

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“PROCESO DE OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA LA  
ADSORCIÓN DE  $\text{Cr}^{+6}$  A PARTIR DEL HUESO DE LA ACEITUNA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES: ROCIO LUZ BACILIO NUÑEZ**  
**JESUS EMILIO ENRIQUE CABELLO VILLON**

**CALLAO - 2018**  
**PERÚ**

**LIBRO 2 FOLIO No. 116 ACTA N° 299 DE SUSTENTACION DE TESIS SIN  
CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

El día Diecinueve de Octubre del Dos Mil Dieciocho, siendo las 12:15 horas, se reunió el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

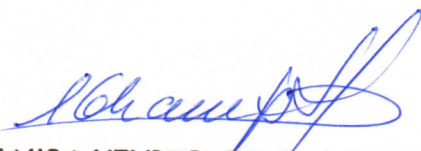
Ing. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO	: Presidente
Ing. CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL	: Secretario
Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO	: Vocal
Ing. MACHACA GONZALES LEONARDO FELIX	: Asesor

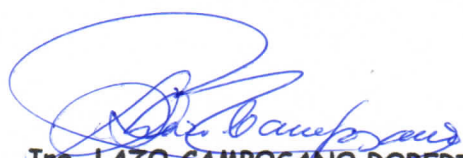
Con el fin de dar inicio al acto de sustentación de tesis de los Bachilleres BACILIO NUÑEZ ROCIO LUZ Y CABELLO VILLON JESUS EMILIO ENRIQUE, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustentan la tesis titulada "PROCESO DE OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA LA ADSORCIÓN DE  $\text{Cr}^{+6}$  A PARTIR DEL HUESO DE LA ACEITUNA".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó: Dar por Aprobado con el calificativo Muy bueno a los sustentantes Bachilleres BACILIO NUÑEZ ROCIO LUZ Y CABELLO VILLÓN JESUS EMILIO ENRIQUE.

Se dio por cerrada la Sesión a las 13:15 horas del día diecinueve del mes y año en curso.

  
Ing. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO  
Presidente

  
Ing. CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL  
Secretario

  
Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO  
Vocal

  
Ing. MACHACA GONZALES LEONARDO FELIX  
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Recomendaciones de los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a los Sustentantes, para que realicen las correcciones de la tesis antes de su aprobación.

TESISTAS : Bachilleres BACILIO NUÑEZ ROCIO LUZ Y CABELLO  
VILLON JESUS EMILIO ENRIQUE.

: "PROCESO DE OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO PARA  
LA ADSORCIÓN DE Cr<sup>+6</sup> A PARTIR DEL HUESO DE LA  
ACEITUNA".

I. PRESIDENTE

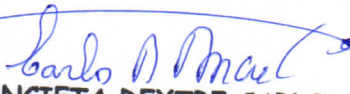
.....  
.....  
.....

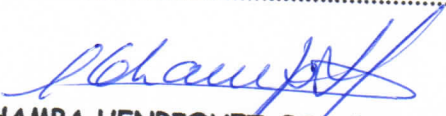
II. SECRETARIO

.....  
.....  
.....

III. VOCAL

.....  
.....  
.....

  
Ing. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO  
Presidente

  
Ing. CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL  
Secretario

  
Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO  
Vocal

Bellavista, 19 de octubre 2018

Pily c.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DICTAMEN 040-CAAD

PARA : Dr. Luis Carrasco Venegas  
Decano Facultad Ingeniería Química

FECHA : Bellavista, octubre 23 de 2018

2683  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
Subdirección Decanato  
FECHA: 23 OCT. 2018 4.28

S.D.

Mediante la presente tengo a bien informarle, que la sustentación de tesis del día viernes 19 de octubre del presente año a las 12.10 horas, NO PRESENTARON OBSERVACIONES en la tesis titulada "**PROCESO DE OBTENCIÓN DE CARBON ACTIVADO PARA LA ADSORCIÓN DE Cr<sup>6</sup> A PARTIR DEL HUESO DE LA ACEITUNA**", de los señores bachilleres JESUS EMILIO ENRIQUE CABELLO VILLON Y ROCIO LUZ BACILIO NUÑEZ.

Sin otro particular, quedamos de usted.

Atentamente,



.....  
Ing. CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE  
PRESIDENTE

c.c. Archivo.

## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por La señorita Bachiller **BACILIO NUÑEZ ROCIO LUZ** y el señor Bachiller **CABELLO VILLON JESUS EMILIO ENRIQUE** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes profesores ordinarios:

Ing. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO : Presidente  
Ing. CHAMPA HENRIQUEZ OSCAR MANUEL : Secretario  
Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO : Vocal  
Ing. MACHACA GONZALES LEONARDO FELIX : Asesor

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 2 Folio N° 116 Acta N° 299 de fecha **DIECINUEVE DE OCTUBRE DE 2018**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis sin ciclo de Tesis, de conformidad a lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309-2017-CU de fecha 24 de octubre de 2017.

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada al Ing. Leonardo Machaca, por brindarnos su tiempo y sus conocimientos para la elaboración de la tesis; y a nuestros padres, por ser nuestra fuente de inspiración y soporte en esta lucha continua por llegar a ser profesionales.

<b>INDICE</b>	<b>Pág,</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRAC.....</b>	<b>10</b>
<b>I.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Identificación del problema. ....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Formulación del problema.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.1 Problema General.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2 Problema Específico.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Objetivos de la investigación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.1 Objetivo General.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.2 Objetivo Especifico.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Importancia ....</b>	<b>13</b>
<b>II. MARCO TEORICO</b>	
<b>2.1 Antecedentes de la investigación ....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 La Aceituna ....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1 Descripciones de la aceituna.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 Variedades de la aceituna de mesa.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3 Variedades cultivadas para la obtención del aceite de oliva.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 Características fisicoquímicas de la aceituna.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.5 El hueso de la aceituna.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.6 Metales pesados.....</b>	<b>25</b>

2.2.7 Contaminación por metales pesados.....	25
2.2.8 Efectos biológicos de los metales pesados.....	26
2.2.9 Cromo .....	28
2.2.10 Cromo (VI) en la industria.....	28
2.2.11 Ciclo del cromo en el medio ambiente.....	29
2.2.12 Mecanismo de adsorción de cromo (VI).....	32
2.2.13 Remoción de metales pesados.....	34
2.2.14 Proceso de adsorción.....	36
2.2.15 Materiales adsorbentes.....	46
2.2.16 Carbón activado.....	47
2.2.17 Proceso de Activación .....	54
2.3 Definición de términos .....	56
<b>III.VARIABLES E HIPOTESIS</b>	
3.1 Variables de la investigación.....	59
3.2 Operacionalización de variables.....	59
3.2.1. Variable independiente.....	59
3.2.2. Variable dependiente.....	59
3.3 Hipótesis general.....	59
3.3.1. Hipótesis Específicas .....	60
<b>IV.METODOLOGIA</b>	
4.1 Tipo de investigación.....	61
4.2 Diseño de la investigación.....	61
4.3 Población y muestra.....	62



4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	62
4.5	Procedimiento de recolección de datos.....	62
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	63
4.7	Método .....	63
4.7.1	Método de elaboración del carbón activado.....	63
4.8	Materiales y Equipos .....	64
4.8.1	Materia prima e insumos.....	64
4.9	Equipos y accesorios. ....	64
4.10	Diseño Experimental.....	65
4.11	Desarrollo Experimental.....	68
<b>V. RESULTADOS</b>		
5.1	Resultados obtenidos de la elaboración del carbón activado.....	73
5.2	Resultados de la adsorción de dicromato de potasio por el carbón activado.....	74
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>		
6.1	Contrastación de hipótesis con los resultados .....	81
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares ....	81
<b>VII. CONCLUSIÓN.....</b>		
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>		
<b>IX.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>		
<b>APENDICE</b>		
<b>ANEXOS</b>		
<b>MATRIZ</b>		

**INDICE DE CUADROS**

**Pág.**

**CUADRO N° 2.1: Diferencias Entre Adsorción Física Y Química.....39**

## INDICE DE TABLA

Pág.

<b>TABLA N°2.1: Características Físico Químicas De La Aceituna Sevillana .....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA N°2.2: Composición Química De La Aceituna Sevillana .....</b>	<b>22</b>
<b>TABLAN °4.1: Factores Y Niveles .....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA N°4.2: Diseño Experimental .....</b>	<b>67</b>
<b>TABLA N°5.1: Lectura Absorbancia Concentración De Dicromato...73</b>	<b>73</b>
<b>TABLA N°5.2: Concentración Vs Absorbancia De Dicromato .....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA N°5.3: Determinación De Concentración De Equilibrio .....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA N°5.4: Determinación De Masa Adsorbida De Dicromato ....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA N°5.5: Determinación De <math>1/C_{eq}</math> Y <math>1/Q_{eq}</math> .....</b>	<b>78</b>
<b>TABLA N°5.6: Determinación De Porcentaje De Adsorción .....</b>	<b>80</b>

## INDICE DE GRAFICAS

Pág.

<b>GRAFICA N°5.1: Curva De Calibración De Dicromato .....</b>	<b>74</b>
<b>GRAFICA N°5.2: Isotherma De Freundlich .....</b>	<b>77</b>
<b>GRAFICA N°5.3: Isotherma De Langmuir .....</b>	<b>79</b>

**INDICE DE DIAGRAMA**

**Pág.**

**DIAGRAMA N°2.1: Ciclo Ambiental Del Cromo (VI) Y Cromo (III) ...30**

## INDICE DE FIGURA

Pág.

<b>FIGURA N°2.1: Aceituna Sevillana .....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA N°2.2: Hueso De La Aceituna .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA N°2.3: Representación Gráfica Del Mecanismo De Adsorción De Cromo (VI) .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA N°2.4: Proceso De Adsorción .....</b>	<b>37</b>

## RESUMEN

El cromo se encuentra en aguas residuales en la industria de la curtiembre como Cr(III) y Cr(VI) en solución, siendo estas últimas más tóxicas y solubles a bajas concentraciones lo cual lo hace más móvil en medio acuático difundiéndose con mucha facilidad en el medio ambiente; por lo que se ha desarrollado el proceso y se ha obtenido el carbón activado a partir del hueso de la aceituna, para lo cual se siguió un proceso que consta de secado, calcinación, activación química, trituración y lavado por filtración.

Se realizaron pruebas experimentales con soluciones de dicromato a diferentes concentraciones [0.5ppm], [1ppm], [2.5ppm], [5ppm] considerando una cantidad fija de carbón activado; a temperatura ambiente, con un tiempo de contacto de dos horas y 0.55 min<sup>-1</sup> de agitación.

Los resultados obtenidos siguen a las isotermas de Freundlich y Langmuir. Finalmente se han realizado pruebas experimentales de la cual se concluye que la capacidad de adsorción del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna es de 51%.

Palabra clave: Carbón activado para la adsorción de cromo (VI) a partir del hueso de aceituna.



## ABSTRACT

Chromium is found in wastewater in the tannery industry as Cr (III) and Cr (VI) in solution, the latter being more toxic and soluble at low concentrations which makes it more mobile in aquatic environment, spreading very easily in environment; so the process has been developed and activated charcoal has been obtained from the olive bone, for which a process consisting of drying, calcination, chemical activation, trituration and washing by filtration was followed.

Experimental tests were carried out with dichromate solutions at different concentrations [0.5ppm], [1ppm], [2.5ppm], [5ppm] considering a fixed amount of activated carbon; at room temperature, with a contact time of two hours and 0.55 min<sup>-1</sup> of agitation.

The results obtained follow the Freundlich and Langmuir isotherms.

Finally, experimental tests have been carried out, which concludes that the adsorption capacity of activated carbon made from the olive bone is 51%.

Keyword: Activated carbon for the adsorption of chromium (VI) from olive bone.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Identificación del problema.**

El Cromo se encuentra en aguas residuales en la industria de la curtiembre como Cr (III) Y Cr (VI) en este estado es más toxico y soluble a bajas concentraciones lo cual lo hace más móvil en medio acuático difundiéndose con mucha facilidad por el medio ambiente, se tiene muchos métodos para la extracción del cromo contaminante pero con costos muy elevados y poca eficiencia en tratamientos con grandes volúmenes de soluciones contaminantes que contengan bajas concentraciones de Cr(VI), un método con gran acogida en los últimos años es la adsorción por carbón activado a partir de material residual .

### **1.2 Formulación del problema**

#### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo y con qué tecnología se obtendrá el carbón activado para la adsorción de Cr (VI) a partir del hueso de la aceituna?

#### **1.2.2 Problema Específico**

- ¿Cuáles son las fuentes disponibles que se analizara para el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna?
- ¿Cuáles son los fundamentos que se analizara para desarrollar el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna?
- ¿Cómo se determinara la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir del hueso de la aceituna?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna para determinar su capacidad de adsorción de Cr (VI) en soluciones contaminantes.

#### **1.3.2 Objetivo Especifico**

- Analizar las fuentes disponibles para el proceso de obtención del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.
- Analizar y desarrollar el proceso de obtención del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna
- Evaluar y determinar la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir del hueso de la aceituna.

### **1.4 Justificación**

El presente trabajo de investigación es importante porque al reducir la concentración de Cr (VI) en aguas contaminantes beneficia al medio ambiente.

#### **1.4.1 Legal**

- Directiva N°:011-2013-OSG. Aprobado por resolución N°759-2013-R de fecha 21 de agosto del 2013.
- Reglamento de Estudios de pregrado de la Universidad Nacional del Callao. Vigente
- Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de la Universidad Nacional del Callao. Vigente.

### **1.4.2 Teórica**

En la búsqueda de materia prima novedosa y económica para la elaboración de carbón activado se ha estudiado el hueso de la aceituna considerado desecho de una actividad industrial, como el de la conserva, este material tiene características deseables como precursor de carbón activado, bajo contenido de cenizas, alta porosidad y alta densidad de empaquetadura que indican buenas características de adsorción.

### **1.4.3 Tecnológica o Económica**

En comparación con los otros tratamientos para la disminución de Cr (VI) en aguas contaminadas la adsorción es un método de bajo costo, alta eficiencia, no requiere de adición de nutrientes y nos permite la regeneración del biosorbente y la posibilidad de recuperación del metal.

### **1.5 Importancia**

El proceso de carbón activado obtenido será utilizado en tratamiento de aguas industriales en general que contengan cromo (VI), aportando de esta manera la tecnología de obtención de carbón activado a partir del hueso de la aceituna para su aplicación en futuras investigaciones en la comunidad científica .

## **II. MARCO TEORICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

En los últimos años el incremento de las industrias ha generado también incrementos en la contaminación ambiental, muchos ocasionados por efluentes saturados con altas concentraciones de metales pesados, por tal motivo se ha diseñado diversas técnicas y métodos para remediar dicha contaminación.

Volesky 1990, ha publicado los métodos convencionales para el tratamiento de dichos efluentes incluyen precipitación, intercambio iónico, ultrafiltración, oxidación, tecnologías de membranas y tratamiento electroquímico; muchos de ellos son costosos y de bajo rendimiento.

Villanueva, 2000 ha estudiado la utilización de microorganismos como bioabsorbentes es una alternativa para reducir la concentración de metales pesados en efluentes, pues tienen la propiedad de acumular dentro de su estructura microbiana dichos metales en soluciones acuosas diluidas.

Reyes Toriz, Cerino Cordova, & Suarez Herrera, 2006, en la investigación realizada menciona que el carbón activo o activado elimina eficazmente algunos metales del agua a nivel de partes por millón. (Manahan, 2007). Por tal motivo es considerado un método para la remoción de metales pesados, el cual es producido bajo condiciones controladas de la combustión de material orgánico, presentando una gran superficie expuesta (sitio activo), lo cual le permite absorber las partículas suspendidas y sustancias disueltas. Asimismo los iones metálicos pueden ser absorbidos tanto en el

biofilm como en el carbón activado, este tratamiento es muy factible por su bajo costo debido a la utilización de biomasa surgida como desecho de algún proceso, lo cual es atractivo para las industrias.

Coronel & Romero, 2004 determinaron con su investigación que entre las industrias más contaminantes con cromo hexavalente esta la industria del curtiembre, en el Perú está más desarrollada en los departamentos de Lima, La Libertad y Arequipa.

Esparza & Gamboa, 2001, en su investigación determinaron que el cromo es un metal pesado ampliamente usado es las etapas de curtido y recurtido, generando licores que presentan concentraciones de cromo (VI) la cual depende de la capacidad de absorción de cromo por la piel tratada, estas constantes descargas repercuten en la contaminación de efluentes; lo que con lleva buscar alternativas para remediar dicha alteración.

Leyva Y Colaboradores han Estudia la adsorción de Cr (VI) en solución acuosa sobre fibra de carbón activado tipo fieltro cuyos datos de equilibrio de adsorción de Cr (VI) sobre la fibra fueron obtenidos en un adsorbedor batch y su concentración por un método colorimétrico.

Los datos experimentales se ajustaron con la isoterma Freundlich; la capacidad de adsorción disminuye al incrementar el PH de 4 a 10, pero aumenta ligeramente al aumentar la temperatura de 15 a 35°C. El efecto del pH se debió a las interacciones electrostáticas entre la superficie y los aniones de Cr (VI) en solución. La capacidad de adsorción es comparado con las capacidades de carbones activados granulares de avellana y

coco. La capacidad de la fibra fue el doble de la de carbones de cáscara de avellana y la mitad de la de carbones de cáscara de coco.

Eggs Y Colaboradores, 2011 , Al analizar los factores cinéticos que afectan la adsorción de cromo (VI) en solución empleando como bioadsorbente la cáscara de arroz modificada químicamente, con hidróxido de potasio 1% m/m o con ácido fosfórico 1M. Al analizar se consideran los siguientes parámetros: pH, tiempo de incubación, masa del bioadsorbente y concentración inicial de Cr (VI); utilizando el método de la difenilcarbazida y por espectrofotometría de absorción atómica, respectivamente. La modificación química de la cáscara de arroz produjo un aumento en la adsorción del Cr (VI). El análisis cinético de la adsorción de cromo (VI) sugiere que el proceso es favorable cuando se trabaja a pH ácido (inferior a 2), se incrementa con la masa de bioadsorbente y con el tiempo de contacto.

Campos Medina, 2008 ha publicado que el fenómeno de adsorción química como una alternativa en el tratamiento de aguas residuales que contienen iones metálicos, específicamente en el estudio del cromo hexavalente el cual al ponerse en contacto con el biomaterial de Ectodermis de Opuntia. El biomaterial se puso en contacto con soluciones de cromo(VI), formando un complejo coloreado con difenilcarbarizada(DFC), con el fin de utilizar el comportamiento de la adsorción; estudiando su cinética, calculándose las isothermas de adsorción de los modelos de Langmuir y Freundlich. Los resultados mostraron que el biomaterial sin un tratamiento químico de



acidificación muestra una adsorción máxima del 50% y a su vez forma el complejo siendo su porcentaje de remoción máxima fue del 40%.

Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012 concluyeron con su investigación que los compuestos de cromo (VI) resultan perjudiciales si son consumidos, siendo la dosis letal de unas pocas medidas. En dosis demasiado bajas, que no son mortales, el Cr (VI) resulta ser altamente cancerígeno. En las curtiembres, el cromo resulta ser un metal pesado utilizado considerablemente en las etapas de curtido y recurtido, generando descargas líquidas identificadas como licores agotados del curtido. Este tipo de descarga presenta una determinada concentración de cromo (VI), la cual depende de la capacidad de absorción de cromo por piel tratada. Los métodos convencionales para el tratamiento de efluentes con metales pesados que incluyen precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico y tecnologías de membrana, resultan ser costosos e ineficaces, especialmente cuando la concentración del metal es muy baja. El empleo de biomasa muerta o productos derivados de ella, elimina el problema de la toxicidad, no necesitándose la adición de nutrientes y pudiéndose, además, liberar y recuperar los metales pesados retenidos así como reutilizar el bioadsorbente. La adsorción por carbón activado es un método ampliamente utilizado para remover contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales. Las características textuales y el comportamiento químico de la superficie de los carbones activados desempeñan su función como adsorbentes. Durante esta investigación se

encontró potencial de adsorción en ambos adsorbentes, encontrando un porcentaje de remoción del 68% de la cáscara de naranja y 98% para el carbón activado a partir de la misma a condiciones favorables de pH, tamaño de partícula y relación masa de adsorbente/Litro de solución contaminante. El modelo más ajustado para la cáscara de naranja fue el pseudo-primer orden y la isoterma de Langmuir, y para el carbón pseudo segundo orden y la isoterma de Langmuir.

Driss Alami, 2010 ha estudiado el aprovechamiento de los residuos agroalimentarios, es una de las soluciones para la eliminación de los contaminantes de la industria que los genera. Se realizó una caracterización física y química del hueso de aceituna. Para ello se han determinado parámetros como superficie BET, la estructura superficial mediante fotografía en tres dimensiones SEM y la fijación del metal absorbido mediante microanálisis, como indicadores de la naturaleza física del hueso de aceituna. En cuanto a las características químicas se han realizado un análisis elemental, el punto de carga nula, los grupos funcionales que presenta la superficie del hueso y el contenido en celulosa, hemicelulosa y lignina.

El estudio en discontinuo se realizó para determinar los factores que pueden afectar a la adsorción como la velocidad de agitación, el pretratamiento del hueso de aceituna, el tamaño de la partícula del hueso, la cantidad de hueso, la concentración del metal elegido, el pH del medio, la temperatura y la influencia de otros metales .

En cuanto al estudio del equilibrio, los resultados experimentales se ajustaron a tres modelos matemáticos para estudiar el equilibrio del proceso: el modelo Langmuir, el de Freundlich y el de Sips.

## **2.2 La Aceituna**

### **2.2.1 Descripciones**

La aceituna u oliva es el fruto del olivo, árbol de la familia de las oleáceas que puede llegar a medir unos 15 metros de altura. La aceituna de mesa tiene todos los aminoácidos esenciales perfectamente equilibrados y una importante cantidad de minerales como el calcio, hierro y vitaminas como la provitamina A, vitamina C y la tiamina. (Moya Lopez Alberto, 2000)

La aceituna es una drupa amarga, donde se pueden distinguir: la parte de la piel exterior, la pulpa de donde se obtiene casi el 70% del aceite y la parte del hueso de donde se obtiene el 30% restante de aceite.

Las aceitunas se clasifican según su consumo:

La aceituna de mesa, se recoge verdes o maduras; su color puede ser: verdes, negras (pueden ser negro rojizo, violáceo, verdoso o castaño oscuro) o de color cambiante (rosadas o castaño).

La aceituna que se utiliza para obtener el aceite de oliva, deben estar maduras. La obtención se puede hacer por presión o centrifugado. El más apreciado es el aceite de oliva virgen extra (obtenido de la primera presión en frío) por su sabor y aromas cautivantes y un amargor característicos. (Moya Lopez Alberto, 2000)

### **2.2.2 Variedades de aceitunas de mesa**

Entre las principales variedades de aceitunas de mesa cultivadas en el Perú y en otras partes del mundo se encuentran las siguientes:

- **Sevillana.** Es la variedad más antigua del país conocida como “criolla”. Se produce principalmente en Huaral, Ica, pisco, Bella Unión, Acari yauca, La ensenada, Mejía, Mollendo, Ilo y Tacna. El árbol es de gran tamaño de color negro-morado intenso.
- **Gordal.** Fruto de característica similares a la Sevilla pero de tamaño más grande que alcanza un peso promedio de 12.5 gramos. Esta variedad es propia de la provincia de Sevilla, el árbol es de altura media, sus frutos son grandes de pulpa firme y madurez precoz de color brillante cuando madura.
- **Manzanilla de Sevilla.** Es la principal variedad española para la industria de conservas de aceituna. El árbol es de tamaño bastante grande, de buena producción, poco exigente en clima y producción semi-temprana con un fruto de color verde amarillento cuya recolección se realiza en el mes de setiembre.
- **Ascolana.** Es una de las principales variedades italianas de mesa, su árbol es de tamaño mayor que mediano y de producción semi-temprana. En el Perú se produce principalmente en las regiones de La Ensenada y Tacna.
- **Otras variedades.** Morona, Cacereña, Camporreal, Jaén, Malagueña, Verdial, Hojiblanca, Aceitunas de Azapa Naturales, etc. (Mincetur, 2017)

### **2.2.3 Variedades cultivadas para la obtención del aceite de oliva.**

Las principales variedades cultivadas para la obtención del aceite de oliva son las siguientes:

- Liguria. Es una variedad aceitera introducida al país procedente de Chile. El árbol es de gran tamaño y muy productivo. La fruta es de tamaño chico, de poca pulpa y hueso grande, color negro intenso en la maduración.
- Pendolina. Es una variedad aceitera de origen italiano utilizada principalmente como polinizante, su árbol es mediano, de buena fructificación y constante. El fruto es de forma ovoide y de tamaño mediano. En el Perú las variedades más cultivadas son la sevillana, Ascolana y Liguria. (Mincetur, 2017)

FIGURA 2.1

ACEITUNA SEVILLANA



Fuente: <http://www.portalfruticola.com>

## 2.2.4 Características fisicoquímicas de la aceituna

TABLA 2.1

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA ACEITUNA SEVILLANA

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA ACEITUNA SEVILLANA		
	Aceituna verde(gr)	Aceituna madura(gr)
Densidad (Kg/L)	1,14	1,07
pH	4,80	5,0
Relación pulpa/hueso	6,0	8,0

Fuente: Instituto de la Grasa (Sevilla), 1985

TABLA 2.2

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ACEITUNA SEVILLANA

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ACEITUNAS VARIEDAD SEVILLANA		
Contenido en 100g de pulpa de aceituna fresca		
	Aceituna verde(gr)	Aceituna madura(gr)
Humedad	71,83	67,54
Grasa	15,64	20,97
Proteínas	1,50	1,57
Ceniza	2,28	2,36
Fibra	1,81	1,64
Carbohidratos	8,60	7,36
Acidez	0,74	1,08
Azúcares reductores	4,80	4,10
Taninos	2,11	1,64
Oleuropeína	2,25	1,98

Fuente: Instituto de la Grasa (Sevilla), 1985

### **2.2.5 El hueso de la aceituna**

El hueso de la aceituna, representa en torno al 15% en peso de la aceituna, y debe diferenciarse entre el generado en las industrias de aderezo de aceituna de mesa y el obtenido en el proceso de obtención de aceite de oliva y de orugo. (Driss Alami, 2010)

El hueso es un combustible con características excelentes de elevada densidad, humedad media del 15%, granulometría muy uniforme y poder calorífico en base seca de 4.500 Kcal/Kg aproximadamente. Es muy adecuado para usos térmicos, tanto en el sector industrial como doméstico y residencial debido a su buen manejo, las bajas emisiones de partículas en su combustión y sus condiciones inodoras. (Driss Alami, 2010)

En la actualidad cada vez están cobrando más importancia los usos en el sector doméstico y residencial para suministro de agua caliente sanitaria y calefacción. La tecnología ha experimentado un gran avance, importándose en la actualidad equipos con muy alto rendimiento y bajos niveles de emisiones. Para facilitar el acopio de combustible se está comenzando a comercializar el hueso en sacos de fácil distribución y manejo, óptimo para su uso en el sector doméstico, y con un precio considerablemente menor al de otros combustibles de similares prestaciones, como el pellet de madera. (Moya Lopez Alberto, 2000)

Otro uso que se puede dar al hueso de la aceituna, tanto entero como el triturado, es usarlo como adsorbente después de someterlo a un proceso de carbonización. Una empresa carboniza el huso entero sin añadir ningún



tipo de sustancias químicas, aumentando su superficie específica y porosidad, consiguiendo comercializarlo bajo una gama de productos naturales como: intercambio iónico, adsorbente de olores, productos de bienestar. (Driss Alami, 2010)

El hueso de aceituna triturado también se usa como adsorbente después de transformarlo a carbón activo aumentando su superficie específica. Este hueso de aceituna después de carbonizarlo se activa y se somete a un proceso de tamizado y finalmente a un acondicionamiento, en forma de polvo o granular, con diversas aplicaciones en la industria alimentaria y como filtro para tratamiento de aguas de industrias. (Driss Alami, 2010)

FIGURA 2.2

HUESO DE ACEITUNA



Fuente: Elaboración Propia

### **2.2.6 Metales pesados**

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles en el agua destacamos el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. (FACSA, 2006)

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o destruidos. Para una pequeña medida que ingresan a nuestros cuerpos a través de los alimentos, el agua potable y el aire. Algunos metales pesados (por ejemplo, cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, a concentraciones más altas pueden conducir a la intoxicación. (Carbotecnia, 2001)

### **2.2.7 Contaminación por metales pesados**

La contaminación con metales pesados puede surgir de muchas fuentes, pero más comúnmente de la purificación de metales, por ejemplo, el smelting (proceso de extracción del metal de la piedra) del cobre o la preparación de combustible nuclear. La electrodeposición es la primera fuente de cromo y cadmio. Mediante la precipitación de estos compuestos o el intercambio de iones hacia los suelos y barros, los metales pesados se pueden localizar y quedar depositados. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no decaen y presentan otros desafíos para remediarlos. (Sandoval, 2006)

### **2.2.8 Efectos biológicos de los metales pesados**

Debido a la movilidad de estos elementos en los ecosistemas acuáticos naturales (aguas superficiales y subterráneas) y a su toxicidad para el sistema biótico, los iones metálicos en general son considerados a nivel mundial como los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente, por su carácter recalcitrante y poder de biomagnificación, sus concentraciones pueden llegar a ser tóxicas, planteando graves problemas para la perennidad de los ecosistemas y la salud del hombre.

Se ha demostrado la acumulación de estos iones metálicos (como Hg, Cr, Cd, Pd, As, V, etc.) en el tejido sanguíneo de madres en gestación y en el cordón umbilical de los nacimientos de estas madres. Además los metales se acumulan igualmente en las diferentes células del cuerpo (cerebro, hígado, riñón, corazón, páncreas, tejido muscular, huesos, sangre, etc.) a complejadas en unos péptidos llamados metalotieninas, libres en el interior celular, propiciando así un aumento en la reacción de Fenton, o también a complejados en las diferentes macromoléculas orgánicas constituyentes de las diferentes células. La dinámica de estos efectos es directamente proporcional a las concentraciones acumuladas a través del tiempo en el cuerpo humano o en organismos vivos, debido a la continua exposición a los metales pesados.

Respirar niveles altos de  $\text{Cr}^{+6}$  puede causar irritación de la nariz, hemorragias nasales, úlceras y perforaciones en el tabique nasal; ingerir  $\text{Cr}^{+6}$  puede producir malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño en el

hígado y riñón, y hasta la muerte. El contacto con la piel puede causar ulceraciones de esta. La EPA (Agencia de protección Ambiental) y la OMS (Organización mundial de la salud) han demostrado que el  $\text{Cr}^{+6}$  es carcinogénico en seres humanos. En bacterias y algas se ha demostrado que el  $\text{Cr}^{+6}$  afecta la producción de lípidos, clorofila, crecimiento celular y aumenta la actividad de la superoxido dismutasa, en respuesta al estrés oxidativo generado por la intoxicación de este ion metálico; produciendo así cambios a nivel morfológico y metabólico. (Sandoval, 2006)

### **2.2.9 Cromo**

El cromo es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cr. Es un metal que se emplea especialmente en metalurgia. Su nombre "cromo" (derivado del griego chroma, "color") se debe a los distintos colores que presentan sus compuestos. Resulta ser un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión. Su estado de oxidación más alto es el +6, mientras que los estados más estables son +2 y +3. (Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012)

El cromo con número de oxidación 6+ (presente en los iones  $\text{CrO}_4^{=}$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{=}$ ) es un oxidante poderoso, altamente tóxico, y está clasificado como un agente carcinogénico. Ciertas labores antrópicas como el revelado de películas fotográficas, los procesos de curtiembre y la galvanoplastia, entre otras, involucran el uso frecuente del cromo. Los vertimientos de estos

efluentes generan impacto en la flora y fauna de las zonas donde se depositan. (Cespedes, Valencia, & Diaz, 2007)

### **2.2.10 Cromo (VI) en la industria**

El cromo se usa, sobre todo en tres industrias: metalúrgica, química y de metales refractarios.

En la industria metalúrgica es un componente esencial de los aceros inoxidable y resistentes, se emplean en planchas de blindaje, proyectiles, cajas fuertes, etc.

Los usos de cromo en materiales refractarios incluyen la fabricación de ladrillos a base de magnesita y cromo para hornos metalúrgicos y el uso de cromita granular para muchas otras aplicaciones que requieren la resistencia al calor.

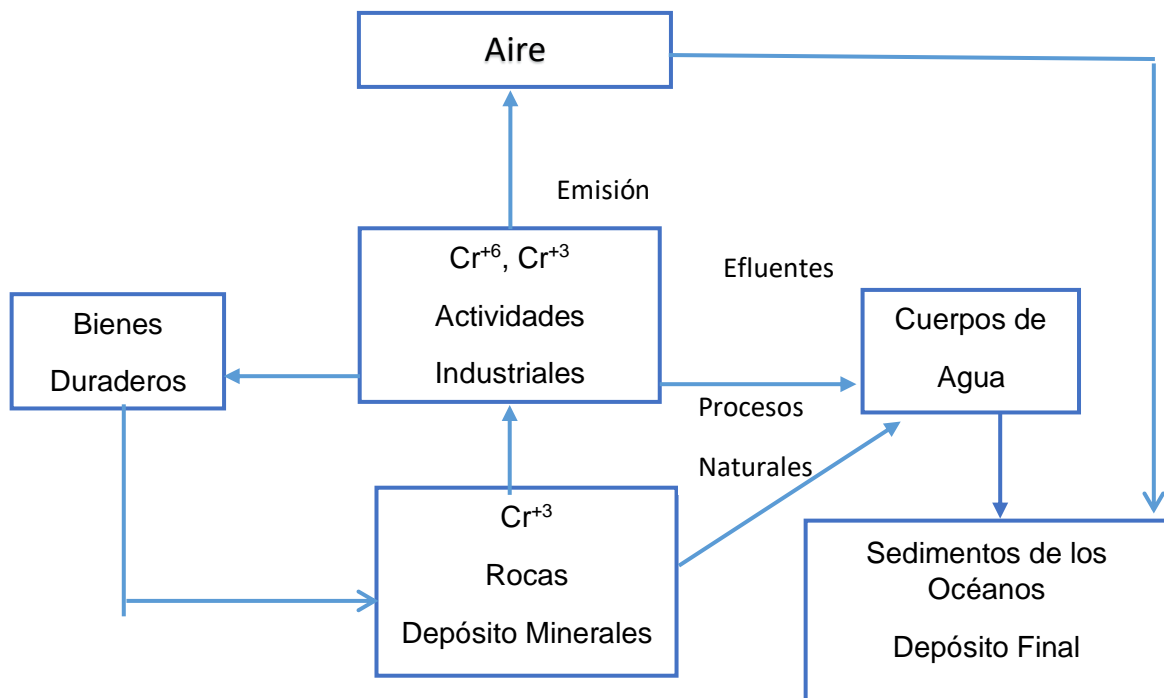
La cromita se usa como aislante en los hornos industriales de alta temperatura que se emplean en la refinación de metales. También se utiliza en la producción de aleaciones, así como en la de diversos compuestos químicos. De éstos, la industria química produce comúnmente los que derivan de cromo (III) y cromo (VI), los cuales se usan para operaciones de cromado, manufactura de pigmentos y colorantes, curtido de pieles y tratamiento de maderas. Cantidades menores de estos compuestos se usan en lodos de perforación, inhibidores de la corrosión, tratamiento de aguas, cerillos de seguridad, materiales fotográficos, cintas magnéticas, textiles y como parte del tóner para las máquinas de fotocopiado. (Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012)

### **2.2.11 Ciclo del cromo en el medio ambiente**

En general, los efluentes industriales que contienen cromo se incorporan a los recursos hídricos, y eventualmente, llegan al océano. La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en las aguas, ya que si se encuentra presente en grandes cantidades, el cromo (VI) será reducido a (III), el cual se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles. De esta manera, se mantendrán en suspensión cerca del sitio de entrada al ambiente, ser transportados al océano, o bien, precipitar y ser incorporados a los sedimentos. En los océanos ocurre un proceso similar. La proporción de cromo (III) es directamente proporcional a la profundidad de los sedimentos. La Figura 2 mostrará a fondo cómo puede el cromo ser arrastrado por las diferentes participaciones del medio ambiente. (Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012)

DIAGRAMA 2.1

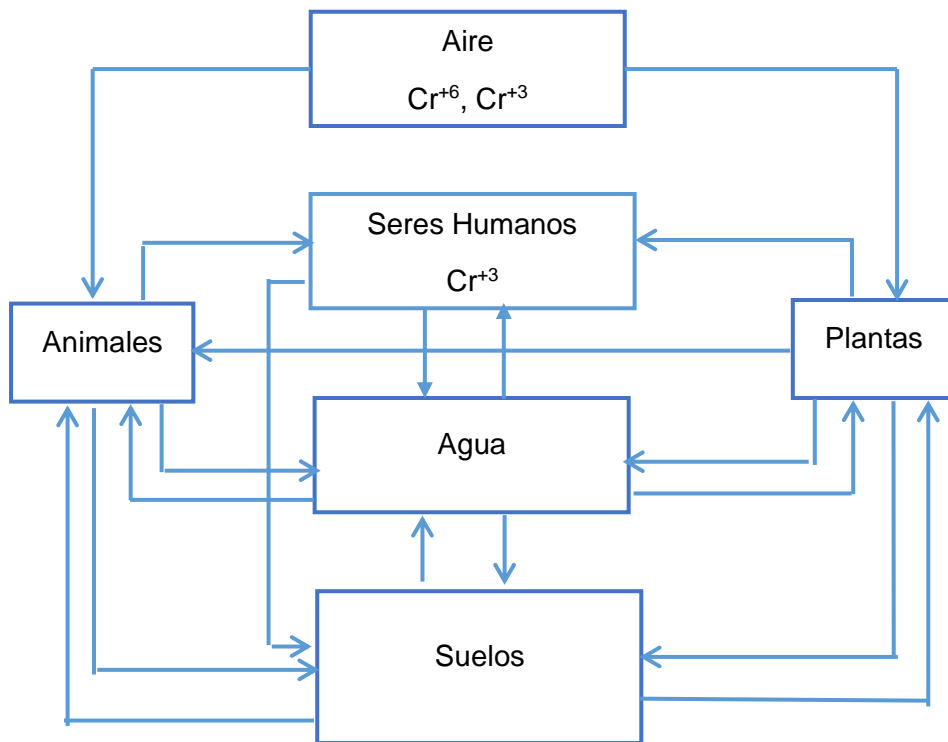
CICLO AMBIENTAL DEL CROMO (VI) Y CROMO (III)



Fuente: Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012

DIAGRAMA 2.2

CICLO AMBIENTAL DEL CROMO (VI) Y CROMO (III)



Fuente: Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012



### **2.2.12 Mecanismo de adsorción de cromo (VI)**

De acuerdo a diversos estudios realizados para diferentes especies de cromo en fase sólida y acuosa demostraron, que el principal mecanismo de eliminación de Cr (VI) para distintos biomateriales fue la reacción de óxido-reducción de Cr (VI) a Cr (III). Los biomateriales como la cáscara de naranja, pueden remover el Cr (VI) de medio acuoso mediante dos mecanismos: (Garzon Santamaria & Gonzales Lopez , 2012)

- Mecanismo de óxido-reducción directo
- Mecanismo de óxido-reducción indirecta

#### **A. Mecanismo directo**

El Cr (VI) se reduce directamente a Cr (III) en la fase acuosa por contacto con el electrón de los grupos donantes del biomaterial, el Cr(III) reducido, forma complejos con el biomaterial.

#### **B. Mecanismo indirecto**

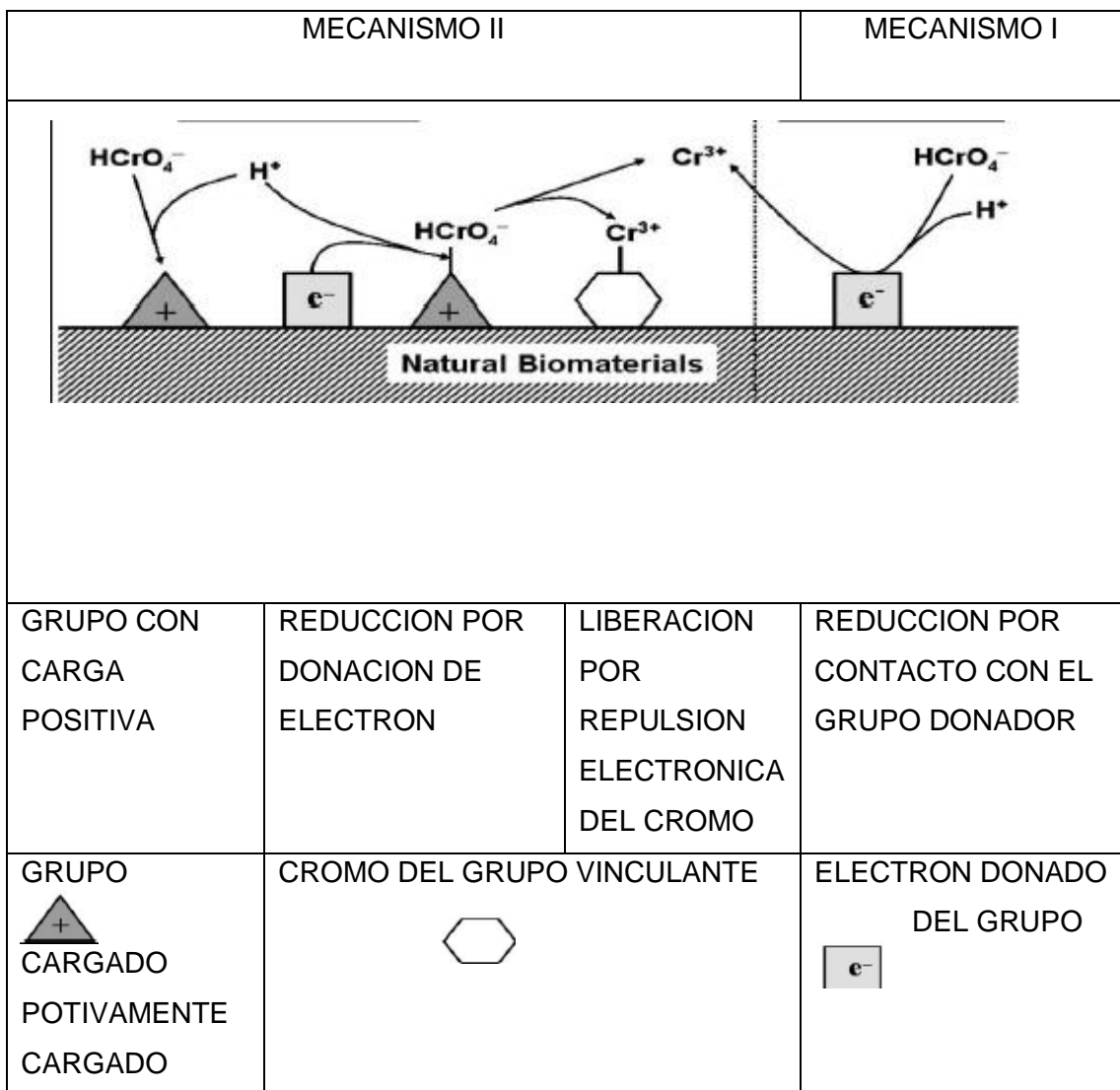
Consta de tres pasos:

- La unión aniónica del Cr (VI) a los grupos cargados positivamente los cuales se encuentran en la superficie del biomaterial, entre estos grupos podemos mencionar los iones carboxilo y amino, presentes en la cáscara de naranja y el quitosano respectivamente.
- La reducción del Cr (VI) a Cr (III) por los grupos donadores de electrones adyacentes del biomaterial.

- Liberación del Cr (III) reducido en la fase acuosa debido a la repulsión electrónica entre los grupos con carga positiva y el Cr (III). (Garzon Santamaria & Gonzales Lopez , 2012)

FIGURA 2.3

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MECANISMO DE ADSORCIÓN DE CROMO (VI)



Fuente: Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012

### **2.2.13 Remoción de metales pesados**

Los metales pesados no pueden degradarse, solo transformarse. Por esto las soluciones actuales de remediación de los iones metálicos requieren de altos costos y un gran avance tecnológico. (Sandoval, 2006)

Los métodos utilizados en la remediación de metales pesados son de dos tipos principalmente:

#### **A. Fisicoquímicos**

##### **❖ Precipitación química.**

Consiste en la retención de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de lechada de cal, hidróxido sódico y otros compuestos que suben el PH. (Sandoval, 2006)

##### **❖ Membranas líquidas.**

Esta técnica se centra en el estudio de los fenómenos de transporte asociados a la permeabilidad de los metales en la membrana líquida. (Sandoval, 2006)

##### **❖ Remoción por carbono activado.**

Los carbones activados presentan una considerable capacidad de adsorción de diversos compuestos, tanto en fase gaseosa como líquida, principalmente gracias a su estructura porosa altamente desarrollada que les confiere una gran superficie específica. Por esta razón, es interesante su aplicación en la remoción de iones metálicos pesados. (Sandoval, 2006)

## **B. Biológicos o Biorremediación**

Es un proceso de catálisis biológica espontaneo o controlado, que busca remediar o eliminar la contaminación ambiental (Glazer y Nikaido 1998). Es utilizada comúnmente para disminuir el contenido de químicos orgánicos de suelos, aguas superficiales, aguas residuales urbanas e industriales y lodos aceitosos de refinerías petroleras. Las técnicas de biorremediación se enmarcan en cuatro categorías: tratamiento in-situ, compostaje, landfarming y birreactores. Los tres procesos de biorremeditación más importantes son: (Sandoval, 2006)

### **a. Fitorremedicacion.**

Consiste en el uso de plantas verdes para contener, remover o neutralizar compuestos orgánicos, metales pesados o radionúcleidos encontrados en la rizosfera. (Sandoval, 2006)

### **b. Biorremediación animal**

Existen animales, como los crustáceos, que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismos capaces de retener los metales pesados. (Sandoval, 2006)

### **c. Biorremediación por medio de microorganismos.**

Los microorganismos pueden inmovilizar iones metálicas por vía activa, como las bacterias que usan sulfatos como aceptor terminal de electrones y activamente producen y excreta un ion sulfito, el cual forma un complejo

insoluble con iones metálicos presentes en la solución. Causando la precipitación de estos. (Sandoval, 2006)

## **2.2.14 Proceso de Adsorción**

### **A. Adsorción**

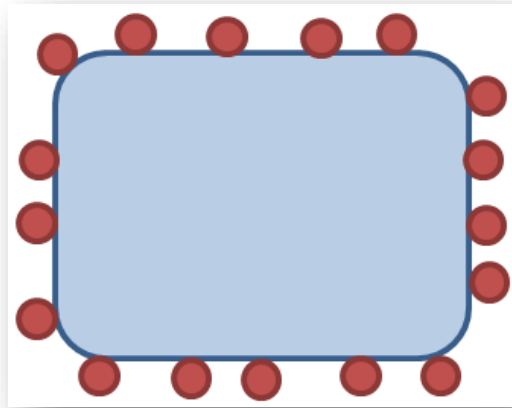
Puede definirse como la tendencia de un componente del sistema (adsorbato) a concentrarse en la interface del adsorbente, donde la composición interfacial es diferente a las composiciones correspondientes al seno de las fases.

La adsorción es la acumulación de una sustancia en una determinada superficie interfacial entre dos fases. El resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido. Considérese una superficie limpia expuesta a una atmósfera gaseosa o líquida que contiene un contaminante. En el interior del material, todos los enlaces químicos (ya sean iónicos, covalentes o metálicos) de los átomos constituyentes están satisfechos.

En cambio, por definición la superficie representa una discontinuidad de esos enlaces. Para esos enlaces incompletos, es energéticamente favorable el reaccionar con lo que se encuentre disponible, y por ello se produce de forma espontánea. (Sevilla, 2000)

FIGURA 2.4

PROCESO DE ADSORCIÓN



Fuente: <http://adsorcion.blogspot.pe/>

La naturaleza exacta del enlace depende de las particularidades de los especímenes implicados, pero el material adsorbido generalmente se clasifica como fisisorbido o quimisorbido.

La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se evapora, y que normalmente dependen de forma importante de la temperatura. Cuanto mayor sea la tasa de adsorción y menor la de desorción, mayor será la fracción de la superficie disponible que quedará cubierta por material adsorbido en el equilibrio.

La adsorción es un fenómeno de superficie, por lo tanto solo servirán como adsorbentes aquellos sólidos que tengan mucha superficie interna, ya que la superficie externa, es relativamente pequeña. (Sevilla, 2000)

## **B. Tipos de Adsorción**

Los tipos de adsorción según la atracción entre soluto y adsorbente son:

### **❖ Adsorción por intercambio**

Los iones del soluto se concentran en la superficie del sorbente, que se halla cargada eléctricamente con signo contrario a los iones del soluto. Si tenemos dos adsorbatos iónicos iguales en varios factores, pero uno con mayor carga que otro, el de mayor carga será el que sea adsorbido. Para adsorbatos con igual carga, el tamaño molecular es el que determina cual será adsorbido. (Vilarrasa Garcia, 2014)

### **❖ Adsorción física**

La adsorción o fisisorción de moléculas involucra fuerzas intermoleculares relativamente débiles. De manera general, estas fuerzas son del tipo dispersivas, dipolar o interacciones de Van Der Waals entre la superficie del adsorbente y las moléculas de adsorbato. (Vilarrasa Garcia, 2014)

### **❖ Adsorción química**

La adsorción química implica la formación de un enlace químico entre la molécula de adsorbato y la superficie del adsorbente, existen multitud de casos intermedios en los que no siempre es posible decidir cuál es el tipo de adsorción de manera inequívoca. La diferencia entre los dos tipos de adsorción se muestra en la siguiente tabla: (Vilarrasa Garcia, 2014)

CUADRO 2.1

DIFERENCIAS ENTRE ADSORCION FISICA Y QUIMICA

Adsorción física	Adsorción química
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo calor de adsorción</li> <li>• No específica</li> <li>• Formación de mono o multicapa.</li> <li>• El adsorbato conserva su identidad.</li> <li>• Sin disociación de las moléculas adsorbidas</li> <li>• importante únicamente a bajas temperaturas</li> <li>• Rápida, no activada, reversible</li> <li>• No hay transferencia de electrones, aunque puede tener lugar una polarización del adsorbato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto calor de adsorción</li> <li>• Altamente específica</li> <li>• Formación de monocapa.</li> <li>• El adsorbato puede perder su identidad.</li> <li>• Puede existir disociación de especies adsorbidas</li> <li>• Posible en un amplio intervalo de temperaturas</li> <li>• Activada, puede ser lenta e irreversible</li> <li>• Hay transferencia de electrones, formando enlaces químicos entre el adsorbato y la superficie del adsorbente</li> </ul>

Fuente: Vilarrasa García, 2014



## **C. Estudio termodinámico**

### **❖ Equilibrio de adsorción**

La adsorción positiva en un sistema solido-liquido proviene de la separación del soluto de la solución y su concentración en la superficie de un sólido hasta que se establece un equilibrio dinámico en la superficie, entre la concentración de soluto que permanece en la solución y la concentración superficial del soluto.

La relación de distribución es una medida de la posición del equilibrio en el proceso de adsorción, y puede ser una función de la concentración del soluto, concentración y naturaleza de los solutos competitivos, naturaleza de la solución, etc. La forma preferida para expresar esta distribución consiste en expresar la cantidad  $q_e$  como una función de  $C$  a una temperatura fija; la cantidad  $q_e$  es la cantidad de soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente sólido, y  $C$  es la concentración de soluto que permanece en solución en el equilibrio. Una expresión de este tipo se llama isoterma de adsorción. La isoterma de adsorción es la relación general entre la cantidad de gas adsorbido por un sólido, a  $T$  constante como función de la  $P$  del gas. O bien, la relación en el equilibrio entre la cantidad de gas adsorbido y la presión del gas a temperatura constante.

Pueden ocurrir varios tipos de relaciones isotérmicas de adsorción. La relación más corriente entre  $q_e$  y  $C$  se obtiene para los sistemas en el cual la adsorción desde la solución da lugar a la deposición de una capa simple

aparente de moléculas de soluto sobre la superficie del sólido. Ocasionalmente, pueden formarse capas multimoleculares de soluto. Entonces, para una descripción rigurosa del proceso debemos recurrir a modelos de adsorción más complejos. (Weber, 1979)

## ❖ **Isotermas de adsorción**

### **a. Isotherma de Langmuir**

El tratamiento de langmuir se basa en las suposiciones de que la adsorción máxima corresponde a una monocapa saturada de moléculas de soluto sobre la superficie del adsorbente, que la energía de adsorción es constante, y que no existe transmigración de adsorbato en el plano de superficie

Es una de las ecuaciones más conocidas y mejor fundamentadas. Se admite generalmente para la quimisorción y para la fisisorción a presiones bajas y temperaturas moderadamente altas. Considerada una adsorción localizada, es decir, sólo en sitios definidos (activos) de la superficie, la cual es homogénea y forma monocapa, es decir, cada sitio de adsorción puede adherir una sola molécula de adsorbato. (Sevilla, 2000)

La energía de adsorción es la misma para todos los sitios activos. Su ecuación general es:

$$q_e = q_{\max} \frac{bC_{eq}}{1 + bC_{eq}} \quad 2.1$$

Se puede linealizar de la forma siguiente:

$$\frac{C_{eq}}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{C_{eq}}{q_{max}} \quad 2.2$$

Donde:

$q_e$  : Son los mg del metal acumulado por g de biomasa (mg/g).

$C_{eq}$ : Los mg de metal residual en la solución (mg/L).

$q_{max}$  y  $b$  son las constantes de la ecuación de lagmuir, que se puede determinar a partir de la representación gráfica de la ecuación o de su forma linealizada. Representan la capacidad máxima de adsorción para una monocapa completa expresada en mg/g y la afinidad entre el adsorbente y el adsorbato en L/mg respectivamente. (Sevilla, 2000)

### **b. Isoterma de Freundlich**

La capacidad de Freundlich concuerda bastante bien con la ecuación de lagmuir y para datos experimentales dentro de un intervalo de concentración moderado. Sin embargo, al contrario de la ecuación de lagmuir, para pequeñas concentraciones (muy bajas) no se obtiene una expresión lineal para la adsorción. No concuerda bastante bien con la ecuación de langmuir a muy bajas concentraciones, ya que  $n$  debe alcanzar un valor límite cuando la superficie está totalmente cubierta. Se suele usar para comparar carbones en polvo utilizados en el tratamiento de agua.

$$q_e = K(C_e)^{1/n} \quad 2.3$$

Se puede linealizar de la forma siguiente:

$$\text{Log } q_e = \frac{1}{n} \text{Log } C_e + \text{Log } K \quad 2.4$$

Dato:

$q_e$ : Cantidad de soluto adsorbido por unidad en peso de adsorbente sólido.

$C_e$ : La concentración de equilibrio (mmol/L)

$K$ : Constante de equilibrio de Freundlich, caracteriza la capacidad de adsorción

$1/n$ : Caracteriza la intensidad de adsorción (Sevilla, 2000)

### c. Modelo de Sips

Fue propuesta por Robert Sips en 1948. Es una combinación de las isotermas de Langmuir y Freundlich. Este modelo al igual que el de Freundlich no se reduce a la ley de Henry para el límite de presión cero. La ecuación del modelo es: (Vilarrasa Garcia, 2014)

$$q_e = \frac{q_{\max}(K_s C_{eq})^{1/n_s}}{1 + (K_s C_{eq})^{1/n_s}} \quad 2.5$$

Donde todos los parámetros tienen el mismo significado que las isoterma de langmuir y freundlich.

A partir de esta expresión y mediante regresión no lineal se puede obtener los parámetros del modelo  $K_s$  y  $n_s$  .

A bajas concentraciones del adsorbente, la isoterma se reduce a la isoterma de freundlich y a altas concentraciones del adsorbato la isoterma predice una capacidad de biosorción en monocapa característica de langmuir. (Vilarrasa Garcia, 2014)

#### **d. Modelo de Redlich –Peterson**

El modelo Redlich-Peterson presenta las características de las isothermas de Langmuir y Freundlich empleando 3 parámetros. El modelo tiene una dependencia lineal entre la concentración del adsorbato en el equilibrio ( $C_e$ ) y la función exponencial  $C_e^G$  (ubicado en el denominador de la ecuación).

$$q_e = \frac{A_{RP}C_e}{1 + B_{RP}C_e^G} \quad 2.6$$

Debido a su versatilidad para representar un sistema de adsorción en equilibrio para un amplio rango de concentraciones, el modelo puede ser aplicado tanto para sistemas homogéneos como heterogéneos. La ecuación linealizada de este modelo se representa por:

$$\ln\left(A_{RP} \frac{C_e}{q_e} - 1\right) = G \ln(C_e) + \ln(B_{RP}) \quad 2.7$$

Donde:

$q_e$  :Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg.L-1)

$C_e$ : Concentración de soluto presente en la solución en el equilibrio (mg.L-1)

$A_{RP}$ ,  $B_{RP}$  y  $G$  : Parámetros de Redlich-Peterson.

El valor de  $G$  varía entre 0 y 1 y determina el grado de heterogeneidad de la superficie siendo más homogéneo al acercarse al 1. De esta manera, la constante  $G$  puede caracterizar una isoterma: si  $G$  es cercano a 1, la isoterma preferida sería la de Langmuir, mientras que, si  $G$  es cercano a 0, la isoterma se aproxima a la de Freundlich. (Obregon Valencia)

#### **e. Modelo de Toth**

Otro modelo empírico es la ecuación de Toth (1971):

$$q = \frac{q_{\max} b_1 p}{[1 + (b_1 p)^n]^{1/n}} \quad 2.8$$

Ecuación que contiene tres parámetros ajustables ( $q_{\max}$ ,  $b_1$  y  $n$ ) y cumple para los límites requeridos tanto para  $p \rightarrow 0$  como para  $p \rightarrow \infty$ . Aunque fue originariamente propuesta para adsorción en monocapa, la ecuación

actualmente tiene una mayor aplicabilidad especialmente cuando es aplicada en isotermas de tipo I. (Vilarrasa Garcia, 2014)

#### **f. Modelo de Temkin**

El modelo de Temkin se basa en dos hipótesis: 1) asume que el calor de adsorción de todas las moléculas en la capa adsorbida disminuye linealmente debido a la repulsión entre el adsorbato y el adsorbente. 2) Considera que existe una distribución uniforme de las energías de adsorción del adsorbato sobre el adsorbente hasta alcanzar un máximo valor de energía de enlace. Su forma lineal se representa de la siguiente manera:

$$q_e = \left(\frac{RT}{b}\right) \ln A + \left(\frac{RT}{b}\right) \ln C_e \quad 2.9$$

Donde,  $q_e$  es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg.L<sup>-1</sup>),  $C_e$  es la concentración de soluto presente en la solución en el equilibrio (mg.L<sup>-1</sup>); T es la temperatura absoluta (K), R es la constante universal de los gases cuyo valor es 8,314J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, la constante b está relacionada con el calor de adsorción; A representa la constante de enlace en el equilibrio correspondiente a la máxima energía de enlace. (Obregon Valencia)

#### **2.2.15 Materiales adsorbentes**

En los últimos años se ha incrementado el empleo de materiales de bajo costo (residuo de algún proceso de la industria) como adsorbentes de metales pesados así como del cromo hexavalente. Estos materiales una

vez utilizados pueden ser desechados, el hueso de la aceituna ha sido utilizado como adsorbente de contaminantes como el hierro (III) y otros metales en soluciones. (Driss Alami, 2010)

Se han considerado otros bioadsorbentes que han resultado eficientes como la elaboración de carbón activado a partir de la cascara de la naranja el cual al realizar su análisis cinético y su características físico químicas, se demuestra su capacidad adsorbentes. (Garzon Santamaria & Gonzales Lopez, 2012)

### **2.2.16 Carbón activado**

#### **A. El Carbón**

El carbón es una roca sedimentada de color negro, muy rica en carbono y en cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrogeno, azufre, oxigeno, y nitrógeno, utilizada como combustible fósil.

#### **B. Tipos de carbón**

❖ Lignito: Se forma al comprimir la turba, posee poco valor calórico, contiene un 30% de carbono y el resto es agua, sustancia pardusca en la que se puede encontrar estructuras vegetales.

❖ Hulla: Se origina por la compresión de lignito, tiene importante valor calórico, es dura y quebradizo, color negro, contiene entre 75% a 80% de carbono.

❖ Antracita: Procede de la transformación de la hulla, poco contaminante, alto poder calorífico, negro brillante, muy duro y contiene una concentración de carbono del 95%. (Sevilla, 2000)



### **C. Carbón activado**

El carbón activado es un sólido poroso versátil, relativamente estable, con alta área superficial y con una estructura de microporos que no constituyen marcadas barreras de difusión aún bajo conformaciones granulares compactas; además es un material renovable, el cual se obtiene a partir de materias primas vegetales (residuos agrícolas, madera, algas, semillas, cortezas), hulla, lignitos, turba y residuos poliméricos (caucho, plásticos, textiles); finalmente, las estructuras tipo grafeno del carbón activado poseen grupos funcionales que en virtud del método de activación o del tratamiento químico (oxidativo o reductivo) confieren al adsorbente características fisicoquímicas de superficie excepcionales, que luego afectan los mecanismos de adsorción.

La influencia de la química superficial de los carbones activados en las propiedades de adsorción es debido a que los grupos presentes en la superficie le confieren selectividad.

El área de un carbón activado es una propiedad que se relaciona con la distribución, la morfología, y el tamaño de los poros; lo que le permite adsorber el cromo, como ión cromato o dicromato, sobre carbón activado granular (CAG), dependiendo de algunas variables como la concentración del adsorbente, pH del medio, la temperatura de adsorción y naturaleza de la superficie del adsorbente. (Cespedes, Valencia, & Diaz, 2007)

### **D. Tipos de carbón activado**

- Pulverizado: siendo su tamaño entre 15 y 25 $\mu$ m
- Granulado: presentan un tamaño medio 1 y 5  $\mu$ m
- Troceado: sin forma
- Con forma: con una forma específica (cilíndricas , disco, ec).

(Sevilla, 2000)

### **E. Propiedades físico químicas del carbón activado**

- Posee una estructura cristalina reticular similar al grafito.
- Extremadamente poroso.
- Todos los átomos en su superficie tienen la habilidad de atraer moléculas. (Sevilla, 2000)
- La diferencia de un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en su superficie. (Sevilla, 2000)
- La activación consiste en multiplicar el área superficial interna creando una estructura porosa. (Sevilla, 2000)
- El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbonos porosos; de acuerdo con la terminología IUPAC, los poros cuyo tamaño no exceden de 2mm son llamados microporos que son donde ocurre el fenómeno de adsorción en mayor medida, los que exceden de 50 mm son llamados macroporos estos son muy importantes en el transporte del adsorbato a través de los mesoporos hasta los microporos, los mesoporos son tamaño intermedio a los valores mencionados (entre 2 y 50 mm). (Sevilla, 2000)

- Capacidad de adsorción: Es la propiedad más importante del carbón activado, siendo una medida de la eficiencia de la adsorción, esta puede ser evaluada por la decoloración de las soluciones que contengan un tinte, el más usado es el azul de metileno que puede ser decolorado por completamente. Una razón por la cual el carbón activado tiene una capacidad de adsorción es debido a la gran área superficial que presenta y que está contenido en un pequeño peso (Lazo Camposano, 2015)
- Densidad relativa: Es el peso en gramos por centímetro cúbico cuando el Carbon es llevado al volumen mínimo. Una densidad relativa alta puede ser ventajosa porque hay más gramos en menos espacios, lo cual significa que mayor cantidad será descargada en igual tiempo, requiriéndose de un menor espacio para almacenar carbón de densidad relativa alta. La ventaja de la densidad relativa alta es que este carbón ocupa menos espacio en el filtro (Lazo Camposano, 2015)
- Tamaño de partícula: es una propiedad que permite un mejor uso de poder adsorbente en base a tamaño óptimo de las partículas y se expresa con el porcentaje de carbón que pasa por una malla determinada con respecto a la masa inicial tomada para la prueba (Lazo Camposano, 2015)
- Pureza: los fabricantes de carbón activado frecuentemente citan en las especificaciones el contenido de ceniza como una indicación de la materia inorgánica presente en su producto. En la práctica muchos carbones de uso general con alto contenido de cenizas son más eficientes en eliminar

impurezas que muchos carbones que tienen bajo contenido de ceniza.  
(Lazo Camposano, 2015)

- Humedad: se determina como pérdida de peso de agua, asumiendo que esta es la única materia volátil presente en el carbón activado y es expresado como porcentaje muestra seca con respecto a la humedad original (Lazo Camposano, 2015)
- PH: Es la medida de la diferencia de potenciales de hidrogeno de carbón activado, originada por la solución en agua de sustancias contenidas en el carbón activado, tanto en caliente a 80°C como en temperatura ambiente debe estar seco. (Lazo Camposano, 2015)

#### **F. Tamaño de poros**

1. Poros de adsorción: Son espacios entre placas graníticas con una separación de entre una cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mucha fuerza.

2. Poros de transporte (poros más grandes): En esta clase de poros solo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, incluso insuficiente para retenerlo, actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en la que hay menor atracción. La distribución del tamaño del poro depende de tres factores:

- Origen de la materia prima.
- Tipo de activación.
- Duración del proceso de activación. (Sevilla, 2000)

### **G. Importancia de la textura porosa del carbón activado**

1. Efecto tamiz molecular: Dependiendo del tamaño de las moléculas del adsorbato, puede suceder que estos sean mayores que algunos de los poros y por tanto no toda la superficie sea accesible a dichas moléculas.
2. Geometría del poro, como la del adsorbato (poro rendija)

Determinadas moléculas pueden penetrar poros con geometrías del tipo rendija y no hacerlo en poros de dimensiones similares y geométricos cilíndricos. (Sevilla, 2000)

### **H. Importancia de la química superficial del carbón activado**

La importancia de los carbones puede encontrarse combinada en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbón (heteroátomos) dando lugar a diferentes grupos superficiales (fenoles, aminas, quinona, cromeno, lantano, pirona, éter, etc). La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente.

Todos los carbones presentan en principio un carácter hidrófobo, obstante podemos disminuir este carácter hidrófobo adicionando grupos superficiales polares. Esto puede conseguirse por oxidación con algún tipo

de agente oxidante, los grupos oxigenados dan lugar a centros primarios de adsorción de moléculas de agua que a su vez adsorberán nuevas moléculas por formación de puentes de hidrogeno, de esta forma aumenta el carácter hidrófila y la mojabilidad, para compuestos inorgánicos en fase acuosa. Este efecto combinado de oxidación y adsorción de humedad de los carbones activados se conoce como “efecto de envejecimiento”.

La naturaleza anfótera, lo cual significa que la superficie del carbón coexisten grupos de carácter ácido y grupos de carácter básico.

El que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá tanto de la concentración de estos grupos como de las fuerzas ácidas o básicas de los mismos, se puede deducir que un carbón de tipo básico será preferible para adsorción de componentes ácidos que un carbón de tipo ácido y viceversa.

Los grupos ácidos tienden a liberar protones, especialmente en los medios básicos, mientras que los grupos básicos tienden a captarlos en medio ácido, de esta forma puede aparecer cargados positivamente o negativamente el carbón.

Si el PH del medio es mayor que el punto de carga cero del carbón ( $PH_{PZC}$ ), PH en el cual el número de carga positiva es igual al de cargas negativas de forma tal que la carga neta sobre la superficie del carbón es cero). Tendremos un predominio de las cargas negativas en la superficie del carbón, por el contrario si  $PH < PH_{PZC}$  obtendremos una superficie cargada positivamente.

Las condiciones en las que un carbón tenga una carga neta positiva serán preferibles para adsorber cationes y aquellos en los que presente una carga neta positiva lo serán para adsorber aniones. (Sevilla, 2000)

### **2.2.17 Proceso de Activación**

El Carbón Activo puede fabricarse a partir de todo tipo de material carbonoso, o bien, a partir de cualquier carbón mineral no grafitico. Sin embargo, cada materia prima brindará características y calidades distintas al producto. En cuanto al proceso de activación, existen dos tecnologías básicas: activación térmica (activación física) y por deshidratación química. (Sevilla, 2000)

#### **A. Proceso de activación física**

El método de activación física tiene lugar en dos etapas: carbonización y activación del carbonizado mediante la acción de gases oxidantes como vapor de agua, dióxido de carbono, aire o mezcla de los mismos, siendo el oxígeno activo del agente activante el responsable de quemar las partes más reactivas del esqueleto carbonoso y el alquitrán retenido dentro de la estructura porosa; y la extensión del quemado depende de la naturaleza del gas empleado y de la temperatura de activación. Es característico en este método un bajo rendimiento en la etapa de activación (30%). (Sevilla, 2000)

El método de activación química se caracteriza porque la carbonización y la activación tienen lugar en una sola etapa, llevada a cabo por la descomposición térmica de la materia prima impregnada con agentes químicos, tales como Ácido fosfórico, Cloruro de zinc, Hidróxido de potasio o Tiocianato potásico. La activación química se realiza casi exclusivamente para carbones producidos de materia prima vegetal de origen reciente. Se obtienen rendimientos de hasta un 50%, y la economía del proceso depende, principalmente de la recuperación del agente activante utilizado. Este método de activación emplea agentes químicos de elevados precios en el mercado. En el presente trabajo se emplea un método alternativo, donde se emplean agentes activantes de iguales características pero a un precio menor. (Sevilla, 2000)

#### Activación por deshidratación química

Este método solo puede aplicarse a ciertos materiales orgánicos, relativamente blandos y que están formados por moléculas de celulosa, como es el caso de la madera. La primera etapa consiste en deshidratar la materia prima mediante la acción de un químico, tal como Ácido fosfórico, Cloruro de zinc o Carbonato de potasio. En una segunda etapa se carboniza el material deshidratado a baja temperatura (500 a 600 °C), obteniéndose automáticamente la estructura porosa. En una tercera etapa, el producto resultante se lava con el objeto de dejarlo tan libre como sea posible del agente químico utilizado, así como para recuperar y reutilizar este último. El grado de activación también puede variarse en este tipo de



proceso, de acuerdo a la cantidad del químico deshidratante utilizado. Cuando puede activarse una misma materia prima, tanto térmicamente como por deshidratación química, el carbón activo producido por la segunda tecnología adquiere poros cuyo tamaño es un poco mayor. (Sevilla, 2000)

### 2.3 Definición de términos

- **Hueso de la aceituna:** productos de desechos de la aceituna proveniente de las almazaras.
- **Carbón vegetal:** es un material combustible sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono (del orden del 98 %)
- **Carbón activado:** adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y una porosidad interna altamente desarrollada.
- **Activación física:** Etapa en la cual el carbón es activado producto de las elevadas temperatura y presencia de un agente oxidante.
- **Activación química:** etapa del proceso en el cual deshidratamos al carbón activado físicamente con un agente activante, para elevar su estructura porosa y área superficial
- **Metal pesado:** Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo.

- **Cromo VI:** un compuesto tóxico hallado ciertas veces en el agua, es una forma cancerígena del metal cromo en estado de oxidación. No tiene olor ni sabor, y puede ser encontrado en forma natural en rocas, suelo y plantas.

Dado que el cromo es utilizado industrialmente en una amplia variedad de productos, puede ser liberado al medio ambiente por medio de la erosión y las fugas. Como contaminante industrial, es muy común encontrarlo en el agua. La toxicidad del cromo hexavalente puede causar daños en el hígado, problemas reproductivos y de desarrollo, y también cáncer.

- **Material adsorbente:** material que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas. Se caracterizan por una alta superficie específica.
- **Porosidad:** es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total.
- **Superficie específica:** es una propiedad de los sólidos la cual es la relación entre el área superficial total y la masa del sólido.
- **Adsorción:** es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.
- **Adsorbato:** Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente: el adsorbato se adhiere sobre la superficie del adsorbente.

- **Adsorción física:** se debe a débiles fuerzas atractivas, generalmente fuerzas de Van der Waals. El adsorbato no está fijo en la superficie del adsorbente, sino que tiene movilidad en la interfase.
- **Isoterma de adsorción:** Es la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio a una temperatura constante.
- **Fuerza de Van der Waals:** son fuerzas de estabilización molecular; forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos (Sevilla, 2000).

### **III.VARIABLES E HIPOTESIS**

#### **3.1 Variables de la investigación**

X= Proceso para la obtención de carbón activado, a partir del hueso de la aceituna para adsorción de Cr+6.

$$X= f (Y1, Y2)$$

#### **3.2 Operacionalización de variables**

##### **3.2.1. Variable independiente**

Y<sub>1</sub> = Fundamento de ingeniería de procesos

- Tamaño de partícula: mm (malla)
- Condiciones de operación: ( T° =°C, P=atm, PH)

Y<sub>2</sub>= Determinación de la capacidad de adsorción (m<sub>eq</sub>/L)

##### **3.2.2. Variable dependiente**

X<sub>1</sub> = Proceso de obtención

- Rendimiento %
- Tiempo de reacción , h
- Relación de impregnación R/S
- Propiedades fisicoquímicas S<sub>g</sub> = m<sup>2</sup>/gr

#### **3.3 Hipótesis general**

Los fundamentos de ingeniería de procesos nos permitirán analizar y desarrollar el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.

### **3.3.1. Hipótesis Específicas**

a. Los fundamentos disponibles nos permitirán analizar y seleccionar la tecnología adecuada para el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.

b. Los fundamentos de la ingeniería de proceso bien formulados nos permitirá obtener condiciones favorables del proceso de obtención de carbón activado a partir del hueso de la aceituna.

c. Las técnicas de análisis bien formuladas nos permitirá determinar la capacidad de adsorción del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.

## **IV.METODOLOGIA**

En el presente trabajo de investigación, para lograr los objetivos propuestos relacionado con el proceso de obtención del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna, utilizamos la siguiente metodología.

### **4.1 Tipo de investigación**

El tema se encuentra ubicado dentro del área de catálisis adsorbentes, diseño de reactores y en la de ingeniería de procesos, porque responden a los principios de adsorción, y a la ingeniería de procesos.

Este trabajo es una investigación experimental, predictiva y explicativa que utiliza técnicas de las ciencias aplicadas, tecnológicas y sustantivas para su elaboración.

### **4.2 Diseño de la investigación**

#### **a. Definir el escenario de la investigación**

El presente trabajo de tesis ha tenido como escenarios el laboratorio de investigación, desarrollo e innovación, laboratorio de operaciones unitarias (LOPU) de la FIQ-UNAC y laboratorio de servicios analíticos generales (LABORATORIO AMBIENTAL).

#### **b. Preparación del hueso de la aceituna**

La muestra pasó por una etapa de lavado en la cual se retira toda la carga orgánica residual de la separación del hueso de la pulpa, luego se deshidrata el hueso de la aceituna para obtener una muestra seca lista para la carbonización.

### **c. Diseño del equipo experimental**

Utilizamos los fundamentos de la ingeniería de procesos ya que nos proporciona el método de selección de tecnología y el desarrollo respectivo para la determinación del proceso adecuado.

### **d. Elegir el método o modelo de diseño**

Los fundamentos del proceso de elaboración de carbón activado nos han proporcionado las etapas a seguir para la obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna.

### **e. Determinar las variables del proceso**

Se utilizó la información científica relevante, para cuantificar los indicadores de las principales variables como: tamaño de partícula, relación de impregnación y temperatura de carbonización, para la selección y desarrollo de la tecnología adecuada para la producción de carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.

## **4.3 Población y muestra**

- Población: 150 gr de carbón activado de hueso de aceituna
- Muestra : 20 gr de carbón activado

## **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se menciona en el diseño de investigación y es el método de cuantificación, método comparativo y descriptivo, método de análisis instrumental.

## **4.5 Procedimiento de recolección de datos**

En esta etapa se procedió a desarrollar la elaboración de carbón activado a partir del hueso de la aceituna, posteriormente se realizó la determinación

de su capacidad de adsorción, con el propósito de cumplir con los objetivos y las hipótesis de la presente tesis. Se ha hecho la recolección de información sobre características físicas y químicas del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.

#### **4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos**

La información resultante de la elaboración del carbón activado a partir del hueso de la aceituna fue procesada por el programa Excel, de manera que el procesamiento de la información resultara lo más sencillo posible y quede disponible para los requerimientos del presente trabajos. Los datos que se han obtenido en los ensayos de laboratorio sirvieron para contrastar las hipótesis planteadas.

#### **4.7 Método**

##### **4.7.1 Método de elaboración del carbón activado**

Se ha usado los fundamentos de la ingeniería de procesos. La muestra de hueso de la aceituna fue lavada y luego deshidratada en una estufa.

El hueso de la aceituna previamente deshidratado fue llevado a una mufla a 900°C para la carbonización, luego retiramos de la mufla y procedemos a reducir de tamaño.

##### **Activación química**

Se mezcló el hueso calcinado con una solución de hidróxido de sodio (agente activante) con una relación de impregnación de 2:1 y 4:1 formando



una pasta que luego es secada y deshidratada en una mufla a una temperatura de 200°C.

Luego se procedió a la etapa de lavado para eliminar el exceso de agente activante, se continuó con la etapa de deshidratación y tamizado. Finalmente se determinó la capacidad de adsorción de Cr VI de nuestro carbón activado.

## **4.8 Materiales y Equipos**

### **4.8.1 Materia prima e insumos**

- a) **Materia prima** : hueso de la aceituna (lavado y deshidratado)
- b) **Agente de impregnación** : hidróxido de sodio
- c) **Agente contaminante** : dicromato de potasio
- d) **Insumos**: agua destilada , tiras de PH

### **4.9 Equipos y accesorios.**

- Estufa (alcance de temperatura 20°C a 300 °C )
- Mufla (alcance de temperatura 20°C a 1250°C)
- Baño Maria con agitación
- Balanza digital
- Desecador
- Crisoles
- Capsulas
- Espátula
- Mortero

- Tamiz
- Cronometro
- Matraces de 500ml
- Picetas
- Pipetas
- Fiolas
- Espectrofotómetro
- Vasos precipitados(500ml ,250 ml)
- Embudos
- Papel filtro equivalente wathman 42
- Caballetes de madera
- Tubos de ensayo
- Bagueta

#### **4.10 Diseño Experimental**

##### **1. Bases de diseño.**

Se ha estudiado la elaboración de carbón activado a partir del hueso de la aceituna en forma experimental mediante la ingeniería de procesos.

Las variables cuantitativas importantes son: la relación de impregnación y el tamaño de la partícula.

Los experimentos se realizaron a nivel de laboratorio para la elaboración del carbón activado y la determinación de los efectos de las variables

mencionadas sobre la capacidad de adsorción de Cr VI del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.

Se seleccionó el diseño factorial para analizar los efectos causados por los diferentes factores estudiados durante el proceso de elaboración de carbón activado. Esto permite visualizar la influencia de cada uno de ellos sobre la capacidad de adsorción del carbón activado a partir del hueso de la aceituna e interacción entre ellas mismas.

La estructura del diseño de experimento fue del modelo  $2^2$ , donde la base representa para este diseño dos niveles alto y bajo y el exponente representa los dos factores como lo son relación de impregnación y tamaño de partícula, dando un total de 4 experimentos en la obtención de las condiciones de operación óptima para la capacidad de adsorción del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.

TABLA 4.1

FACTORES Y NIVELES

FACTOR	ASIGNACION	NIVEL BAJO	NIVEL ALTO
Tamaño De La Partícula (mm)	A	polvo	granular
Relación De Impregnación	B	2:1 / 4:1	2:1 / 4:1

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 4.2

**DISEÑO EXPERIMENTAL 2<sup>2</sup>**

N° de experiencias	VARIABLE		VECTOR DE RESPUESTA
	A	B	% ADSORCION
1	polvo	2:1	-
2	polvo	4:1	51
3	granular	2:1	-
4	granular	4:1	-

Fuente: Elaboración Propia

**2. Operación y control de prueba**

Durante la operación de la prueba experimental se han controlado las siguientes variables:

- Temperatura de la estufa
- Temperatura de la mufla
- PH del carbón activado obtenido
- Tiempo de contacto entre el carbón activado obtenido y la solución de Dicromato de potasio.

## 4.11 Desarrollo Experimental

### Elaboración del carbón activado

#### 1. Preparación del adsorbente: Pepa de la aceituna

- Se utilizó 10 Kg de aceituna.
- Se realizó una selección de las pepas de aceituna que se encuentren en mejor estado.
- Se sometió el material a un lavado con agua para retirar compuestos solubles y eliminar suciedades e impurezas.
- Luego de extraer el hueso de la aceituna y realizar lavados continuos para retirar la materia orgánica. Obtuvimos 1.136Kg de pepa húmeda.
- Con los datos anteriores hallamos el % de material usable para la elaboración de nuestro carbón activado, con la siguiente formula :

$$\frac{\text{Peso de la pepa deshidratada}}{\text{Peso inicial de la aceituna}} * 100 \quad 5.1$$

$$\frac{998.12 \text{ g}}{10\ 000 \text{ g}} * 100 = 9.98\%$$

El 9.98 % de peso de la aceituna será útil para la elaboración del C.A

Después de la carbonización del hueso de la aceituna obtuvimos un peso final de 150 gr

$$\frac{150 \text{ g}}{998.12 \text{ g}} * 100 = 15\%$$

- Se realizó un secado en estufa a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante 16 horas o peso constante.

El 15 % de peso de la aceituna deshidratada será útil para la elaboración del C.A.

## **2. Etapa de carbonización**

- Se colocó las pepas deshidratadas en cápsulas acondicionadas (secadas a 110 °C luego llevadas al desecador por una hora y pesada), las cuales pesaremos y llevaremos a una mufla a 900°C por 4 horas.
- Luego de las 4 horas apagamos la mufla y dejamos enfriar (abrir la puerta de la mufla 20 grados) por 1 horas.
- Pasada 1 hora llevar las cápsulas que contienen el hueso de la aceituna carbonizada a un desecador hasta enfriamiento total (aproximadamente 1 horas) y pesar.

## **3. Reducción del tamaño de la muestra**

- Pasamos el hueso de la aceituna carbonizado a un mortero, en el cual se redujo el tamaño del carbón (granular y polvo).

Los 150 g de carbón obtenido se sometieron a la clasificación de partículas en un tamiz separando en polvo las partículas con diámetro menor a 0.445 mm y granular en partículas con tamaño entre 0.445-0.5 mm.

## **4. Etapa de activación química**

- Se pesó dos muestras de hueso carbonizado y reducido (ambas con el mismo peso), tanto en polvo como granular para cada relación de impregnación(2:1 y 4:1).

### ❖ **Impregnación A:B**

A= cantidad de NaOH

B= Hueso carbonizado

- Se pesó la cantidad de hidróxido de sodio según la cantidad de hueso carbonizado pesado (para cada una de las impregnaciones).
- Se diluyó el NaOH con agua desionizada en vasos precipitados.
- Se agregó el hueso carbonizado a los vasos precipitados que contienen la solución de NaOH.
- Se dejó reposar por 2 horas.

#### **4.1. Carbonización de la pasta (hueso carbonizado más agente activante)**

- Colocamos la pasta obtenida en capsulas y llevamos a la mufla a 200 °C por 2 horas.
- Dejamos enfriar por 1 hora (abrir la puerta de la mufla 20°C aprox.)

#### **4.2. Etapa de lavado , secado y tamizado**

- Se realizó lavados continuos hasta obtener un PH =7 en el agua de lavado.
  - Secamos las muestras por 16 horas o peso constante a 110°C
  - Realizamos el tamizado separando las partículas de tamaño polvo y granular.
- ❖ El proceso se realizó para dos relaciones de impregnación.

Para determinar la cantidad de Hidróxido de sodio, que se requiere para activar el carbón obtenido se tomó la sugerencia del manual del carbón

activado, que indica que la activación con KOH se logra usando las relaciones de impregnación de 2:1 y 4:1, en nuestro caso tomamos las mismas relaciones de impregnación pero con el NaOH por su bajo costo. Por lo tanto si tomamos 60 g de carbón para la relación de impregnación 2:1 se requiere 30 g de NaOH y si tomamos la misma cantidad para la relación de impregnación 4:1 se requiere 15 g.

### **Curva de calibración**

1. Inicialmente se preparó una solución patrón pesando 0.1415 g de dicromato de potasio en 100 ml de agua desionizada que representa una concentración de 500ug Cr/ml.
2. Se realizó la curva reduciendo la concentración de la solución madre de 500ppm a 50ppm tomando 10 ml de solución patrón en una fiola de 100 ml constituyendo la nueva solución madre.
3. Hemos realizado la curva en un rango entre (0-10) ppm tomando alícuotas de la solución madre.
4. Utilizando el software de Microsoft Excel se obtuvo la curva de calibración.



### **Procedimiento cualitativo.**

1. Se pesó 4 muestras de carbón activado de 1.5 gramos de cada tamaño de partícula.
2. Se preparó 4 soluciones de 0.5 ppm de solución de dicromato de potasio en vasos precipitados, para cada tamaño de partícula.
3. Se agregó a cada vaso precipitado las muestras pesadas de carbón activado, dejando un intervalo de tiempo de 2 horas, dos vasos de cada tamaño de partícula con una agitación de  $0.55\text{min}^{-1}$  a temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
4. Se realizó una filtración con filtro lento equivalente a papel whatman 42.
5. Se procedió a leer en el espectrofotómetro a la longitud de onda determinada por la corrida espectral del dicromato de potasio.

### **Procedimiento cuantitativo**

1. Se pesó 4 muestras de carbón activado (fino) de 1g por cada punto de la curva.
2. Se preparó 4 grupos de soluciones 0.5 ppm, 1 ppm ,2.5 ppm ,5 ppm y 10 ppm.
3. Se agregó a cada vaso precipitado las muestras pesadas de carbón activado, dejando un intervalo de tiempo de 2 horas. dos vasos de cada tamaño de partícula con una agitación de  $0.55\text{min}^{-1}$
4. Se realizó una filtración con filtro lento equivalente a papel whatman 42.
5. Se procedió a leer en el espectrofotómetro.

## V.RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la presente tesis son:

### 5.1 Resultados obtenidos de la elaboración del carbón activado

- ❖ Luego de la deshidratación obtuvimos 998.12 g de pepa deshidratada
- ❖ El 15 % de peso de la aceituna deshidratada fue útil para la elaboración del Carbón activado.
- ❖ Luego del proceso de activación química se obtuvo una sobresaturación de hidróxido de sodio en la relación de impregnación 2:1(polvo y granular).

### Curva de calibración

Los resultados de la curva de calibración del dicromato de potasio fueron:

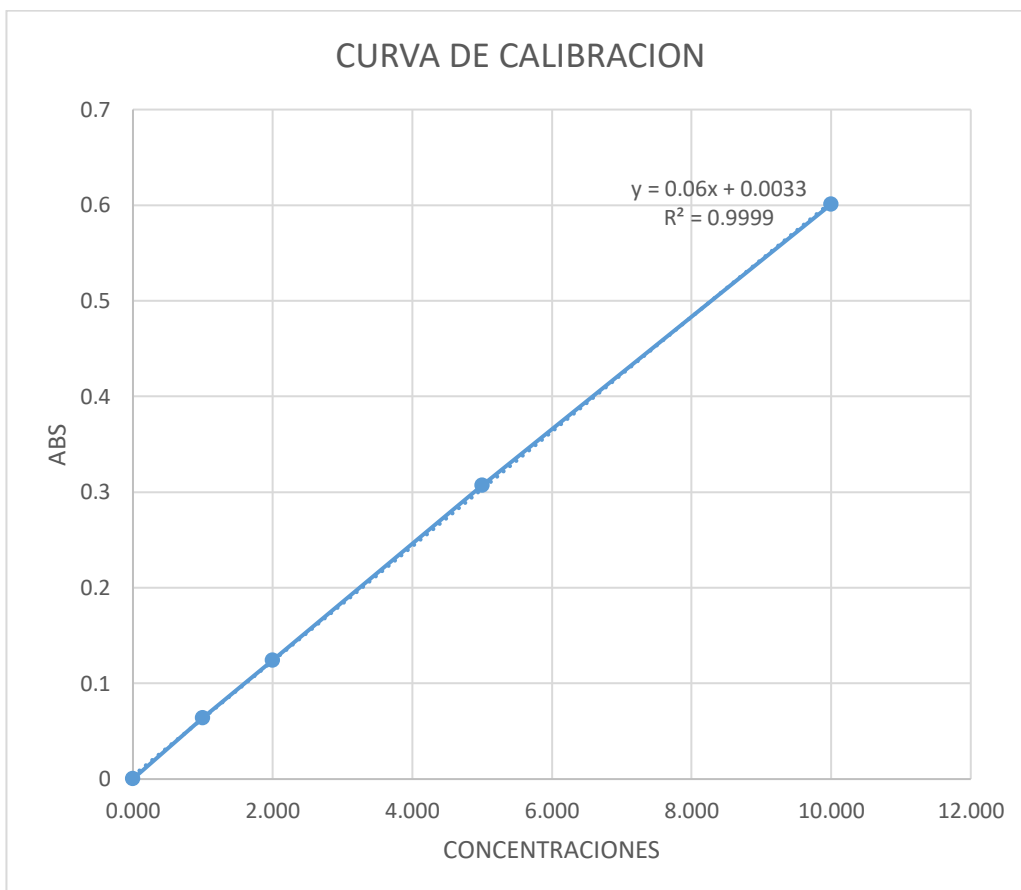
TABLA 5.1

LECTURA ABSORBANCIA CONCENTRACION DE DICROMATO

	<b>CONCENTRACION</b> <b>mg/l</b>	<b>ABSORBANCIA(ua)</b>
BK	<b>0.000</b>	<b>0.0002</b>
STD1	<b>1.001</b>	<b>0.0638</b>
STD2	<b>2.001</b>	<b>0.1244</b>
STD3	<b>5.001</b>	<b>0.3072</b>
STD4	<b>10.001</b>	<b>0.601</b>

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 5.1  
CURVA DE CALIBRACION DE DICROMATO



Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 Resultados de la adsorción de dicromato de potasio por el carbón activado.

Después del análisis instrumental de la prueba cualitativa se obtuvo mejor rendimiento con el carbón activado en polvo.

### a) Determinación de las absorbancias

Los resultados de la absorbancia obtenida con el espectrofotómetro en cada una de las soluciones de dicromato fueron las siguientes:

TABLA 5.2

CONCENTRACION VS ABSORBANCIA DE DICROMATO

$C_0$	ABS
0.5	0.0210
1	0.0317
2.5	0.0764
5	0.1622

Fuente: Elaboración Propia

**b) Determinación de las concentraciones en el equilibrio**

Determinamos la concentración de equilibrio mediante la curva de calibración obtenida según la siguiente formula:

$$C_{eq} = (ABS - 0.0033)/0.06 \quad 5.1$$

TABLA 5.3

DETERMINACION DE CONCENTRACION DE EQUILIBRIO

CONCENTRACION	ABSORBANCIA	CONCENTRACION DE EQUILIBRIO( $C_{eq}$ )
0.5	0.018	0.245
1	0.0329	0.493
2.5	0.0789	1.260
5	0.1568	2.558

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los resultados anteriores obtenemos la cantidad de dicromato de potasio restantes en el estado de equilibrio.

La masa de dicromato de potasio adsorbido se halla con la siguiente ecuación:

$$\text{Masa B (mg)} = V \text{ (L)} * (C_0 - C_{eq}) * (\text{mg/L}) \quad 5.2$$

Donde:

V: es el volumen de disolución del dicromato de potasio (L).

C<sub>eq</sub>: Concentración en equilibrio de adsorción.

C<sub>0</sub>: Concentración inicial del adsorbato.

TABLA 5.4

DETERMINACION DE MASA ADSORBIDA DE DICROMATO

<b>C<sub>0</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>C<sub>eq</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>masa B</b> <b>(mg)</b>	<b>Masa A</b> <b>(g)</b>	<b>q</b> <b>(masa B/masa A)</b>
0.5	0.245	0.013	1	0.0127500
1	0.493	0.025	1	0.0253333
2.5	1.260	0.062	1	0.0620000
5	2.558	0.122	1	0.1220833

Fuente: Elaboración Propia

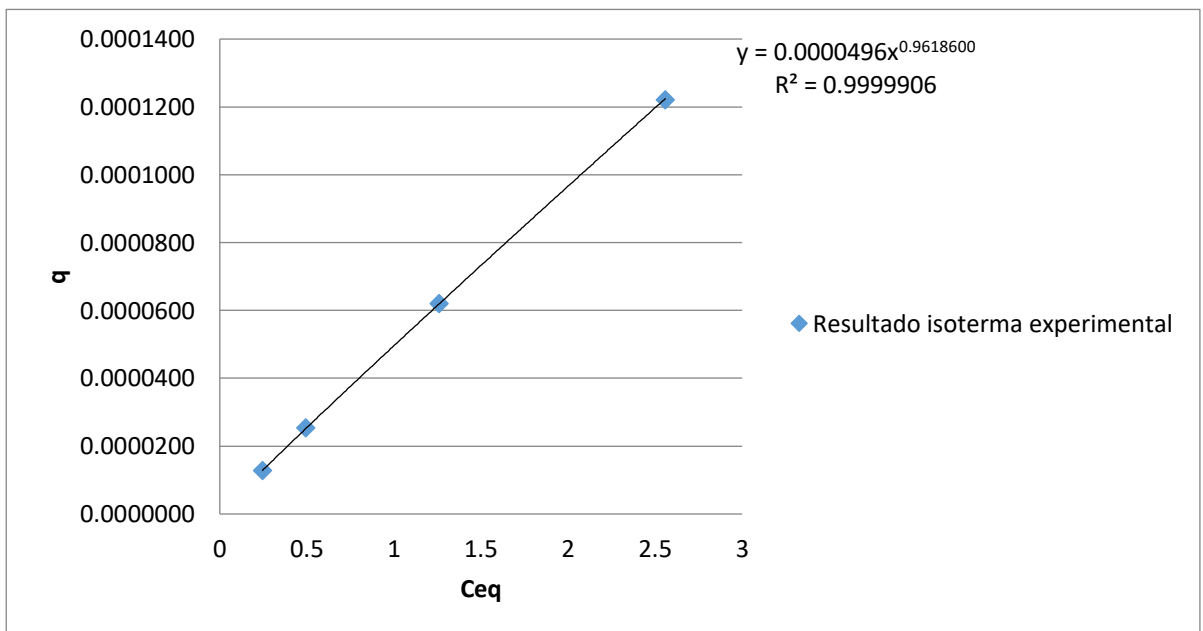
Masa A: masa del carbón activado (mg)

Masa B: masa adsorbida del dicromato de potasio (mg)

### c) Correlación de los datos obtenemos con la isoterma de Freundlich

Correlacionamos  $C_{eq}$  VS  $q$  con el modelo de Freundlich, aplicando Microsoft Excel, obtenemos la siguiente curva.

GRAFICA 5.2  
ISOTERMA DE FREUNDLICH



Fuente: Elaboración Propia

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$q = 0.0496 * C_{eq}^{0.962}$$

5.3

Comparamos con la isoterma de Freundlich y determinamos las constantes:

$$q = K_F \cdot C_{eq}^{(1/n)} = 0.0496 \cdot C_{eq}^{0.962} \quad 5.4$$

Deducimos:

$$K_F = 0.0496$$

$$n = 1.0395$$

**d) Correlación de los datos obtenemos con la isoterma de Langmuir.**

Correlacionamos  $C_{eq}$  VS  $q_{eq}$  con el modelo de Langmuir, aplicando Microsoft Excel, obtenemos la siguiente curva.

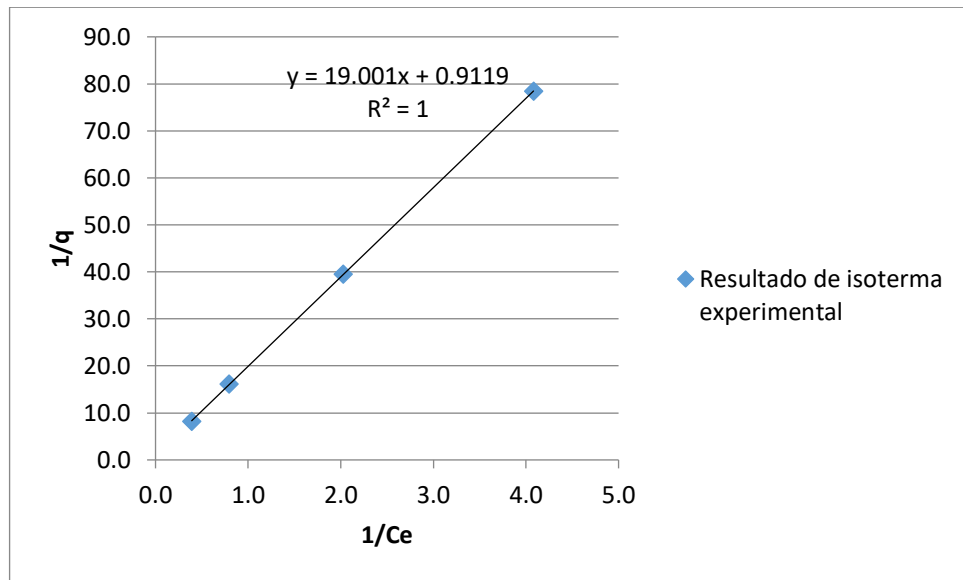
TABLA 5.5

DETERMINACION DE  $1/C_{eq}$  y  $1/q_{eq}$

Concentración adsorbida ( $C_0$ )	$1/C_{eq}$	$1/q_{eq}$
0.26	78.4	4.1
0.51	39.5	2.0
1.24	16.1	0.8
2.44	8.2	0.4

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 5.3  
ISOTERMA DE LANGMUIR



Fuente: Elaboración Propia

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$19.001 x + 0.9119 = 1/q_{\max} K C_{\text{eq}} + 1/q_{\max} \quad 5.5$$

Comparamos con la isoterma de Langmuir y determinamos las constantes:

$$19.001 = 1/ (q_{\max} K) \quad 5.6$$

$$0.9119 = 1/q_{\max} \quad 5.7$$

Deducimos:

$$q_{\max} = 1.0966$$

$$K = 20.8367$$



**e) Capacidad de adsorción**

**TABLA 5.6**  
**DETERMINACION DE PORCENTAJE DE ADSORCION**

<b>Numero de prueba experimental</b>	<b>Concentración inicial del K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub></b>	<b>Concentración adsorbida</b>	<b>%</b>
1	0.5	0.255	51.00
2	1	0.5067	50.67
3	2.5	1.2400	49.60
4	5	2.4417	48.83

Fuente: Elaboración Propia

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados**

Los resultados nos muestran que el hueso deshidratado representa el 9.98% del peso total de la aceituna, también que el 95% del hueso deshidratado es material volátil a una temperatura de 900°C y solo el 15% del hueso deshidratado es carbón útil para la elaboración del material activado.

En la activación química la impregnación de 2:1, se produjo una sobresaturación de NaOH, la cual se solidificó dificultando así su molienda y la impregnación 4:1 resultó con mejores características para la etapa de molienda y por ende su activación.

Los modelos usados Langmuir y Freundlich ajustan los datos experimentales en un orden de ajuste de  $r = 0.999-1$ .

El porcentaje de recuperación del carbón activado con agitación de  $0.55\text{min}^{-1}$  por dos horas y temperatura de 25°C es del 51 % del dicromato disuelto en el agua

### **6.2 Contrastación de resultados con otros similares**

A menor tamaño de malla del carbón activado se obtiene una mayor adsorción de Cr (VI) lo cual también concluye la tesis "Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de naranja y determinación de su capacidad de adsorción, el cual también cumplió con la isoterma de Langmuir por lo cual se considera una máxima adsorción en monocapa.

Diversos trabajos usan para la activación química  $H_3PO_4$ , nosotros hemos usado el NaOH resultando ser más económico y eficiente que otros impregnantes químicos.

El proceso utilizado para la obtención del carbón activado fue el siguiente: deshidratado, calcinado, triturado, tamizado, activación química, lavado y secado; donde dicho proceso también es usado para la obtención de otros carbones activados.

## **VII.CONCLUSIÓN**

- a) Se ha desarrollado el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna para determinar su capacidad de adsorción de Cr (VI) en la solución de dicromato.
- b) Se ha analizado fuentes bibliográficas disponibles, como son tesis y otros, para el proceso de obtención del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.
- c) Se ha analizado y desarrollado el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna con las siguientes condiciones: temperatura, rendimiento, tiempo, relación de impregnación; siguiendo las siguientes etapas: Deshidratado, calcinado, triturado, tamizado, activación química, lavado y secado.
- d) Se ha evaluado y determinado la capacidad de adsorción del carbón obtenido a partir del hueso de la aceituna que fue 51%.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar pruebas de adsorción del carbón activado a partir del hueso de la aceituna a diferentes temperaturas, PH, agitación y tiempo de adsorción.
2. Realizar pruebas de porosidad y de grupos funcionales del carbón obtenido.
3. Realizar estudio cinético para determinar la velocidad de adsorción del adsorbato por el adsorbente.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1]. HERRERIAS MOLINA JOSE ANGEL. **Obtencion De Aceites De Oliva Virgenes**. España. IC EDITORIAL. 2013

[2]. MANAHAN, STANLEY. **Introduccion A La Quimica Ambiental**. Mexico.REVERTE.2007.

[3]. MENCIAS RODRIGUEZ EMILIO & MAYERO FRANCO LUIS. **Manual De Toxicologia Basica**. Madrid. Ediciones Diaz De Santos. Edicion 1. 2000

[4]. VARGAS GARCIA, C., ANDREU RODRIGUEZ, F., FERNANDEZ GUELFO, L., FERNANDEZ MORALES, F., GARCIA MORALES, J., MELGAR RAMIREZ, R., SUAREZ ESTRELLA, F. **De Residuo A Recurso , El Camino Hacia La Sostenibilidad**. España. AEDOS S.A. (2007).

[5]. VOLESKY B. **Removal and recovery of heavy metals by biosorption**. Editorial Florida.1990.

[6]. WEBER, WALTER J. **Control De La Calidad Del Agua Procesos Fisicoquímicos**. Barcelona. Reverte. 1979

[7]. DRISS ALAMI SALOUA BEN. **Aprovechamiento De Hueso De Aceituna Biosorcion De Iones Metalicos**. Tesis Doctoral. Colombia. Universidad De Granada.2010.

[8]. GARZON SANTAMARIA JORGE ARMANDO & GONZALES LOPEZ LUIS ALFRESO. **Adsorcion De Cr (VI) Utilizando Carbón Activado A**

**Partir De Cáscara De Naranja.** Título De Ing. Químico.  
Colombia.Universidad De Cartagena.2012

[9]. JACINTO SOTO HIGINIO. **Potencial Contaminacion Por Cromo En El Proceso De Refinacion Del Petroleo.** Título Ing. Químico. LIMA. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. 2006.

[10]. LAZO CAMPOSANO, ROBERTO. **Operaciones Y Procesos Para La Produccion De Carbon Activado A Partir De La Cascara De Coco.** Informe final de proyecto de investigacion. Universidad Nacional Del Callao, Facultad de Ing.Química.2015.

[11]. OBREGON VALENCIA, DANIEL C. **Estudio Comparativo De La Capacidad De Adsorcion De Cadmio Utilizando Carbones Activados Preparados A Partir De Semillas De Aguaje Y De Aceituna.** Licenciado en Química. Perú. PONTIFICA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU. 2012.

[12]. VILARRASA GARCIA, E.. **Desarrollo De Materiales Para Adsorcion.** Tesis Doctoral. España. Universidad de Malaga Dpto. Química Inorganica, Cristalografía Y Mineralogía. 2014.

[13]. CAMPOS MEDINA, E. **Estudio De La Adsorcion De Cromo Hexavalente Utilizando Como Biomaterial La Ectodermis De Opuntia.** *Redalyc*.vol 10.(1):16 a 3. Junio, 2008.

[14]. CÉSPEDES, JESÚS S. VALENCIA, JOSÉ DE J. DÍAZ. **Remoción De Cromo Vi De Soluciones Acuosas Por Adsorción Sobre Carbones**

**Activados Modificados.** *Revista Colombiana De Quimica.* Vol.36 (3): 6 a 10. Diciembre 2007.

[15]. EGGS NANCY, SALVAREZZA SUSANA, AZARIO RICARDO, FERNANDEZ NICOLAS & GARCIA MARIA. **Adsorción De Cromo Hexavalente En La Cáscara De Arroz Modificada Químicamente.** *Avances en Ciencia e Ingeniería.* Vol 3 .(3):141 a 151. Septiembre 2012.

[16]. CORONEL, & ROMERO. **Metodo Para La Determinar La Concentracion De Cromo En Soluciones De Curtido Y Recurtido.** *Redalyc.* (2): 7 a 10.2004

[17]. ESPARZA ELIANA & GAMBOA NADIA. **Contaminacion Debida A La Industria Curtiembre.** *Revista De Quimica.* Vol 15(1): 42 a 44, 55 a 57, 61. Junio 2001

[18]. FERNANDEZ DIEZ Y COLBS. **Biotecnología De La Aceituna De Mesa.** *Instituto de la Grasa y sus Derivados. C.S.I.C. Sevilla - España.:* 185-274. 1985.

[19]. LEYVA ROBERTO, FLORES JOSE, DIAZ PAOLA & BERBER MARIA. **Adsorción de Cromo (VI) en Solución Acuosa sobre Fibra de Carbón Activado.***Scielo.*Vol. 19(5): 27 a 36. 2008.

[20]. SANDOVAL, G. M.. **Aproximacion Teorica A La Biosorcion De Metales Pesados Por Medio De Microorganismos.** *Medicina Veterinaria Y Zootecnia.* Vol.1(1):77-99. (2009)



[21]. AGRARIA OLEARUM, S.L. (s.f.). **Empresa Agraria Olearum**. Artículo web. <http://www.olearum.com/huesodeaceituna.html>. Consultado el 15 de diciembre de 2017.

[22]. CARBOTECNIA. **Metales Pesados**.

<https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/metales-pesados/>.

Artículo Web. Consultado octubre 2017.

[23]. CAÑIZARES VILLANUEVA ROSA OLIVIA. **Biosorción De Metales Pesados Mediante El Uso De Biomasa Microbiana**.

*Latinoamericana De Microbiología*.

<http://www.medigraphic.com/pdfs/lamico/mi-2000/mi003f.pdf>.

Artículo Web. Consultado octubre de 2017.

[24]. DELGADILLO LOPEZ ANGELICA, GONZALES RAMIREZ CESAR, PRIETO GARCIA FRANCISCO, VILLAGOMEZ IBARRA JOSE & ACEVEDO SANDOVAL OTILIO. **Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar La Contaminación**.

[www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf](http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf). Artículo Web. Consultado octubre de 2017.

[25]. FACSA. (s.f.). **Metales Pesados**. *Calidad Del Agua*.

[https://www.facsa.com/metales-pesados/#.WUchu-s1\\_IU](https://www.facsa.com/metales-pesados/#.WUchu-s1_IU). Artículo Web.

Consultado 15 de noviembre de 2017.

[26]. MINCETUR. **Variedades De Aceitunas Cultivadas En El Perú.**  
[https://www.mincetur.gob.pe/wp\\_](https://www.mincetur.gob.pe/wp_). Artículo Web. Consultado agosto de 2017.

[27]. MOYA LOPEZ ALBERTO J, MATEO QUERO SOLEDAD.  
**Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Del Olivar.***Redalic.*(1):3 a 7. 2000

[28]. PORTAL FRUTICOLA. **Variedad De Aceituna.**  
<http://www.portalfruticola.com>. Artículo Web. Consultado septiembre 2017.

[29]. REYES TORIZ ERICK ,CERINO CORDOVA FELIPE & SUAREZ HERRERA MARTHA. **Remocion De Metales Pesados Con Carbon Activado Como Soporte De Biomasa.**  
[http://eprints.uanl.mx/10323/1/31\\_remocion.pdf](http://eprints.uanl.mx/10323/1/31_remocion.pdf). Artículo Web. consultado 15 agosto 2017.

[30]. RODRÍGUEZ GALLEGO JOSÉ LUIS. **Biorremediación.**  
[http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/aspectos\\_tecnologicos\\_%20biorremediacion.pdf](http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/aspectos_tecnologicos_%20biorremediacion.pdf). Artículo Web.Consultado 22 de octubre 2017

[31]. SALA FEDERICO, GARCIA ISABEL., GON ZALES, JUAN., FRASCAROLI, MARIA., & BELLU , SEBASTIAN. (2010). **Biosorcion Para La Eliminacion De Metales Pesados En Aguas De Desecho.**  
file:///C:/Users/Microsoft/Downloads/Dialnet-

BiosorcionParaLaEliminacionDeMetalesPesadosEnAguas-3235861.pdf.

Articulo Web. Consultado octubre 2017.

[32]. SEVILLA, U. ***Manual Del Carbon Activo.***

<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>. Articulo Web. Consultado octubre de 2017.

# APENDICE

APENDICE 1:

ACONDICIONAMIENTO

Y

DESHIDRATACION

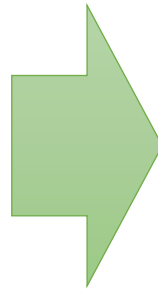
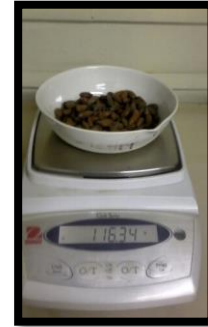
- ❖ pepas de aceitunas seleccionadas



- ❖ Lavado de pepas para la separación de material soluble e impurezas



❖ Pesado de pepas de aceituna



❖ Secado de pepas de aceituna



APENDICE 2: ETAPA DE  
CARBONIZACION

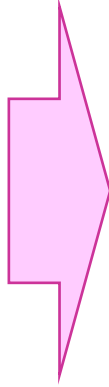
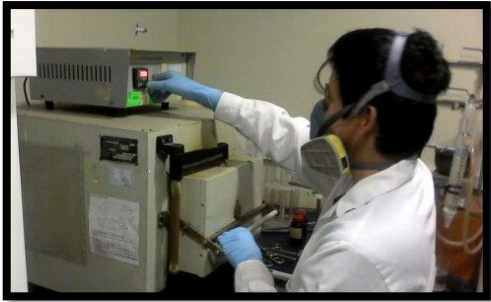


- ❖ Encendido de la mufla a 900°C

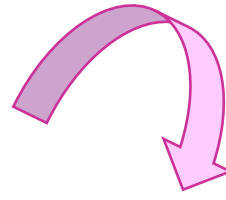


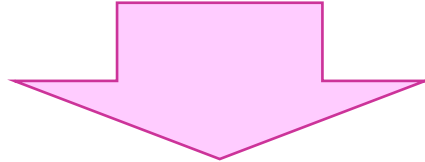
- ❖ Pesado de pepas secas en crisoles para calcinación.





## APENDICE 3: MOLIENDA Y TAMIZADO





APENDICE 4: ACTIVACION  
QUIMICA

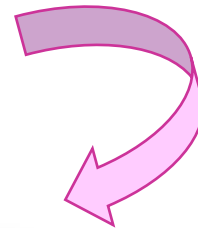
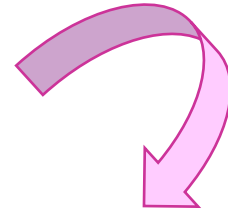
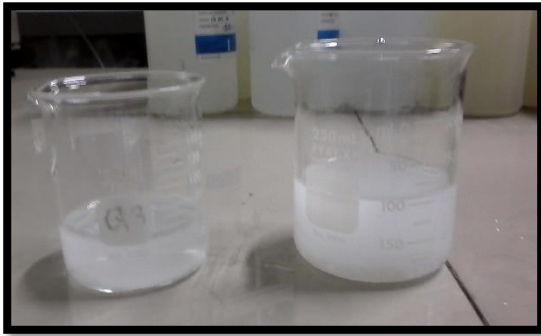
❖ Pesado de hidróxido de sodio



❖ Preparación de solución de Hidroxido de sodio



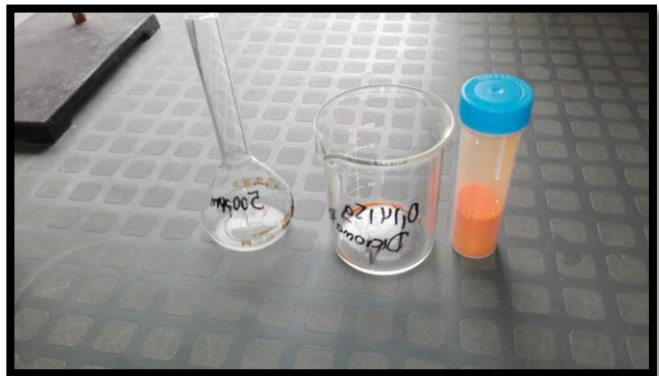
❖ Adición de carbon activado





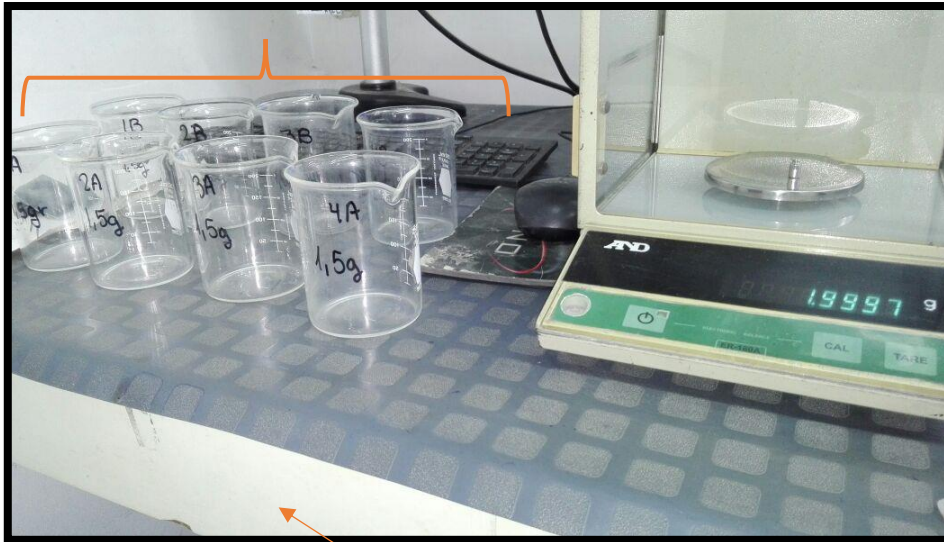
# APENDICE 4: PREPARACION PARA EL ANALISIS CUALITATIVO

- ❖ Preparación de solución de dicromato para la curva de calibración

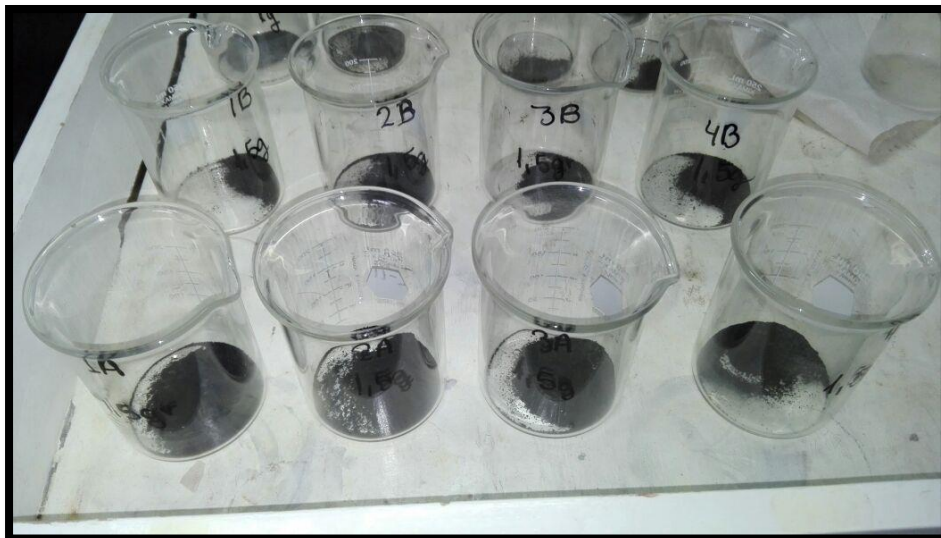


❖ Pesado para el análisis cualitativo

Carbon granular



Carbon fino



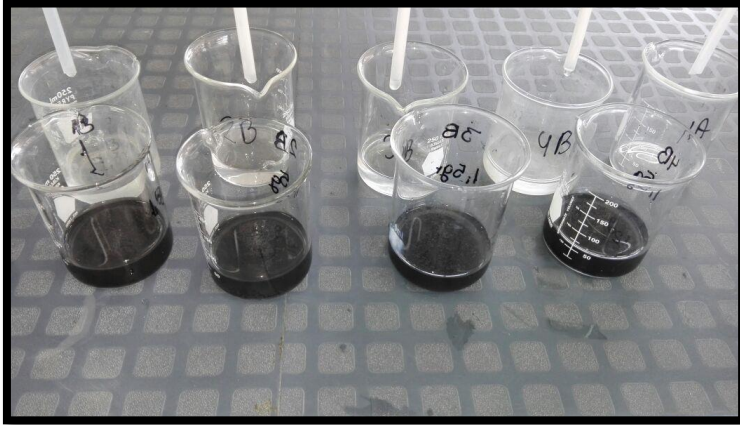
- ❖ Adición de solución de dicromato



- ❖ Llevado de muestras al sistema de agitación



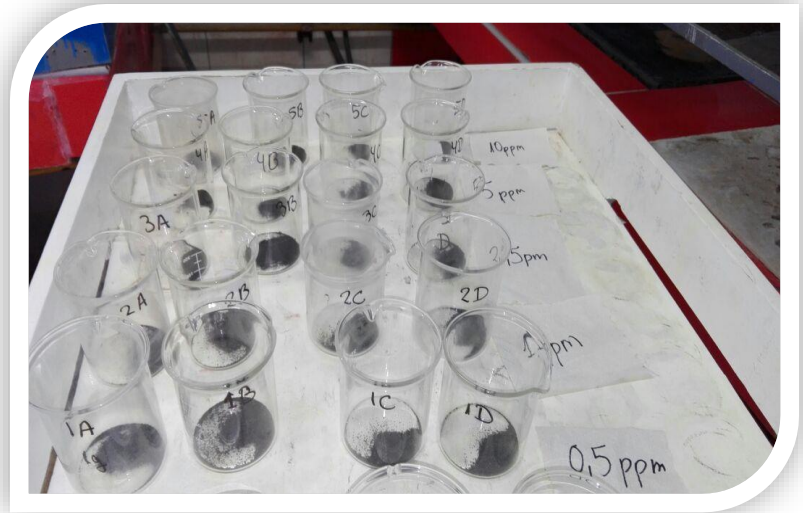
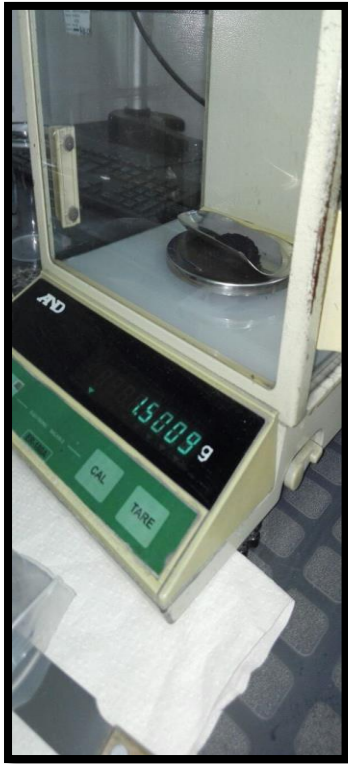
- ❖ Filtración para llevar a lectura



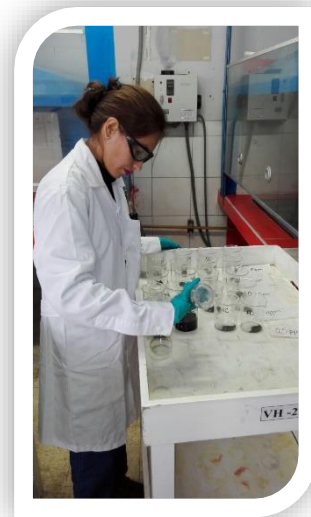
# APENDICE 5: PREPARACION PARA EL ANALISIS CUANTITATIVO



- ❖ Pesado de muestra por cuadruplicado para cada concentración de dicromato



- ❖ Dilución de concentraciones y adición a las muestras de carbón activado.





- ❖ Colocar las muestras en un sistema de agitación a temperatura constante.



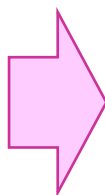


❖ Armado del sistema de filtración





- ❖ Trasvasar a tubos codificados listos para la lectura del espectrofotómetro.



# ANEXOS



PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	DIMENSIONES	METODO
¿Cómo y con qué tecnología se obtendrá el carbón activado para la adsorción de Cr (VI) a partir del hueso de la aceituna?	Desarrollar el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna para determinar su capacidad de adsorción de Cr (VI) en soluciones contaminantes.	Los fundamentos de ingeniería de procesos nos permitirán analizar y desarrollar el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.	X= Proceso para la obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna para la adsorción de Cr (VI).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimiento %</li> <li>• Tiempo de reacción</li> <li>• Relación de impregnación</li> <li>• Propiedades fisicoquímicas Sg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• %</li> <li>• h</li> <li>• R/S</li> <li>• m<sup>2</sup>/gr</li> </ul>	Ensayo en laboratorio
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cuáles son las fuentes disponibles que se analizara para el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna?	Analizar las fuentes disponibles para el proceso de obtención del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.	Los fundamentos disponibles nos permitirán analizar y seleccionar la tecnología adecuada para el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.	Y <sub>1</sub> = fundamento de ingeniería de procesos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de partícula</li> <li>• Condiciones de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mm(malla)</li> <li>• T°=°C</li> <li>• P=atm</li> <li>• PH</li> </ul>	Ensayo en laboratorio
¿Cuáles son los fundamentos que se analizaran para desarrollar el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna?	Analizar y desarrollar el proceso de obtención del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.	Los fundamentos disponibles nos permitirán analizar y seleccionar la tecnología adecuada para el proceso de obtención del carbón activado a partir del hueso de la aceituna.				
¿Cómo se determinara la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir del hueso de la aceituna?	Evaluar y determinar la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir del hueso de la aceituna	Las técnicas de análisis bien formuladas nos permitirán determinar la capacidad de adsorción del carbón activado elaborado a partir del hueso de la aceituna.	Y <sub>2</sub> = determinación de la capacidad de adsorción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de adsorción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• meq/L</li> </ul>	Mediante análisis en los laboratorios de la FIQ

