza / carbón activado / turba).

2.2.6 Ajuste de la isoterma de adsorción

Para un ajuste en las isotermas se determinó la cantidad de contaminante adsorbido en el material adsorbente, q , en $\text{mg}_{\text{contaminante}}/\text{g}_{\text{material adsorbente}}$, aplicando balance de masa según la siguiente ecuación:

Ec (4)

$$q = \frac{V (c_o - c_f)}{M}$$

Donde V es el volumen de la muestra de agua, M es la cantidad de adsorbente utilizado y c_o y c_f son las concentraciones iniciales y f final del contaminante (AWWA, 2002).

2.2.7 Determinación de coeficientes en las isotermas de adsorción

Para la determinar los parámetros necesarios de las isotermas, se siguió el siguiente proceso:

Para Langmuir:

1. Obtener el inverso del valor de la concentración obtenida experimentalmente en todos los puntos ($1/c_f$).
2. Obtener el inverso de los valores obtenidos de metal absorbido en todos los puntos ($1/q$).
3. Realizar una gráfica de regresión lineal ($1/c_f$ vs $1/q$).
4. Con la ecuación obtenida de la gráfica lineal, encontrar la concentración máxima y la constante en equilibrio en base a la Ec (2).

Para Freundlich:

1. Obtener el logaritmo decimal de la concentración obtenida experimentalmente en todos los puntos ($\log c_f$).
2. Obtener el logaritmo decimal de los valores obtenidos de metal absorbido en todos los puntos ($\log q$).
3. Realizar una gráfica de regresión lineal ($\log c_f$ vs $\log q$).
4. Con la ecuación obtenida de la gráfica lineal, encontrar la capacidad de adsorción y la intensidad de adsorción en base a la Ec (3).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Discusión y análisis de resultados

3.1.1 Caracterización fisicoquímica del efluente

Luego de evaluar los distintos parámetros anteriormente mencionados, los resultados fueron descritos en la Tabla 6, en donde consta los valores analíticos por triplicado de cada muestra de agua analizada. En el caso de tener valor mínimos o máximos del límite de detección se procedió hacer diluciones para posteriormente ajustarlo a la concentración inicial de la muestra. El límite máximo permisible es el establecido por Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA, en la TABLA 8. Límites de descarga a el sistema de alcantarilla público. del Libro VI Anexo 1.

Tabla 6. *Reporte analítico de muestras de agua colectadas filtradas de la industria automotriz*

Parámetro	Unidad	Primera medición	Segunda medición	Tercera medición	Promedio	Límite máximo permisible (TABLA 8 DEL LIBRO VI ANEXO 1 TULSMA)
pH	-	7.47	7.27	7.32	7.35	5-9
Conductividad	$\mu\text{S cm}^{-1}$	712.9	700.5	708.5	707.3	-
Turbidez	NTU	7.82	7.42	7.30	225	-
Nitrato, $\text{NO}_3\text{-N}$	mg L^{-1}	11.8	12.8	13.7	12.8	-
Sulfato, SO_4^{-2}	mg L^{-1}	49	25	39	38	400
Fosfato, PO_4^{-3}	mg L^{-1}	13.6	13.2	13.8	13.6	-
Hierro, Fe	mg L^{-1}	1.80	1.69	1.68	1.72	25
Amonio, NH_4	mg L^{-1}	4.73	4.65	4.67	4.68	-
Cloruro, Cl	mg L^{-1}	1080	1020	1020	1040	-
Cromo, Cr^{+6}	$\mu\text{g L}^{-1}$	112	102	122	112	500
Zinc, Zn	mg L^{-1}	1.3	1.2	1.5	1.3	10
Cobre, Cu	mg L^{-1}	0.77	0.78	0.70	0.78	1.0
Níquel, Ni	mg L^{-1}	0.21	0.20	0.17	0.19	2.0

Demanda química de oxígeno, DQO rango medio	mg L ⁻¹	825	807	-	816	500
*Sólidos Totales	mg L ⁻¹	1682	1642	-	1662	1600
*Sólidos Suspendidos	mg L ⁻¹	1003	1075	1400	1159	220

Los resultados obtenidos del análisis del efluente residual indican que existe contaminación, específicamente en los parámetros de: DQO, sólidos totales y sólidos suspendidos con valores de 816, 1662 y 1159 respectivamente. Los mismos, que incumplen la normativa técnica de descarga a un cuerpo de agua dulce del Libro VI Anexo 1 (TULSMA) por tal motivo es necesario realizar un pre- tratamiento para eliminar estas incorrecciones.

El nivel de turbiedad fue de 224 NTU un valor superior al reportado por Sánchez (2008) que fue de 174 NTU esto se debe a que la muestra presentaba gran cantidad de material particulado inorgánico y orgánico como se refleja también en el valor de su DQO.

La presencia de ion nitrato proviene del uso de agentes de limpieza utilizados en la industria. Por otro lado, la concentración de cloruro puede favorecer a la corrosión de metales y tuberías lo que cambia las propiedades organolépticas del agua (**Severiche & González, 2012**).

Con los resultados obtenidos de los sólidos totales y suspendidos se puede interpretar que, durante el proceso de lavado, el flujo de agua generado arrastra partículas metálicas u orgánicas utilizadas en otros procesos lo que genera contaminantes tóxicos aparte de pequeñas partículas las cuales no solo afectan a la calidad del agua, sino que también pueden ser responsables de daños en la flora y fauna.

Para determinar la presencia de metales pesados como cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) y zinc (Zn) se utilizó espectrofotometría UV-VIS, que al momento de evaluar los resultados se observa que, aunque estos no excedan los límites máximos permisibles establecidos por la norma, se acercan mucho a el rango límite permisible

(en algunos casos), por lo que es necesario removerlos para evitar cualquier tipo de inconvenientes en sus descargas.

3.1.2 Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica

Algunos de los metales presentes en el efluente fueron analizados por EAA con la finalidad de obtener mayor exactitud en sus concentraciones. Cada metal fue analizado por separado de forma triplicada para mayor confiabilidad.

Tabla 7. Concentraciones de As, Mn, Pb y Cd en las muestras analizadas

Metal	Mediana	FD	Concentración (ppb)	Concentración (ppm)	Límite máximo permisible
Arsénico (As)	0.020	-	1.90	0.00190	0.1 mg/l
Manganeso (Mn)	0.611	2	110	0.110	2 mg/l
Plomo (Pb)	0.013	-	1.19	0.00120	0.2 mg/l
Cadmio (Cd)	0.141	-	3.62	0.0036	0.02 mg/l

Los resultados que se muestra en la TABLA 7, indican que ningún metal excede los límites permisibles de la norma, sin embargo, hay presencia de estos, aunque en menor cantidad en relación con los mencionados con anterioridad. Pese a todo esto, es necesario tener precaución con estos elementos ya que pueden causar daños ambientales o a la salud si no se da un mejor manejo de estos.

3.1.3 Determinación de isothermas de adsorción

Las investigaciones sobre la cinética de adsorción son importantes en el tratamiento de aguas residuales acuosas, ya que proporciona información valiosa sobre el mecanismo del proceso de adsorción (Bergmann, 2015). El análisis estadístico utilizado para la interpretación de resultados y la evaluación del proceso para la determinación de los parámetros de equilibrio y cinética de adsorción fueron analizados por métodos lineales y no lineales de acuerdo a la ecuación descritas en el modelo isoterma Langmuir and Freundlich, haciendo uso del Programa Microsoft Excel.

3.1.4 Modelo de isoterma de adsorción de Langmuir y de Freundlich

Con los resultados experimentales se determinaron parámetros de los diferentes modelos utilizando el programa digital EXCEL y las ecuaciones (1,2,3 y 4). En las siguientes figuras se presenta un análisis gráfico de los datos obtenidos tanto en agua destilada como en agua residual.

3.1.5 Ajuste lineal e isothermas de adsorción de cromo

Figura 7. Ajuste lineal de la cantidad de cromo adsorbido vs concentración final – TURBA

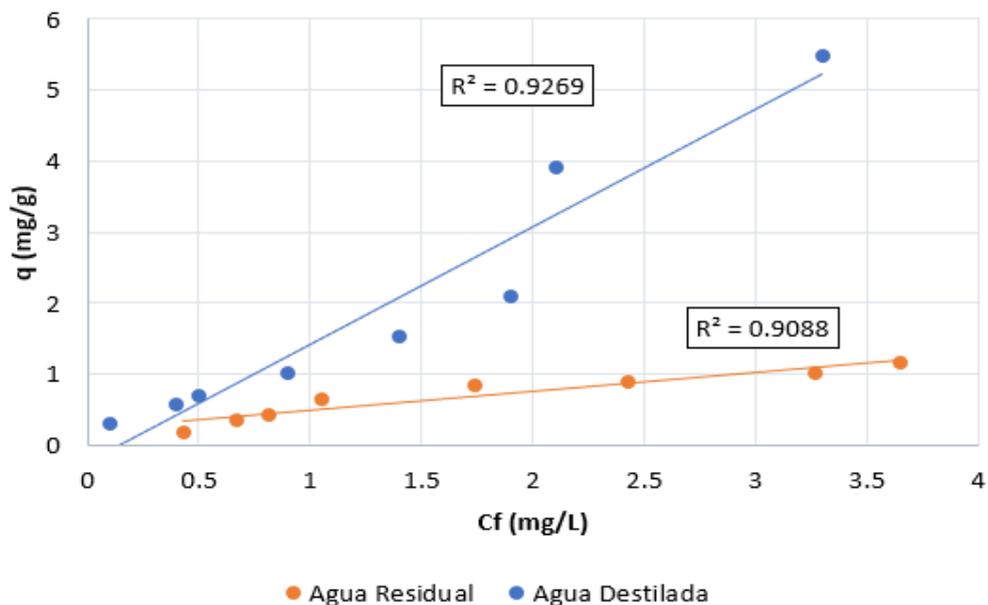


Figura 8. Ajuste lineal de la cantidad de cromo adsorbido vs concentración final -CARBÓN ACTIVADO

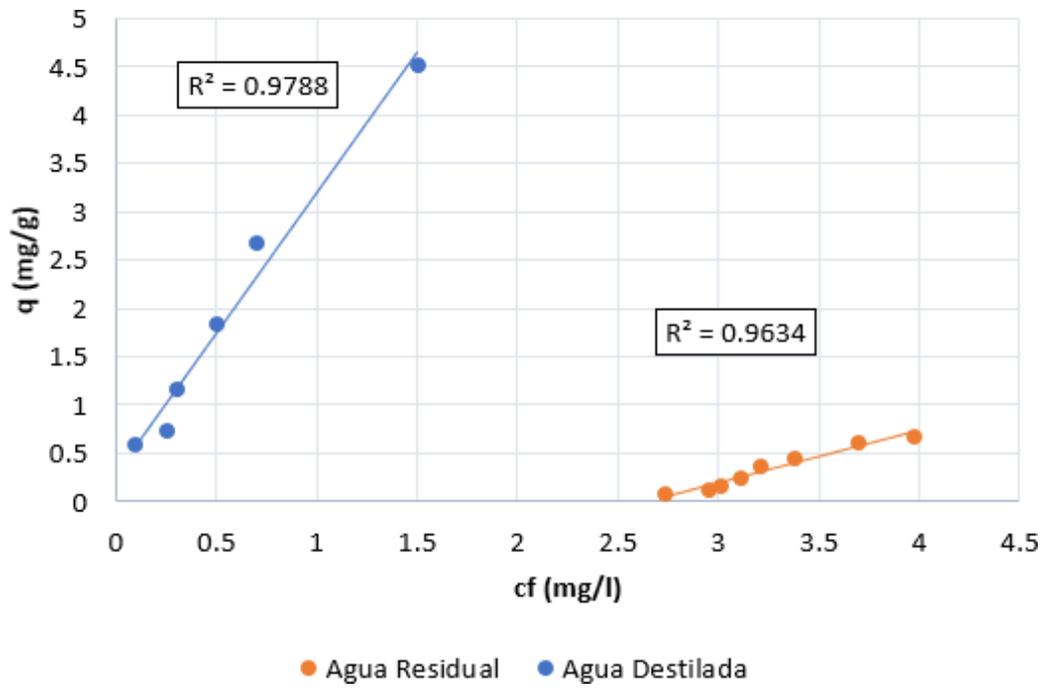
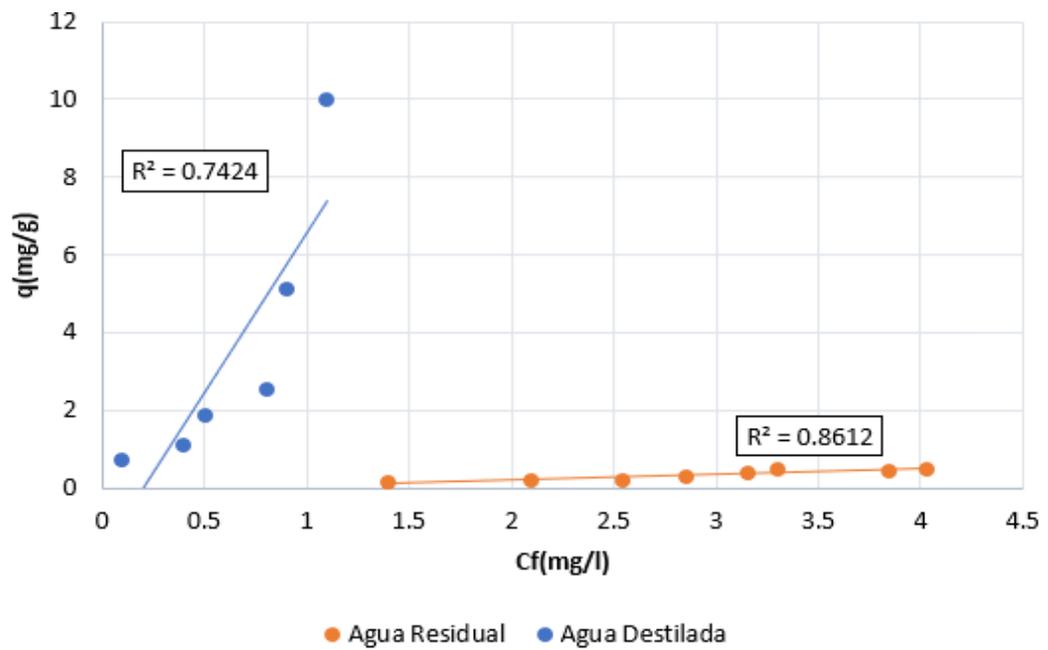


Figura 9. Ajuste lineal de la cantidad de cromo adsorbido vs concentración final -PIEDRA CALIZA



En los ajustes lineales de cromo en los diferentes materiales, se observó que el efecto de adsorción de la matriz es superior a la del agua residual, debido a que es una adsorción simple, mientras que para la adsorción competitiva se observa que no existe diferencia significativa al aumentar su concentración. En los tres materiales, la cantidad de metal no adsorbe más de 2 mg/g, valores que fueron comparados para carbón activado, con el estudio realizado por Sánchez *et al.* (2013), en la cual arroja una cantidad adsorbida de 3 mg/g a concentración de 4mg/l, en cuanto a la cantidad de cromo adsorbida en piedra caliza, esta es semejante a la investigación realizada por Ruiz (2018), la cual hace una comparación de adsorbancia en diferentes tipos de piedras calizas, obteniéndose un valor máximo de adsorbancia de 0.9 mg/l similar a lo obtenido en la Figura 9. Por último, la turba fue comparada por un estudio de adsorción de cromo a partir de materia orgánica dando como resultado que, a concentraciones menores de 10 ppm, la cantidad de adsorción no supera los 10 mg/g, lo que se asemeja a lo obtenido.

Tabla 8. *Parámetros de isotermas de adsorción de cromo*

Solución utilizada	Material adsorbente	Modelo Langmuir			Modelo Freundlich		
		q máx. mg/g	K_L L/mg	R^2	K_F mg/g	n	R^2
	carbón activado	4.521	1.341	0.919	3.586	1.109	0.999
Agua destilada	turba	2.200	0.312	0.961	1.460	1.194	0.996
	piedra caliza	4.466	1.883	0.921	4.692	1.048	0.999

	carbón activado	-0.041	-0.259	0.758	0.00022	0.165	0.940
Agua residual	turba	9.381	0.053	0.998	0.474	1.320	0.997
	pedra caliza	-0.029	-0.216	0.900	0.00035	0.222	0.832

Los resultados obtenidos para el ajuste de Langmuir muestran valores de (q máx.) y (K_L) relativamente altos para turba en agua residual, mientras que en el agua destilada actúa de forma más eficiente el carbón activado y la piedra caliza (ver Tabla 8). Estos datos fueron comparados a los reportados por Sánchez *et al.*, (2013) con 3.44 mg/g mostrando que existió eficiencia en lo reportado experimentalmente. Sin embargo, el modelo de Freundlich es el que más se ajusta a los datos experimentales obtenidos, esto se lo puede evidenciar en sus factores de correlación (R^2) que oscilan entre 0.940 y 0.999 en las dos soluciones, inclinándolos a una tendencia más lineal.

Al analizar a detalle la Tabla 8, se observa que la turba es el material adsorbente más eficaz en el agua residual analizada, ya que presenta una capacidad de adsorción de 0.474 con un porcentaje de remoción de 90.04 %, que al ser comparada con los resultados reportados por Cócheres *et al.* (2018) con 93.47% se comprobó que existió una alta eficacia. Por otro lado, en el agua destilada se observa que la turba incrementa moderadamente su capacidad de adsorción, pero fue superada por los otros adsorbentes debido a que existió una adsorción no competitiva por lo que hubo mejor adsorción de todos los materiales y esto se lo puede observar en la Figura 10 – 11 respectivamente.

Figura 10. Isoterma de adsorción Freundlich de Cr en agua destilada

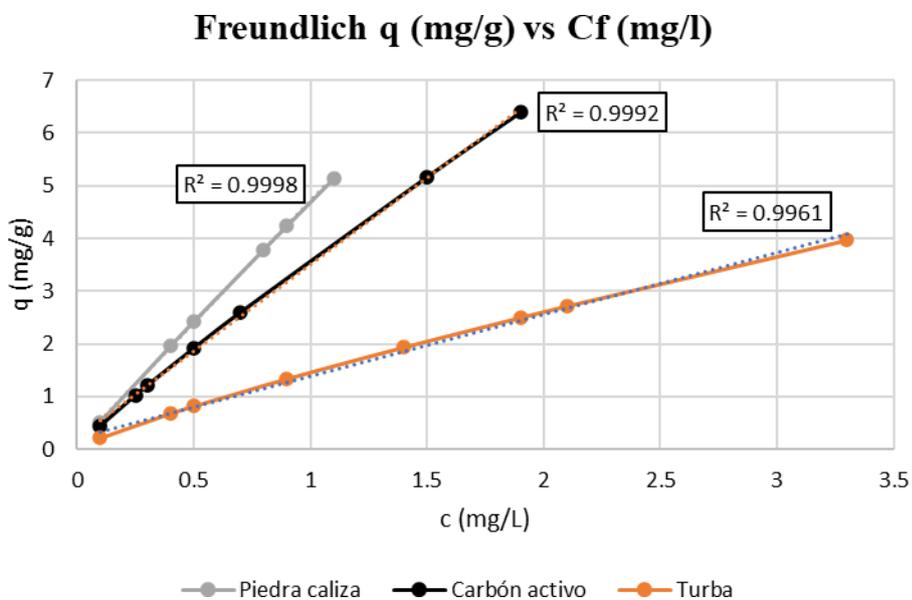
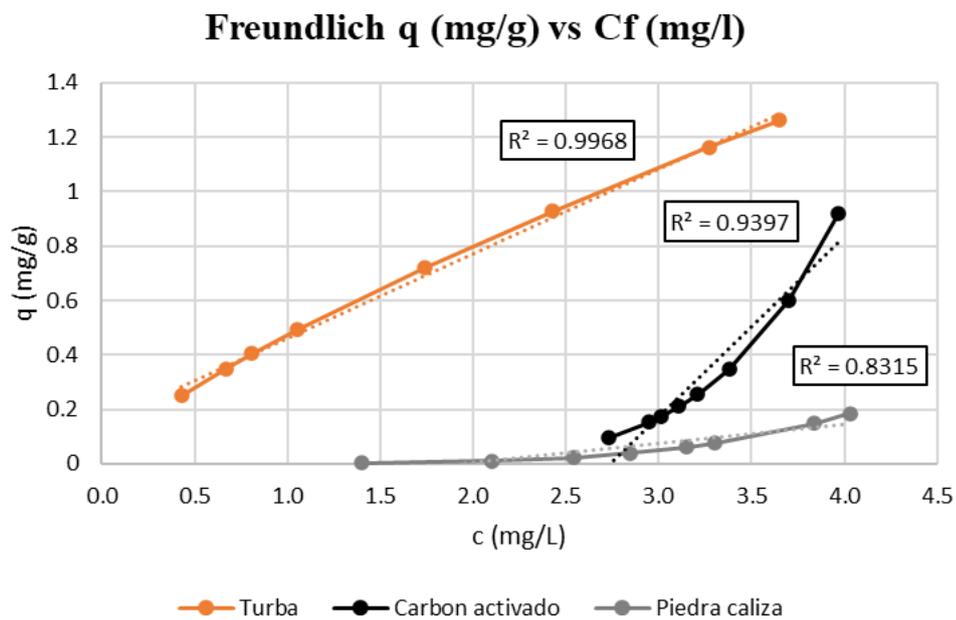


Figura 11. Isoterma de adsorción Freundlich de Cr en agua residual



Los resultados gráficos obtenidos reflejan que existió mayor cantidad de metal adsorbido en la matriz de agua destilada, esto podría deberse a el ajuste de pH que se hizo y a la adsorbancia no competitiva que está presente, lo que permitiría que haya mejor correlación entre los aniones con el material adsorbente originando altos índices de adsorbancia. Esto se lo puede corroborar en el estudio realizado por Tovar et al., (2015) el cual revela que, para la adsorción de metales pesados en efluentes, el pH interfiere de manera directa debido a la presencia de iones de hidrógeno lo que hace que en un pH mayor a 4 la adsorción de cationes aumenta mientras que a pH de 1 a 4 la adsorción favorece a los aniones como el dicromato en este caso.

3.1.6 Ajuste lineal e isothermas de adsorción de níquel

Figura 12. Ajuste lineal de la cantidad de níquel adsorbido vs concentración final -TURBA

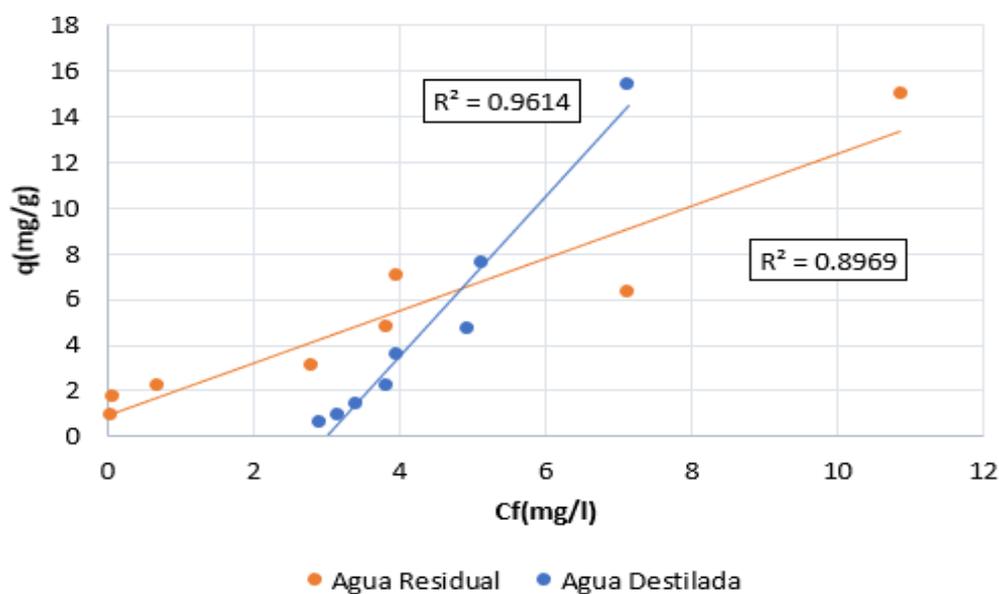


Figura 13. Ajuste lineal de la cantidad de níquel adsorbido vs concentración final -CARBÓN ACTIVADO

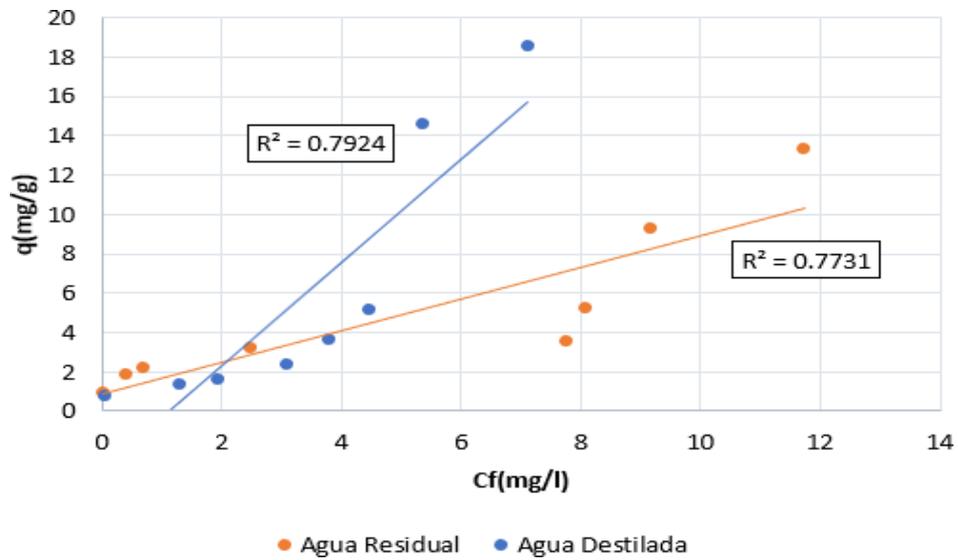
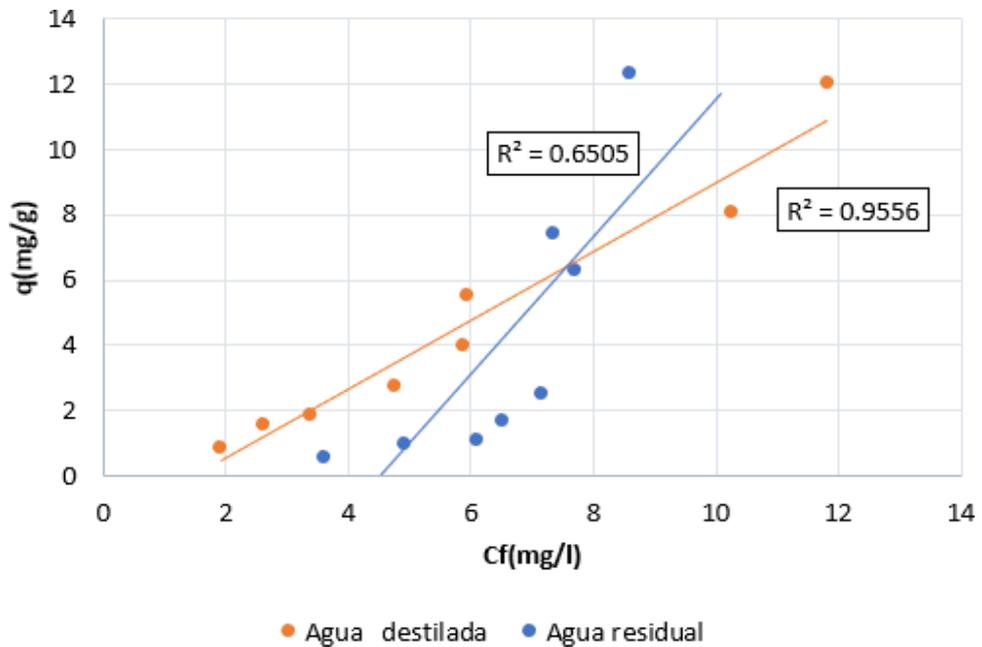


Figura 14. Ajuste lineal de la cantidad de níquel adsorbido vs concentración final -PIEDRA CALIZA



Para el caso de níquel, las tendencias lineales para cada material fueron variables. En el caso de la turba se obtuvo que, a concentraciones inferiores a 5 ppm, no existía una diferencia clara de adsorción entre la matriz y el agua residual, esta diferencia es más clara a partir de los 6 mg/l, esto se lo puede asociar a el estudio realizado por Díaz et al., (2017), en donde al hacer una comparación de agua sintética con la residual, se logró observar que las concentraciones interfieren de manera directa a las diferencias

significativas de los metales, ya que en este estudio se comienza a ver diferencia significativa a partir de los 6 mg/l en concentración y un rango de 5 a 10 mg/g en la cantidad de metal adsorbido lo que concuerda en lo obtenido en la Figura 12. En cuanto al carbón activado, se observó que la diferencia de adsorción se comienza a ver a partir de los 2 ppm, lo que se le puede asociar a lo descrito por Rodríguez et al., (2010) que otorga un alto nivel de adsorción a partir de los 20 mg/l para cualquier solución, esto explicaría por qué su diferencia significativa empieza desde los 6 ppm en carbón activado. En el caso de la piedra caliza sucede algo parecido, debido a que varios estudios resaltan que su significancia comienza a partir de los 10 ppm.

Tabla 9. *Parámetros de isotermas de adsorción de níquel*

Solución utilizada	Material adsorbente	Modelo Langmuir			Modelo Freundlich		
		q máx. mg/g	K_L L/mg	R^2	K_F mg/g	n	R^2
	carbón activado	-19.305	-0.046	0.988	0.596	0.321	0.979
Agua destilada	turba	-1.698	-0.120	0.852	0.030	0.320	0.934
	piedra caliza	-1.006	-0.099	0.829	0.081	0.619	0.914
	carbón activado	-0.041	-0.259	0.758	0.00022	0.165	0.974
Agua residual	turba	8.292	0.496	0.764	3.337	2.516	0.887
	piedra caliza	-6.083	-0.068	0.884	0.360	0.717	0.993

Los resultados del ajuste mostraron que en el modelo de Langmuir se obtuvo valores negativos en las dos soluciones para la mayoría de materiales, lo que carece de significado, por lo que este modelo no se acepta, a su vez también se observa que existe muy poco ajuste, siendo el valor mínimo de 0.758 que pertenece al carbón activado en agua residual.

En el modelo de Freundlich, los valores de coeficiente de correlación R^2 obtenidos mostraron superioridad a los reportados por Langmuir, lo que indica una tendencia más lineal, correlacionándolo de manera satisfactoria a los datos de isothermas obtenidos experimentalmente. A su vez como se observa en la Tabla 9, la afinidad de adsorción no es muy favorable ya que están por debajo de la unidad, en cuanto a los valores de K_F oscilaron entre 0.030 a 3.337; siendo mayor la turba en agua residual y el carbón activado en agua destilada. Según Martínez et al., (2012) la alta capacidad de adsorción de Ni en agua residual se da porque es un tipo de turba superficial, por ende, presenta alto contenido de grupos funcionales y con una gran área superficial, lo que hace que haya una mayor capacidad de adsorción hacia los metales especialmente cationes.

Figura 15. *Isoterma de adsorción Freundlich de Ni en agua destilada*

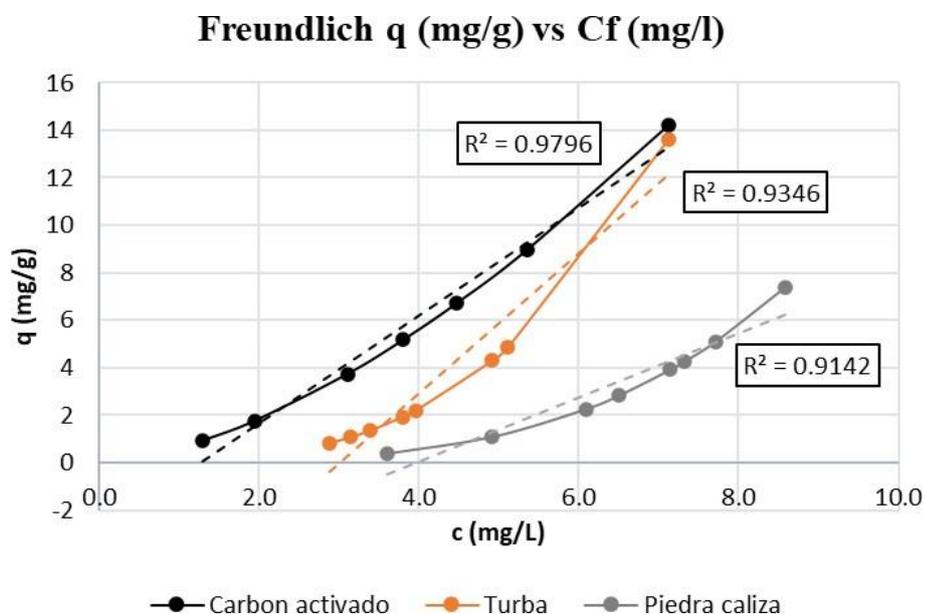
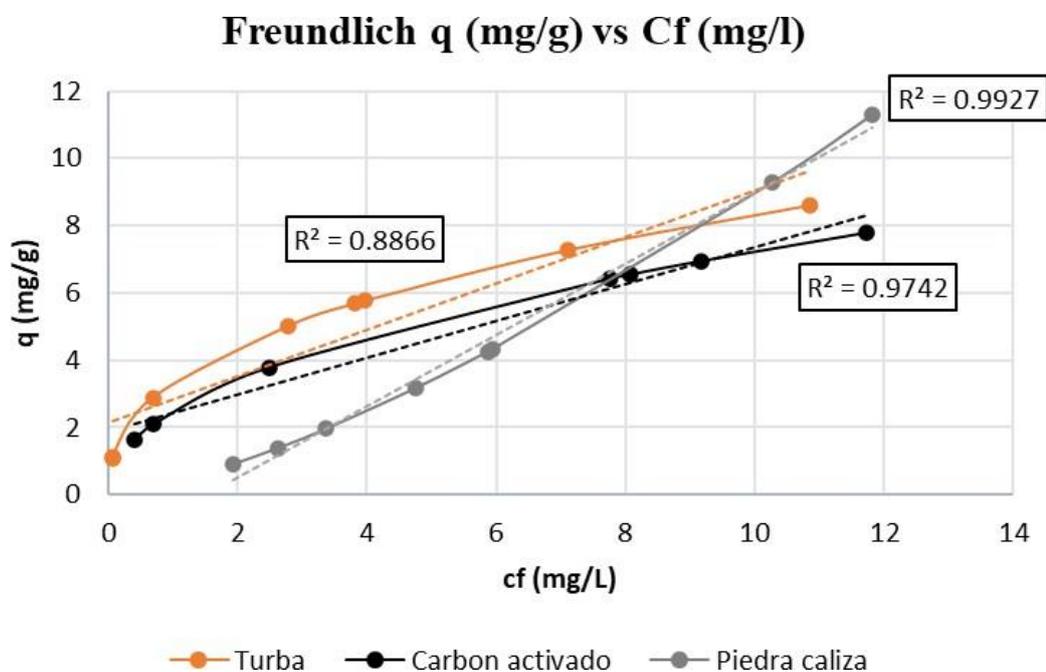


Figura 16. Isoterma de adsorción Freundlich de Ni en agua residual



Como era lógico, la mayor cantidad de adsorción se dio en la matriz con el carbón activado seguido de la turba, esta ligera superioridad se debe a que el carbono activado ha presentado mayor capacidad de absorción en aguas con pH ácidos. De acuerdo con el estudio realizado por Penedo (2015) el modelo de Freundlich arrojó resultados donde la intensidad de la adsorción de carbón activado en el níquel, es considerada favorable para pH de entre 3 a 5, lo que sería aceptable ya que esta solución contaba con un pH de aproximadamente 6 lo que la hace más propensa a que sus contaminantes sean adsorbidos de forma superior.

3.1.7 Ajuste lineal e isothermas de adsorción de zinc

Figura 17. Ajuste lineal de la cantidad de zinc adsorbido vs concentración final -TURBA

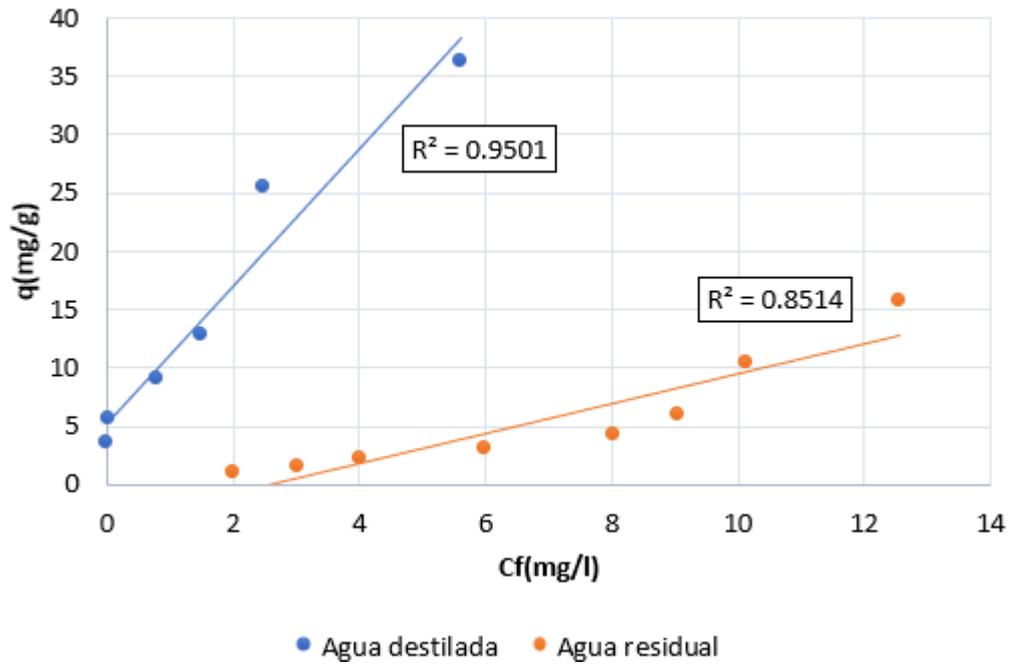


Figura 18. Ajuste lineal de la cantidad de zinc adsorbido vs concentración final -CARBÓN ACTIVADO

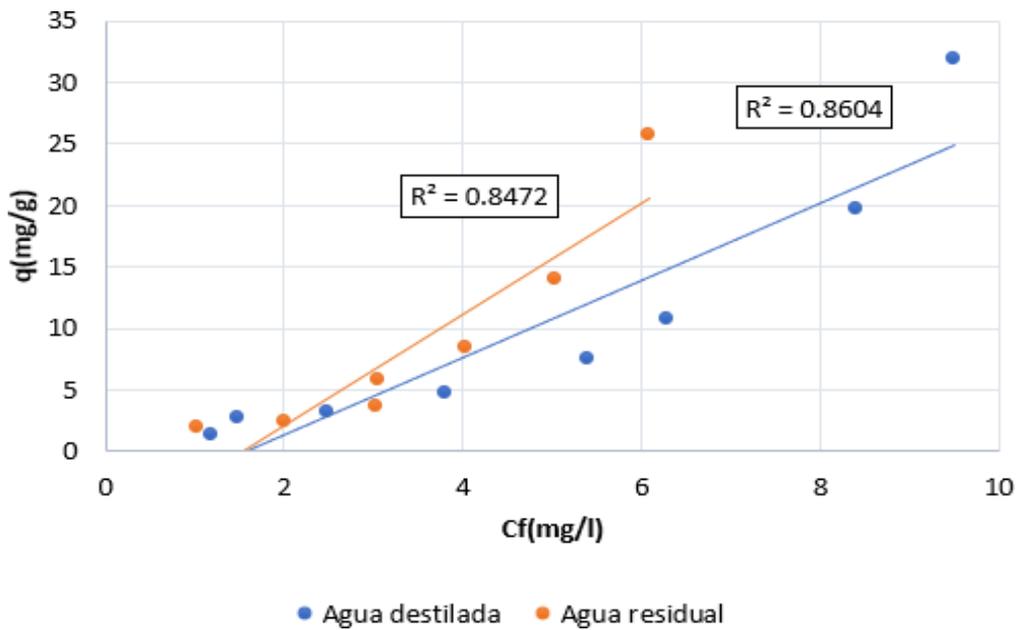
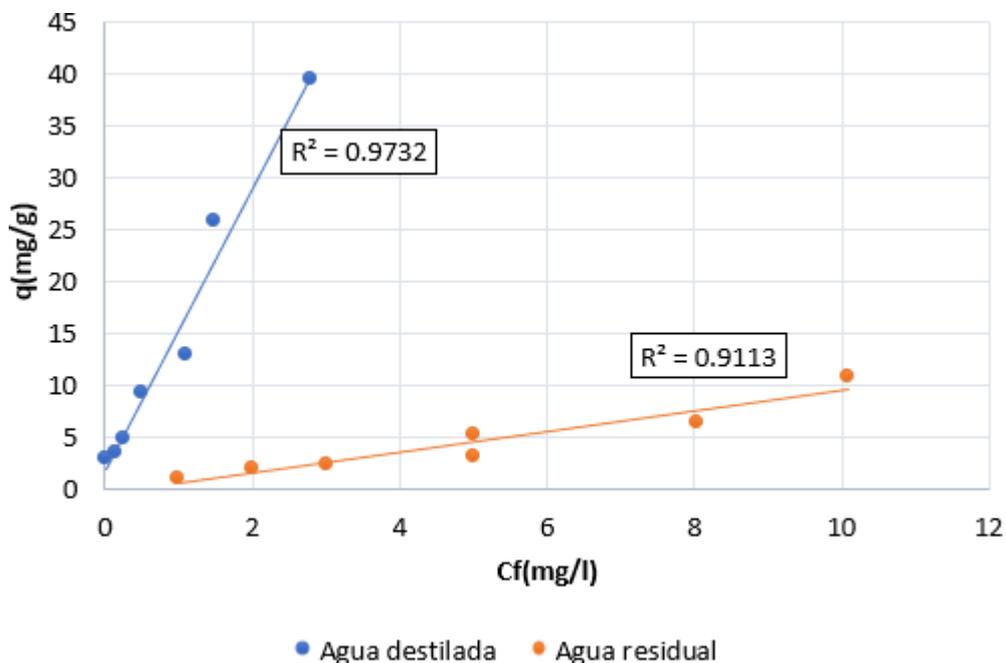


Figura 19. Ajuste lineal de la cantidad de zinc adsorbido vs concentración final -PIEDRA CALIZA



En el caso del zinc, se observó que la matriz tiene mayor capacidad de adsorción en bajas concentraciones tanto para turba y piedra caliza, siendo algo lógico ya que esto se debe a la adsorción simple que esta presenta y a la facilidad de estos materiales en adsorber este metal, sin embargo, en la adsorbancia del carbón activado no hay gran diferencia entre las dos soluciones utilizadas y esto se lo puede explicar en base a el estudio realizado por García et al., (2013) en donde, se determinó que tanto la adsorción simple como la compuesta, adsorben más favorablemente los iones zinc a pH de 6,0, a temperatura de 25 °C, debido a la presencia de mayor área superficial, por esto no existe tanta diferencia en su adsorción, sin embargo, es importante tener en cuenta algunos interferentes que pueden presentarse durante el proceso de adsorción tales como el control del pH durante la adsorción y el efecto del ion común según las sales precursoras de las soluciones de zinc.

Tabla 10. *Parámetros de isotermas de adsorción en zinc*

Solución utilizada	Material adsorbente	Modelo Langmuir			Modelo Freundlich		
		q máx.	K_L	R^2	K_F	n	R^2
		mg/g	L/mg		mg/g		
	carbón activado	-20.747	-0.055	0.992	1.042	0.745	0.994
Agua destilada	turba	16.584	18.273	0.848	14.791	2.985	0.835
	pedra caliza	43.290	0.547	0.934	15.032	1.910	0.944
	carbón activado	-11.025	-0.099	0.940	1.065	0.649	0.984
Agua residual	turba	-10.590	-0.040	0.966	0.289	0.694	0.991
	pedra caliza	31.447	0.032	0.995	0.897	0.883	0.999

En los resultados obtenidos en el modelo de Langmuir, se refleja valores de (q máx.) y (KL) negativos. Esto indica que, el grado de adsorción de algunos materiales para zinc en las dos soluciones es nulo por lo que se procede a deshacer este modelo. Sin embargo, existe una buena correlación del modelo al observar sus factores. El modelo que más se ajusta por sus factores de correlación es el de Freundlich (ver tabla 10), el cual presentó valores de K_F relativamente bajos para el agua residual, lo que indica poca capacidad de adsorción especialmente en la turba y una alta capacidad de adsorción en el carbón activo con 1.065 mg/g que al ser comparado con otros trabajos como el reportado por García y colaboradores, quienes emplearon carbón

activo orgánico para adsorción de zinc obtuvieron una capacidad de adsorción de 0.136 mg/g la cuales levemente superada por la capacidad de las biomásas utilizadas en este estudio. Sin embargo, la turba tuvo una excelente capacidad de adsorción en el agua ionizada superando ampliamente la cantidad adsorbida por los otros metales. En cuanto a la afinidad de adsorción, se la considero favorable en base a los valores obtenidos.

Figura 20. Isoterma de adsorción Freundlich de Zn en agua destilada

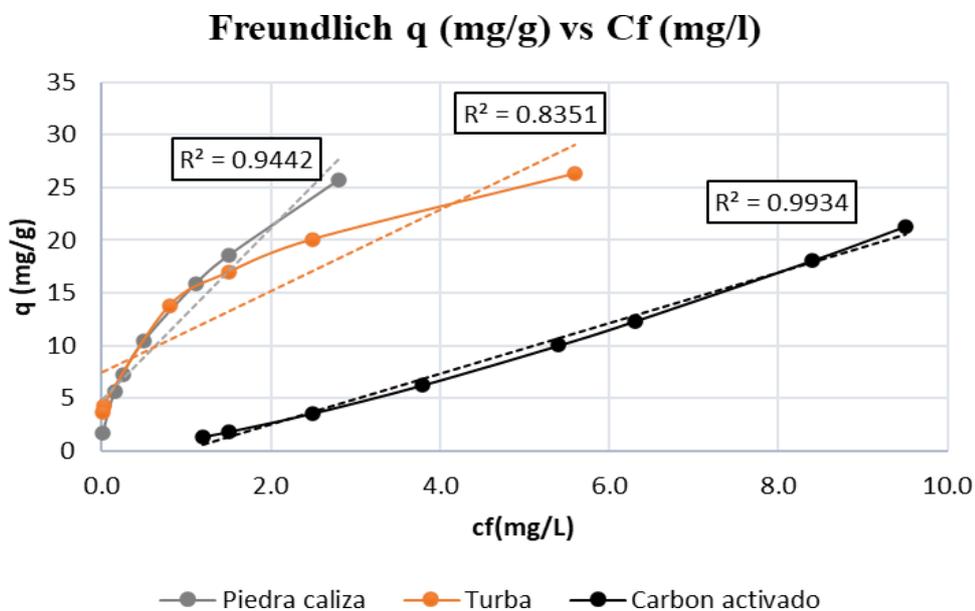
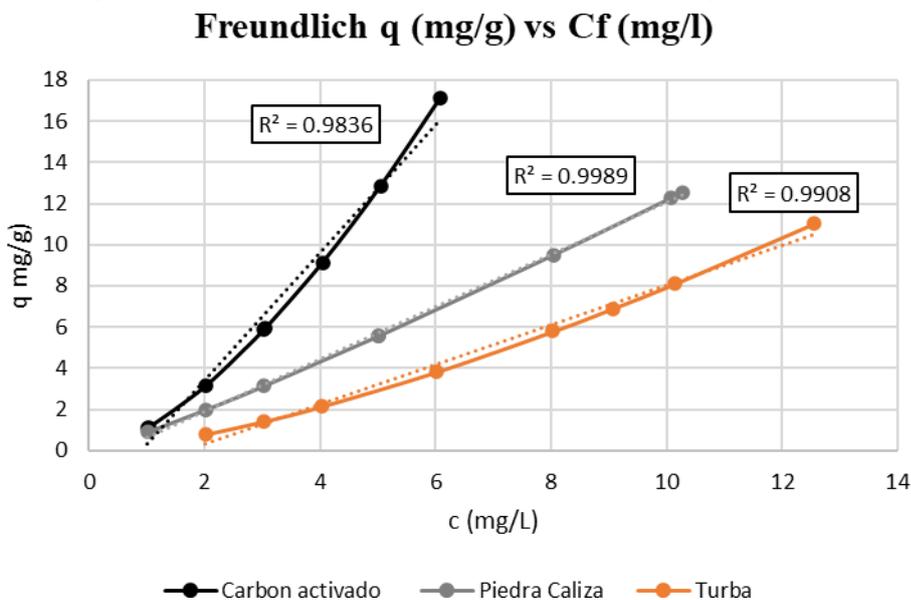


Figura 21. Isoterma de adsorción Freundlich de Zn en agua residual



La mejor capacidad de adsorción se obtuvo en el agua destilada con una cantidad adsorbida de 15.032 que pertenece a la piedra caliza, valor muy superior a los obtenidos en el estudio de Martínez et al., 2012 con un valor de 5 mg/g. El valor del resultado obtenido se lo podría estipular a que el Zn al ser un catión, tiene mejor capacidad de adsorción en pH aproximados a 4.

3.1.8 Ajuste lineal e isothermas de adsorción de cobre

Figura 22. Ajuste lineal de la cantidad de cobre adsorbido vs concentración final -TURBA

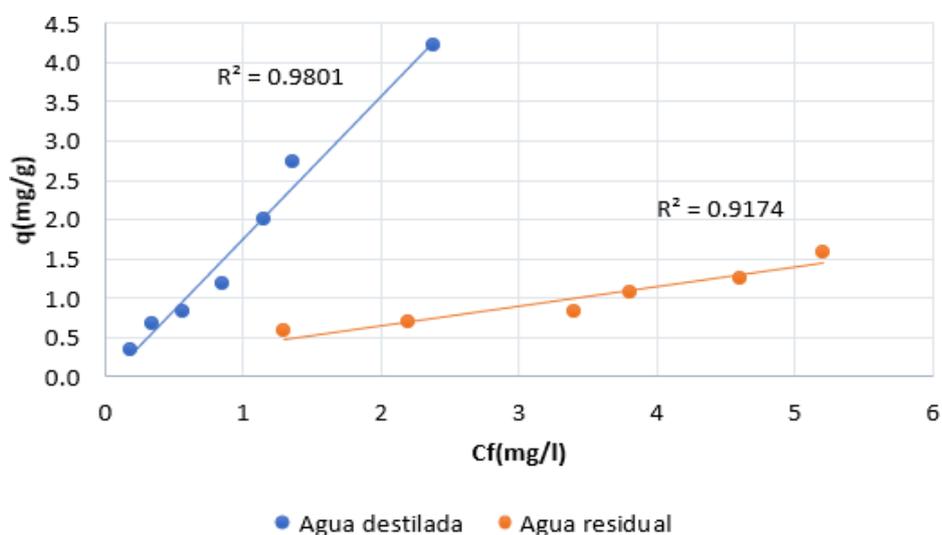


Figura 23. Ajuste lineal de la cantidad de cobre adsorbido vs concentración final - CARBÓN ACTIVADO

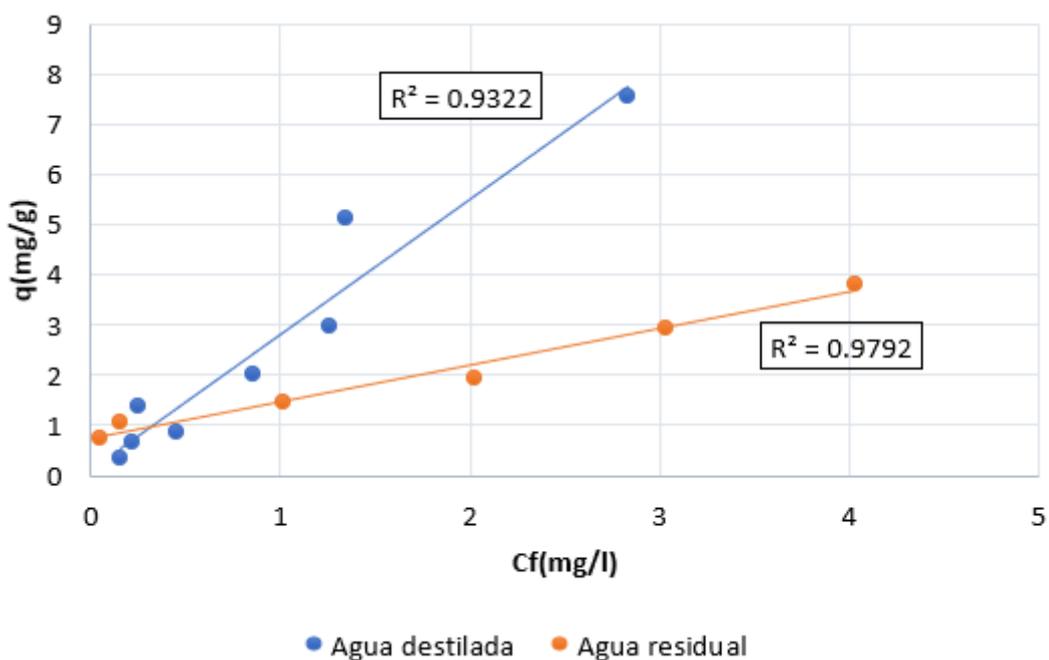
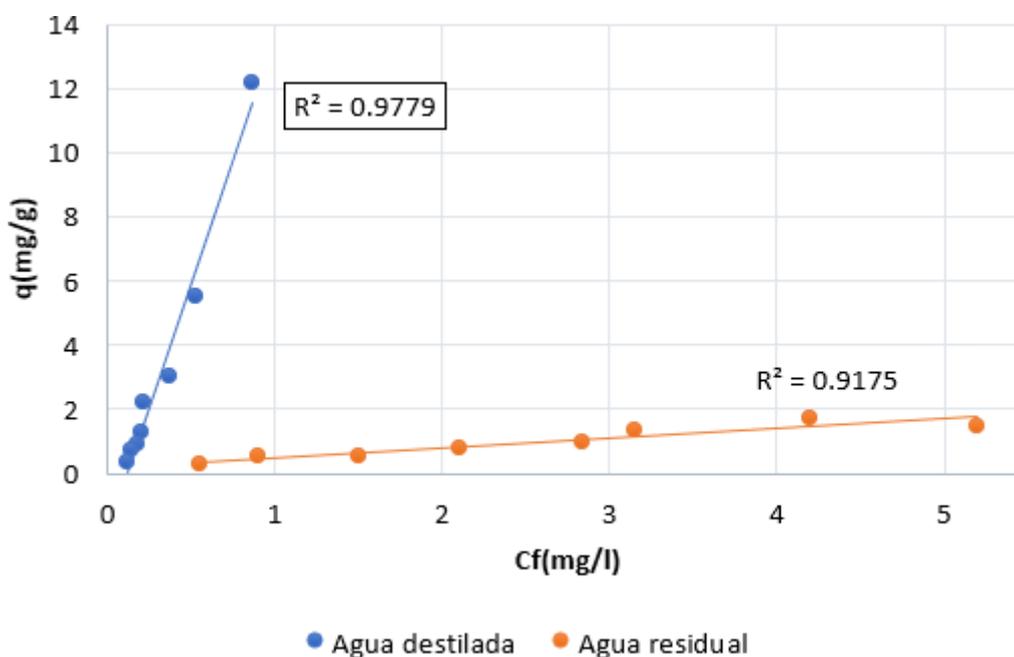


Figura 24. Ajuste lineal de la cantidad de cobre adsorbido vs concentración final -PIEDRA CALIZA



Por último, en el cobre, la adsorción fue exitosa para cada material, ya que la matriz ejerce superioridad de adsorción ante el agua residual y esto se lo puede corroborar en las Figuras 22-24 respectivamente, en donde la matriz mostró más cantidad de metal adsorbido en menores concentraciones esto se debe a el tipo de adsorción con la que cuenta, mientras que para la solución residual, al ser competitiva tuvo menor capacidad de adsorción en concentraciones bajas pero esta se incrementa a la par que se incrementa la concentración del metal.

Tabla 11. Parámetros de isotermas de adsorción en cobre

Solución utilizada	Material adsorbente	Modelo Langmuir			Modelo Freundlich		
		q máx. mg/g	K_L L/mg	R^2	K_F mg/g	n	R^2
Agua destilada	carbón activado	7.593	0.489	0.941	2.789	1.118	0.999
	turba	21.368	0.086	0.997	1.726	0.999	0.999
	piedra caliza	-1.567	-1.879	0.701	16.865	0.603	0.978

Agua residual	carbón activado	2.193	9.421	0.633	1.871	3.019	0.918
	turba	2.098	0.271	0.973	0.436	1.456	0.996
	piedra caliza	3.252	0.169	0.975	0.458	1.247	0.999

El modelo de Langmuir mostró capacidades de adsorción relativamente altas en agua residual, específicamente en la piedra caliza con un valor de 4.248 mg/g, sin embargo, existe valores negativos en el agua destilada por lo que se procede a descartar este modelo. Por su parte el modelo de Freundlich se ajustó más a los datos obtenidos experimentalmente, esto por los valores de R^2 que están comprendidos entre 0.918 y 0.999. Por tal motivo, al analizar los resultados se tiene que el material que más capacidad de adsorbancia tiene en el agua residual es el carbón activo con 1.871 mg/g obteniendo un porcentaje de remoción máxima de 99.18 % en comparación a 78,6 % en turba y 75.4 % en piedra caliza respectivamente. Un estudio reportado por Ramírez *et al.* (2013) llamado “Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula” arrojó un resultado que ronda el 99 % de remoción en Fe y Cu utilizando este material, por lo que se compara con lo que se obtuvo experimentalmente.

En cuanto a el agua destilada, esta solución tuvo mejor capacidad de adsorción debido a que su medida excede los 20 mg/g en piedra caliza como adsorbente, también cuenta con un coeficiente de correlación de 0.996 lo que la hace tener una tendencia lineal. No obstante, el carbón activado también puede ser considerado como esencial en esta adsorción no competitiva ya que arrojó un valor cuantioso. La afinidad de adsorción de los dos materiales fue favorable ya que presentó un valor de n cerca de la unidad lo que indica que existe una fuerza de adsorción moderada del cobre por la matriz de adsorción.

Figura 25. Isoterma de adsorción Freundlich de Cu en agua destilada

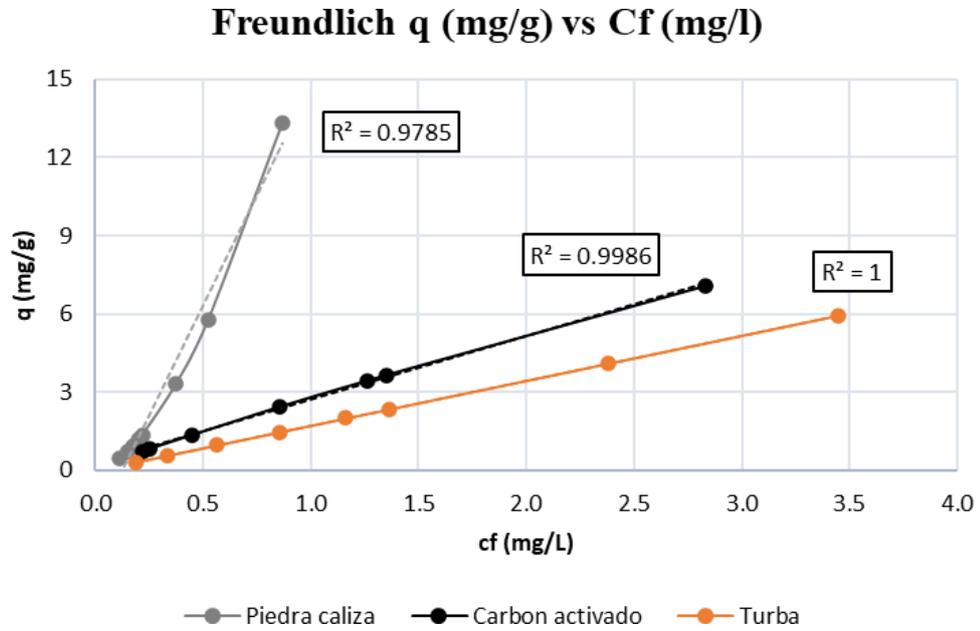
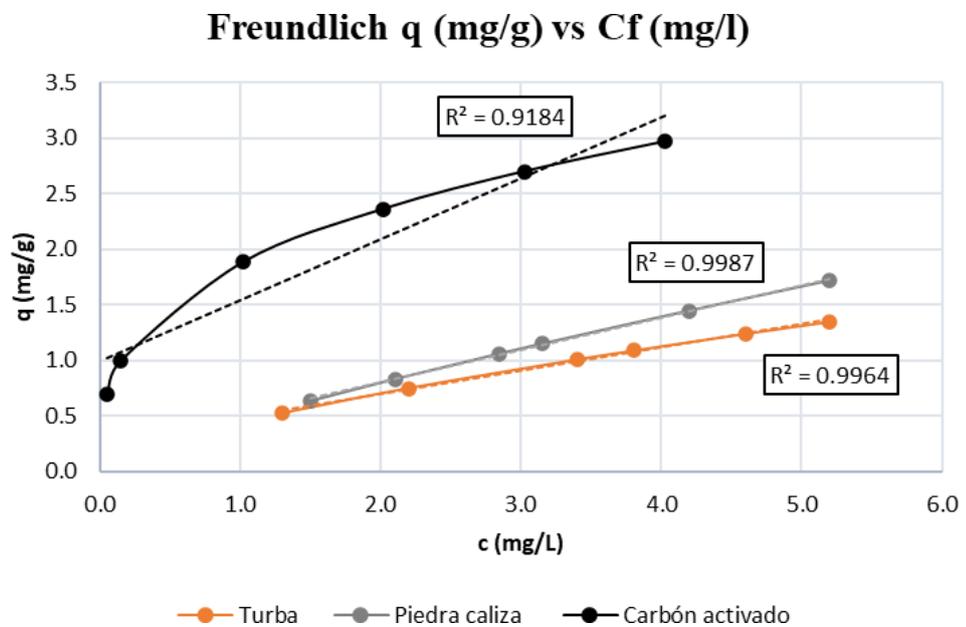


Figura 26. Isoterma de adsorción Freundlich de Cu en agua residual



Al comparar su capacidad de adsorción, sobresale la piedra caliza en la solución de agua destilada. Esto se debe a que el cobre es un catión que es adsorbido de mejor manera en $\text{pH} \approx 4$ lo que es perceptible ya que se trabajó con soluciones poco ácidas. Esto indica que el material de piedra caliza tiene mayor capacidad de intercambio iónico en este metal.

3.1.9 Capacidad de adsorción de los materiales para cada metal

Para comprender de mejor manera los resultados se realizó una tabla en donde se analiza la capacidad de reacción de cada material con cada metal, mediante ponderaciones en donde “excelente” significa que la capacidad de adsorción estaba alrededor de su 80% en remoción de contaminante, “buena” que significa que la capacidad de reacción fue superior al 60% y “mala” que significa que existió una remoción de contaminante inferior al 55%.

Tabla 12. Comparación de materiales adsorbentes en agua destilada

Metal	Material	Ponderación		
		Excelente	Buena	Mala
Cromo	Turba			X
	Carbón activado		X	
	Piedra caliza	X		
Níquel	Turba		X	
	Carbón activado	X		
	Piedra caliza			X
Zinc	Turba		X	
	Carbón activado	X		
	Piedra caliza			X
Cobre	Turba	X		
	Carbón activado		X	
	Piedra caliza			X

Según los resultados observados, se puede apreciar que el carbón activado es el material más eficiente en el 50 % de los metales analizados en la matriz, mientras que

la turba y la piedra caliza representa un 25% cada uno, estos valores fueron comparados con el estudio realizado por Rodríguez et al., (2010) en donde una adsorción simple de níquel a partir de carbón activado es relativamente aceptable en comparación a los demás metales analizados, con un valor de 1.54 mg/g lo que es congruente a lo obtenido. También según Álvez (2002) en su investigación titulada potencial de adsorción del carbón activado para algunos metales, se observa que el níquel y el zinc están en un rango razonable para ser adsorbidos por este material.

Tabla 13. Comparación de materiales adsorbentes en agua residual

Metal	Material	Ponderación		
		Buena	Regular	Mala
Cromo	Turba	X		
	Carbón activado		X	
	Piedra caliza			X
Níquel	Turba	X		
	Carbón activado			X
	Piedra caliza		X	
Zinc	Turba			X
	Carbón activado	X		
	Piedra caliza		X	
Cobre	Turba			X
	Carbón activado	X		
	Piedra caliza		X	

Tanto la turba como el carbón activo comparten una buena capacidad de adsorción de los metales analizados con un 50% de efectividad para cada material. En primer lugar, para el cromo y el níquel, el material más eficaz fue la turba, esto pudo ser comparado con el estudio realizado por Sanchis (2010), en donde se observó que la adsorbancia de la turba en níquel fue superior en relación a otros materiales similares, con una adsorbancia máxima de 8.95 mg/g, al relacionarlo con este estudio (Tabla 9) se puede concluir que no existe diferencia significativa en su capacidad de adsorción. Por otra parte, en el carbón activado, es un material con un alto nivel de adsorbancia en

cualquier clase de iones, pero a veces se ve superado por otros materiales debido a la adsorción competitiva que está presente en este fluido, esto menora su eficacia en ciertos metales. Sin, embargo el zinc y el cobre han sido los metales que más se adsorben con la presencia de este bioadsorbente, que según el estudio realizado por Ariza (2012), el carbón activado llega a adsorber hasta un 89% de metal en comparación a otros bioadsorbente utilizados. Mientras que, para el zinc, los estudios realizados por Estrella (2019) llamado “Estudio de la remoción de cromo y zinc de aguas sintéticas empleando carbón activado”, obtuvieron resultados significativos superiores a la unidad como los que se obtuvo en el presente estudio, con un coeficiente de correlación de 98.4% y 99.3% respectivamente.

3.2 Verificación de hipótesis

$H_0 \neq 0$ Se rechaza la hipótesis nula

$H_a = 0$ Se acepta la hipótesis alternativa y se llega a la conclusión de que después del estudio realizado los materiales adsorbentes: carbón activo, piedra caliza y turba en efluentes residuales provenientes de la industria automotriz del cantón Ambato, presentan alta capacidad de adsorción de metales para el tratamiento del efluente contaminado.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se logró identificar las características fisicoquímicas que presentaba el efluente residual proveniente de la industria automotriz del cantón Ambato, a través de la cuantificación de parámetros globales como pH, conductividad, sólidos totales, turbiedad y DQO. A su vez se determinó iones presentes en la muestra, entre los cuales se encuentran: nitrato, amonio, fosfato, sulfato, cloruro y por último se analizó metales pesados: cromo, zinc, cobre, hierro, arsénico, manganeso, plomo y cadmio a través de espectrofotometría. Lo que dio como resultado que 3 de los 16 parámetros analizados incumplían con la normativa técnica de descarga a un sistema de alcantarillado del Libro VI Anexo 1 (TULSMA), por tal motivo es necesario realizar un pretratamiento previo en este tipo de efluentes para que sean correctamente vertidas en el sistema de alcantarillado sin desestabilizar la calidad ambiental.

Al analizar las características fisicoquímicas del agua residual se obtuvo que en los parámetros de: DQO, sólidos totales y sólidos suspendidos con valores de 816, 1662 y 1159 respectivamente, exceden el límite máximo permisible para descarga al sistema de alcantarillado público según la norma, denotando que existe un considerable grado de contaminación en el agua residual. Por otro lado, aunque la cuantificación en los metales no sobrepasó los valores máximos permisibles bibliográficos, algunos de estos valores estaban muy al margen de sus límites, por lo que, fue necesario enfocarse en estos elementos que pueden ser muy perjudicial para la salud y el medio ambiente.

Los resultados experimentales obtenidos en esta investigación permitieron identificar que el efecto de la matriz sobre la capacidad de adsorción en diferentes metales, es aceptable. El porcentaje de adsorción en el mejor de los casos de los metales analizados (Cr, Ni, Zn y Cu) fue alrededor del 90%, como resultado adicional se pudo comprobar

que la capacidad de adsorción del cobre y del zinc fue alto en comparación a los otros metales.

Se determinó que el material más apropiado para la remoción de metales en agua residual fue el carbón activado y la turba, obteniéndose altas capacidades de remoción. Por otro lado, en la matriz analizada, no existe tanta diferencia significativa ya que los tres materiales utilizados tienen un nivel de capacidad de adsorción considerable, aunque el carbón activado sobresale un poco más y esto podría deberse a su composición química, ya que es un material prefabricado con una función específica. Cabe recalcar que, según varios estudios, en pH más ácidos como el efluente residual de la industria automotriz, el carbón activado tiene mejor capacidad de adsorción. Todo este análisis se lo realizó mediante una evaluación con los modelos isotérmicos de Langmuir y Freundlich, que, junto con los datos experimentales obtenidos de adsorción, permitieron comprobar que las isothermas con mejor ajuste fueron las del de Freundlich, ya que se observó su alta afinidad de adsorbato- adsorbente y una tendencia lineal favorable en base a los valores de R^2 obtenidos, los cuales eran muy cercanos a la unidad.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un adecuado manejo y reciclaje de los compuestos químicos utilizados, ya que estos podrían ser corrosivos perjudicando la prevención del medio ambiente. Además, podrían alterar los resultados de la cuantificación en el espectrofotómetro.
- Filtrar bien el efluente crudo en caso de ser necesario, ya que algunos equipos no tienen la capacidad de leer con interferencias sólidas o colores muy opacos especialmente el fotómetro UV-VIS y el de absorción atómica.
- Realizar una inspección del manual de los equipos que se van a utilizar con el fin de no malgastar reactivos químicos y obtener muestras diluidas en base a el límite de detección del equipo.
- Es importante que la matriz se encuentre lo más limpia posible, por lo que sería aconsejable que provenga de lugares alejados de efluentes contaminantes para que no exista ningún tipo de mezcla. Se puede realizar una separación y clasificación de la materia prima recibida.
- Aplicar un proceso de floculación coagulación como pretratamiento a las aguas en caso de ser necesario y seguir aprovechando otro tipo de residuos agroindustriales para su utilización como bioadsorbente en metales pesados presentes en efluentes industriales.

BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association, & American Water Works Association. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. In *Standard methods for the examination of water and wastewater* (pp. 1000-1000).
- Amaya Díaz, A. M. (2021). *Determinación de las características físicas de sustancias reactivas: piroclastos volcánicos, zeolita clinoptilolita, zeolita modernita, de origen ecuatoriano para el tratamiento de agua* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil).
- Ariza, A. M. (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano* (Doctoral dissertation, Universidad San Jorge).
- Baron, J., Poff, N. L., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Hairston Jr, N. G., ... & Steinman, A. D. (2003). *Ecosistemas de agua dulce sustentables (Sustaining healthy freshwater ecosystems)*. *Temas en ecología*, 10, 1-15.
- Bergmann, C. P. (2015). *Carbon Nanomaterials as Adsorbents for Environmental and Biological Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18875-1>,
- Bonilla, G., & Acurio Morejón, J. (2012). *Difusión de las medidas ambientales que deben aplicar las actividades denominadas lubricadora, mecánicas y lavadoras de vehículos en el cantón Ambato* (sector rural y áreas periféricas de la ciudad).
- Castillo García, A. S. (2015). *Diseño de un tratamiento de aguas residuales de lubricado mediante Bio-Adsorción y Coagulación-Floculación*.
- Cócheres Gonzalez, D. N. (2018). *Análisis de una cama de turba como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la Industria de Curtido Tunguragua de la ciudad de Ambato, provincia de*

Tunguragua (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).

- Cornelis, R., M. Nordberg. (2007). General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation. Handbook on the toxicology of metals. pp 29-35
- Clemenson, L. J. (2000). *U.S. Patent No. 6,042,743*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. vol. 14, no.4, pp. 595–599
- Crittenden J., (2005), “Water Treatment: Principles and Design”, MWH, Capítulo 15, 1245-1359.
- Dias, N. M., Alleoni, L. R., Casagrande, J. C., & Camargo, O. A. (2001). Isotemas de adsorção de cádmio em solos ácidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(2), 229-234.
- Díaz-Puig, A., Guilarte-Gainza, A., Chaviano-Beitra, A., & Pérez-Silva, R. M. (2017). Bioadsorción de níquel en residuales de Empresa Minera por biomasa de *Phyllanthus Orbicularis*. *Tecnología Química*, 37(1), 51-66.
- Estrella Granja, J. F. (2019). *Estudio de la remoción de cromo y zinc de aguas sintéticas empleando carbón activado impregnado con nanotubos de carbono* (Bachelor's thesis, Quito, 2019.).
- Farajzadeh MA y Monji AB. (2004). "Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations". *Separation and Purification Technology* 38: pp. 197-207. Citado por: Agouborde, L. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales.
- García, A., Méndez, A., Sánchez, M., Blanco, D., Moreno-Piraján, J. C., & Giraldo, L. (2013). *Adsorción simple y competitiva de iones metálicos zinc y cadmio sobre carbón activado a partir de semillas Mucuna deeringiana*. *Afinidad*, 70(564).
- Galeano-Sánchez y Osorio-González (2008). *Evaluación de la biodegradación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales de una tintorería y lavandería*. Proyectos de grado. Artículos, 96.

- Gebremedhin, T. (2002). *Remoción de metales pesados del agua por mineral zeolítico químicamente modificado mercurio como un caso particular*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hameed, BH y El-Khaiary, MI (2008). *Adsorción de verde de malaquita por aserrín de ratán: modelado isoterma, cinético y de mecanismos*. Revista de materiales peligrosos, 159 (2-3), 574-579.
- Hayes, R. E., & Mmbaga, J. (2013). *Introduction to Chemical Reactor Analysis*, Second Edition. Boca Raton: Taylor & Francis Group
- Sanchis, M. I. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso* (Doctoral dissertation, Universitat de València).
- Latham, J.L. (2001) "Elementos de Cinética de Reacciones" Ed. La Manual Moderna S.A. México.
- Marín Galvín, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de Santos.
- Maron, S., & Putton, C. (1988). *Fundamentos de fisicoquímica*. México: Limusa.
- Martínez, V., Martínez, M., Reategui, K., & Escobar, M. (2012). *Cu (II), Cd (II) and Zn (II) adsorption by the Cuare Mangrove Peat, Falcon State, in different degrees of artificial maturation*. Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia, 35,91-97.
- Metcalf & Eddy, Inc. 2003. *Ingeniería de aguas residuales*. Tratamiento, vertido y reutilización. Mc Graw-Hill, Madrid, España, pp. 555.
- METCALF y EDDY INC (1995) *Ingeniería de aguas residuales*. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/interamericana de España S.A. 1485 pp

- Morales Cas, A. M. (2006). *Simulación molecular del equilibrio de adsorción mediante el método de Monte Carlo*.
- Mori Romero, J. L. (2018). *Bases teóricas para el diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Baños del Inca*, 2018.
- Muñoz Cruz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*.
- OEFA. (2013). *La Fiscalización Ambiental del OEFA en el Sector Pesquería*.
- OLMOS, J., GAVILÁN, I., SANTOS, E., YARTO, M., GAVILÁN, A., ROSILES, R., & SUÁREZ, S. (2012). *Especiación y Cuantificación de Mercurio en Suelos Contaminados con Residuos de Minería*.
- Ovín Ania, M. C. (2011). *Depuración de Efluentes Industriales con Carbón Activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente*.
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción*. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18
- Pérez Silva, R. M., Calzado Lamela, O., Cascaret Carmenaty, D. A., & Tur Naranjo, E. (2014). Cr (VI) adsorption by *Cocos nucifera* L. in wastewater of fibrocement from Santiago de Cuba. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 9-18.
- Penedo-Medina, C. M. (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología Química*, 35(1), 73-91.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: España, Editorial Reverté, S.A.
- Ramírez-Castro, L. y Castro-Fernández, P. (2002). *Efecto de la viscosidad del ligante asfáltico sobre las propiedades de la mezcla asfáltica*.
- Rodríguez-Estupiñán, P., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2010). *Adsorción simple y competitiva de níquel y cadmio sobre carbón activado granular: efecto del pH*. *Afinidad*, 67(550).

- Roig, C., & Roig, F. A. (2004). Consideraciones generales. *Los Turbales de la Patagonia Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad, Publicación*, (19), 5-21.
- Robles, F. O., Rojo, J. C. T., & Bas, M. S. (2011). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes.: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Sánchez, K., Colina, G., Pire, M., Díaz, A., & Carrasquero, S. (2013). *Capacidad de adsorción del carbón activado sobre cromo total proveniente de los desechos de tenerías*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 36(1), 45-52.
- Sánchez Ruales, JA (2018). *Análisis de la cama de turba como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos "Lavauto" ubicada en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi* (Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).
- Severiche, C. A., & González, H. (2012). *Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado*. *Ingenierías USBMed*, 3(2), 6-11.
- Sevilla, U. (2011). *Manual del carbón activo*. Aula. aguapedia. org, 1-89.
- Solís, L. (2004). *Evaluación del fosfato de hierro (III) como material reactivo para la remoción de uranio en agua* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría, Facultad de Química, UAEM).
- Tort, D. S., & Blanco, N. M. (2009). ESTUDIO PRELIMINAR DE ADSORCIÓN DE IONES COBRE CON CARBÓN ACTIVADO DE CASCARÓN DE COCO. *Tecnología Química*, 29(3), 74-83.
- Tubert, I., & Talanquer, V. (1997). *Sobre adsorción*. *Educación química*, 8(4), 186-190.

- Tunón, I., Ortí, E., Gómez, C., Pascual-Ahuir, J., & Monzó, I. (2009). *Tema 7. Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea*. Química Física Avanzada, 28.
- Vallejos-Burgos, F. (2008). *Modelos de cálculo para distribución de tamaños de poros mediante adsorción de gases*. Concepción, Chile
- Wilhelm, M. F. (2013). *Métodos Estándar para el Examen del Agua y Aguas Residuales* Edición XX. Obtenido de <https://www.translatorscafe.com/cafe/file>.

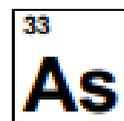
ANEXOS

ANEXO 1

Normas generales para descarga de efluentes en sistema de alcantarillado.

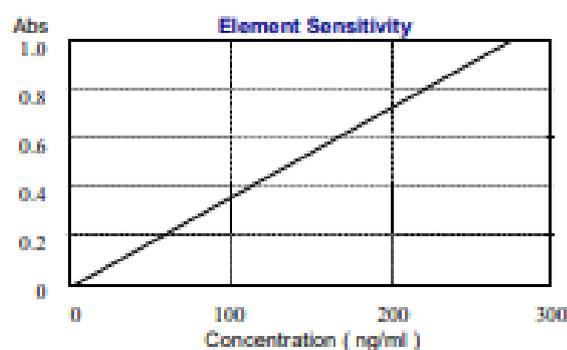
TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Arsenic



Analysis Parameters

Analytical Line:	193.7nm
Bandwidth:	0.4nm
Filter Factor:	0.1
Lamp Current:	5.0ma
Integration Time:	3.0sec
Background:	D2
Graphite Type:	Platform coated
Sample size:	10ul
Acidity:	0.1% Nitric
Sensitivity:	22.92pg/ml
Detection Limit:	17.19pg/ml
Working Range:	3.00– 200ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	70	10	10		high
2	110	10	10		high
3	1200	10	15		high
4	2000	0	3	yes	off
5	2200	1	2		high

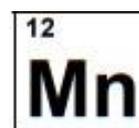
Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid > 1% to avoid precipitation.
1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

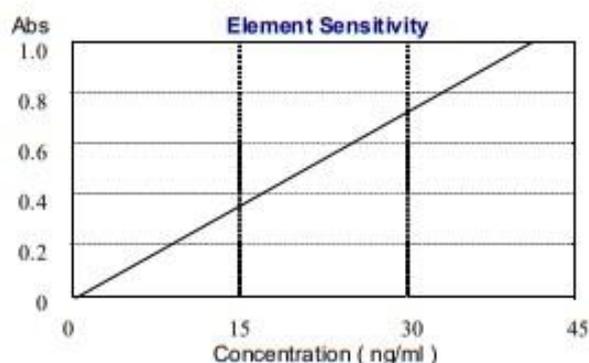
A matrix modifier should be added to the solutions to act as releasing agent. 35ug/ml of Nickel Nitrate can be made up as the matrix modifier. Palladium can be also used as a modifier but the ashing temperature should be increased by approximately 250°C

Manganese



Analysis Parameters

Analytical Line: 279.5nm
Bandwidth: 0.2m
Filter Factor: 0.1
Lamp Current: 30ma
Integration Time: 3.0sec
Background: None
Graphite Type: Platform coated
Sample size: 10ul
Acidity: 0.1% Nitric
Sensitivity: 1.38pg/ml
Detection Limit: 1.03pg/ml
Working Range: 0.25- 25.0ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	70	5	10		high
2	110	5	10		high
3	600	10	10		high
4	2200	0	3	yes	off
5	2300	1	2		high

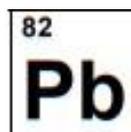
Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid > 1% to avoid precipitation.
 1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

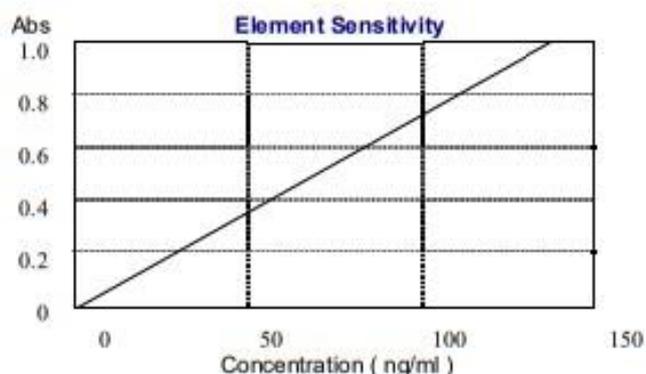
A matrix modifier of 50ug/ml can be added to all the solutions

Lead



Analysis Parameters

Analytical Line: 283.3nm
Bandwidth: 0.4nm
Filter Factor: 0.1
Lamp Current: 3.0ma
Integration Time: 3.0sec
Background: None
Graphite Type: Platform coated
Sample size: 10ul
Acidity: 0.1% Nitric
Sensitivity: 5.18pg/ml
Detection Limit: 3.88pg/ml
Working Range: 1.00– 100.0ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	70	10	10		high
2	110	10	10		high
3	450	10	15		high
4	1800	0	3	yes	off
5	1900	1	2		high

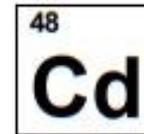
Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid > 1% to avoid precipitation.
1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

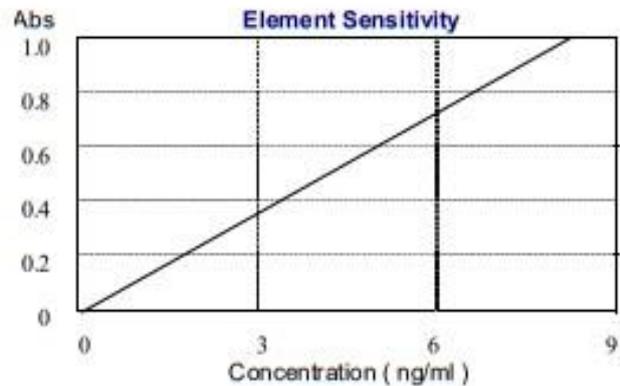
Lead is a difficult element to analyse as it requires an accurate ashing temperature which should be optimised for the individual analysis. Adding 0.01% Lanthanum nitrate will improve the problem.

Cadmium



Analysis Parameters

Analytical Line: 228.8nm
Bandwidth: 0.4nm
Filter Factor: 0.1
Lamp Current: 5.0ma
Integration Time: 3.0sec
Background: D2
Graphite Type: Platform coated
Sample size: 10ul
Acidity: 0.1% Nitric
Sensitivity: 0.4pg/ml
Detection Limit: 0.25pg/ml
Working Range: 0.10– 6.0ng/ml



Stage	Temp	Ramp	Hold	Int	Gas
1	90	5	10		high
2	120	5	10		high
3	500	5	10		high
4	1800	0	3	yes	off
5	1900	1	2		high

Standard Solution

Standard Solutions should be made up from stock solution of 1000mg/l. Dilutions should be Carried out in stages and acidified using Nitric Acid > 1% to avoid precipitation.
 1000mg/l Standard solution: Part no.

Interferences

It is advisable to use D2 background correction when analysing this element. A matrix modifier of 100ug/ml Ammonium Phosphate can be used to stop the element from releasing prior to the atomisation

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA DE LAS SUSTANCIAS REACTIVAS UTILIZADAS



CARBÓN DE CÁSCARA DE COCO PARA LA PURIFICACIÓN DEL AGUA

El Carbón Activado Granular (CAG) se fabrica a partir de grados selectos de cáscara de coco y presenta un de alta densidad, gran volumen de microporos y gran superficie. Se utiliza comúnmente para la purificación de agua potable, fabricación de bebidas, diálisis, agua de acuario y una variedad de alimentos aplicaciones. En sistemas diseñados adecuadamente, eliminará eficazmente el cloro, las cloraminas, el plomo, El radón, el MtBE, el TCE, el PCE, los THM, los fenoles, los pesticidas, los detergentes, el sabor y el olor, etc. cumplen con la AWWA.

Norma B-600-74, Norma 61 de ANSI/NSF para aplicaciones de agua potable.



PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS / ESPECIFICACIONES

NÚMERO DE YODO. MIN	1100
DENSIDAD APARENTE (ASTM 2854) G/CC	0.48 - 0.50 LB/FT3 29-31
ABRASIÓN NO. MIN.	29-31
TAMAÑO DE LA MALLA:	12X40
CTC % MIN	55
SUPERFICIE TOTAL (BET) M2/G	1100 - 1200
CENIZA (ASTM D-2866) -% EN PESO	3.0
HUMEDAD. MÁX. EN EMBALADO - % PAPT	3%



BP PRO

LOS EXPERTOS EN ENRAIZAMIENTO

Formulación:	TURBA PURA	100%
Composición Química:	TURBA PURA	
	PH 5.9	
	E.C. 0.1	



GENERALIDADES DEL PRODUCTO

LOS PRODUCTOS BP Y ESPECIALMENTE BP-PRO SON SUSTRATOS PARA GERMINACIÓN A BASE DE TURBA ESFAGNACIA CANADIENSE.
CONSIESTE EN UNA TURBA PURA DE TODO USO, QUE CONVIERNE TANTO AL ACONDICIONAMIENTO DE SUELOS COMO PARA LA PREPARACIÓN DE SUSTRATOS DE CULTIVO BIEN EQUILIBRADOS.
ES LA TURBA MÁS POPULAR EN EL MERCADO.

USO DEL PRODUCTO

DESCOMPACTAR LA FUNDA CON 20 LITROS DE AGUA,
MEZCLAR BIEN HASTA TENER UNA TURBA HÚMEDA PERO NO MOJADA.

CULTIVOS RECOMENDADOS

CUALQUIER CULTIVO QUE SE DESEE GERMINAR

RECOMENDACIÓN

PARA MÁS INFORMACIÓN CONSULTE CON EL REPRESENTANTE TÉCNICO COMERCIAL DE AGRONPAXI CIA. LTDA.
info@agronpaxi.com / www.agronpaxi.com

PRESENTACIONES DISPONIBLES

3.8 PIES CÚBICOS (107 LITROS) COMPRIMIDOS 2 : 1

RENDIMIENTO

7.8 PIES CÚBICOS (218 LITROS)

IMPORTADOR Y DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA ECUADOR: **AGRONPAXI CIA. LTDA.**

REGISTRO MAGAP: 03128419

OTROS REGISTROS: L'ORGANISME DE CERTIFICATION "QUÉBEC VRAI"

FABRICANTE: BERGER PEAT MOSS



ISO 9001



Agronpaxi Cia. Ltda.

PRINCIPAL: Panamericana Norte Km 12 Sector Piedra Colorada, Latacunga. Teléfono: 031 2719-112 09442383
SUCURSALES: Guayaquil 0947544275 - Mórón 094829481 - Santa Domingo 094786104

www.agronpaxi.com

ANEXO 4

Anexo Fotográfico

Foto 1. Efluente recolectado

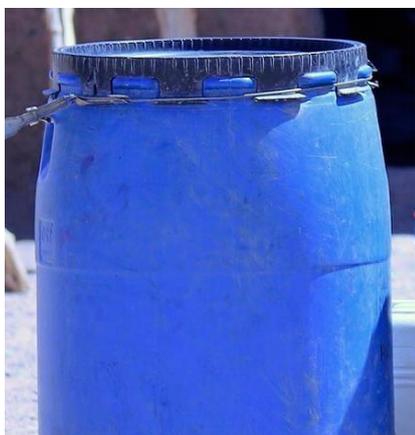


Foto 2. Filtración de las muestras



Foto 3. Muestras almacenadas en botellas de vidrio



Foto 4. Peso de los materiales de adsorción



Foto 4. Análisis globales de las muestras



Foto 5. Análisis espectrofotométricos de las muestras



Foto 6. Almacenamiento de las muestras

