



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

NOV 2013

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



**“OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA  
PEPA DE LA ACEITUNA PARA ADSORCIÓN DE METALES  
PESADOS (Pb, As) EN EFLUENTES LÍQUIDOS”**

**AUTOR: MSc. CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO**

**(PERIODO DE EJECUCIÓN: 01/08/ 2011 al 31/07/2013)**

**(RESOLUCIÓN RECTORAL N° 810-2011-R)**

**CALLAO, 2013**

## I INDICE

<b>I INDICE</b>	<b>1</b>
<b>II RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>III INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>IV MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
<b>4.1 CARBÓN ACTIVADO</b>	<b>8</b>
4.1.1 PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO	8
4.1.2 ESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVADO	9
4.1.2.1 ESTRUCTURA FÍSICA DEL CARBÓN ACTIVADO:	9
4.1.2.2 ESTRUCTURA QUÍMICA.	10
4.1.2.3 GRUPOS SUPERFICIALES ÁCIDOS Y BÁSICOS	12
<b>4.2 ADSORCIÓN</b>	<b>12</b>
4.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN	13
4.2.1.1 INFLUENCIA DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN	14
4.2.2 NATURALEZA DEL ADSORBENTE	14
<b>4.3 OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.</b>	<b>15</b>
4.3.1 PRECURSORES PARA OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO:	15
4.3.2 TIPOS DE CARBONES SEGÚN LA MATERIA PRIMA.	15
4.3.3 PROCESO DE ACTIVACIÓN	16
4.3.3.1 ACTIVACIÓN FÍSICA:	16
4.3.3.2 LA ACTIVACIÓN QUÍMICA:	17
<b>4.4 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA OBTENCIÓN DEL CARBÓN.</b>	<b>19</b>
4.4.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA OBTENCIÓN DEL CARBÓN.	19
4.4.2 AGENTE ACTIVANTE.	19
4.4.3. EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA Y EL AGENTE ACTIVANTE.	20
<b>4.5 REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN EFLUENTES LÍQUIDOS</b>	<b>20</b>
4.5.1 REMOCIÓN DE PLOMO EN EFLUENTES LÍQUIDOS.	22
4.5.1.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REMOCIÓN DE PLOMO	23
4.5.2 REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CARBÓN ACTIVADO	25
4.5.2.1 INFLUENCIA DEL AGENTE ACTIVANTE	26
4.5.2.2 EFECTO DEL pH.	27
4.5.2.3. EFECTO DE LA TEMPERATURA.	30
4.5.2.4 CAPACIDAD CINÉTICA DE ADSORCIÓN	30
<b>4.6 EL HUESO DE LA ACEITUNA COMO PRECURSOR PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN</b>	<b>31</b>
4.6.1 EL OLIVO.	31
4.6.2 ZONAS DE PRODUCCIÓN.	31
4.6.3 EL HUESO DE LA ACEITUNA	31

4.6.4. CARACTERÍSTICAS DEL HUESO DE LA ACEITUNA.	32
4.6.5 HIPÓTESIS:	32
4.6.6 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES:	32

## **V MATERIALES Y MÉTODOS** **34**

---

<b>5.1 EL UNIVERSO</b>	<b>34</b>
<b>5.2 MATERIALES.</b>	<b>34</b>
<b>5.3 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.</b>	<b>34</b>
5.3.1 TÉCNICAS DE LABORATORIO:	34
5.3.2 TÉCNICAS ESTADÍSTICA.	34
<b>5.4 METODOLOGÍA.</b>	<b>34</b>
5.4.1 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA PEPA DE LA ACEITUNA.	35
5.4.2 PREPARACIÓN DEL PRECURSOR (MATERIA PRIMA)	35
5.4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	35
5.4.4 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA REMOCIÓN DE PLOMO.	35
5.4.4.1. SELECCIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE.	35
5.4.4.2 PROCESO DE ACTIVACIÓN CON $H_3PO_4$ .	36
5.4.5. OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO	36
5.4.5.1. SELECCIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE	36
5.4.5.2 PROCESO DE ACTIVACIÓN CON $FeCl_3$ .	36
5.4.6 CARACTERÍSTICAS ÁCIDO- BÁSICAS DE LOS CARBONES ACTIVADOS	37
5.4.6.1. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO DE LOS CARBONES ACTIVADOS.	37
5.4.6.2 DETERMINACIÓN DE GRUPOS ÁCIDOS Y BÁSICOS SUPERFICIALES DE LOS CARBONES PREPARADOS.	37
5.4.7 RENDIMIENTO DE CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO.	37
5.4.8. CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO DEL CARBÓN ACTIVADO CON $H_3PO_4$	38
5.4.8.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL PLOMO	38
5.4.8.2 CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO CON $H_3PO_4$	38
5.4.9- CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL ARSÉNICO CON CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE HIERRO III.	38
5.4.9.1. DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO	38
5.4.9.2- CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO CON $FeCl_3$ .	39

## **VI RESULTADOS** **40**

---

<b>6.1 ZONAS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>40</b>
<b>6.2 EL HUESO DE LA ACEITUNA COMO PRECURSOR PARA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.</b>	<b>40</b>
<b>6.3. CARACTERÍSTICAS DEL HUESO DE LA ACEITUNA.</b>	<b>40</b>
<b>6.4. SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE PLOMO</b>	<b>40</b>
<b>6.5 SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO.</b>	<b>41</b>
<b>6.6. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO DE LOS CARBONES ACTIVADOS.</b>	<b>41</b>

<b>6.7. DETERMINACIÓN DE LOS GRUPOS ÁCIDOS Y BÁSICOS DE DE LOS CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS.</b>	<b>41</b>
<b>6.8 EFECTO DE LA RELACIÓN AGENTE ACTIVANTE: PRECURSOR Y LA TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO (<math>H_3PO_4</math>).</b>	<b>42</b>
<b>6.9 EFECTO DE LA RELACIÓN AGENTE ACTIVANTE: PRECURSOR Y LA TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CON ARSÉNICO.</b>	<b>42</b>
<b>6.10 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PLOMO (II) DEL CARBÓN ACTIVADO CON AÁCIDO FOSFÓRICO (<math>H_3PO_4</math>).</b>	<b>43</b>
6.10.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL PLOMO	43
6.10.2 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL PLOMO (II)	43
<b>6.11 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE <math>As(V)</math> DEL CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE HIERRO III</b>	<b>44</b>
6.11.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO.	45
6.11.2 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO	45
<b>VII DISCUSION DE LOS RESULTADOS</b>	<b>46</b>
<b>7.1 ZONAS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>46</b>
<b>7.2 COMPOSICIÓN DEL FRUTO DEL OLIVO.</b>	<b>46</b>
<b>7.3 EL HUESO DE LA ACEITUNA COMO PRECURSOR PARA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.</b>	<b>46</b>
<b>7.4. SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE PLOMO</b>	<b>46</b>
<b>7.5 SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO</b>	<b>47</b>
<b>7.6 EFECTO DE LA RELACIÓN AGENTE ACTIVANTE: PRECURSOR Y LA TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO.</b>	<b>47</b>
<b>7.7. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO DE LOS CARBONES ACTIVADOS.</b>	<b>48</b>
<b>7.8. DETERMINACIÓN DE LOS GRUPOS ÁCIDOS Y BÁSICOS DE DE LOS CARBONES ACTIVADOS</b>	<b>48</b>
<b>7.9 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PLOMO (II) DEL CARBÓN ACTIVADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO (<math>H_3PO_4</math>).</b>	<b>48</b>
7.9.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL PLOMO	48
7.9.2 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL PLOMO (II)	49
<b>7.10 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE <math>As(V)</math> DEL CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE HIERRO III (<math>FeCl_3</math>)</b>	<b>49</b>
7.10.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO.	49
7.10.2 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO	49
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
<b>VIII REFERENCIALES</b>	<b>51</b>
<b>IX APENDICE</b>	<b>54</b>
<b>X ANEXOS</b>	<b>60</b>

## RELACIÓN DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>PÁGINA</b>
N° 6.1 Composición Hueso de la Aceituna	42
N° 6.2 Grupos Ácidos- Básicos Superficiales de los Carbones Activados Obtenidos	43
N° 10.1 Producción Nacional de Aceituna	63
N° 10.2 Contenido Lignocelulósico de arboles y Residuos Agrarios	62
N° 10.3 Composición del fruto de la aceituna	63
N° 10.4 Contenido Lignocelulósico del Hueso de la Aceituna	64
N°10.5 Composición Elemental del Hueso de la aceituna	64
N° 10.6 Superficie (Bet) Volumen del poro del Hueso de la Aceituna	64
N° 10.7 Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría I	65
N° 10.8 Decreto Supremo N°031-2010-S.A (MINSa) 2011	65

## RELACIÓN DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
N°6.1 El Fruto del Olivo	43
N°6.2 La pepa ó Hueso de la Aceituna	43
N°6.3 Determinación del punto de carga cero	44
N°6.4 Efecto de la Temperatura de Activación en el Rendimiento del Carbón Activado con $H_3PO_4$	45
N°6.5 Efecto de la Relación Agente Activante-Precursor en el Rendimiento del Carbón Activado con $H_3 PO_4$	45
N°6.6 Efecto de la Temperatura de Activación en el rendimiento del Carbón Activado con $Fe Cl_3$	46
N°6.7 Efecto de la Relación Agente Activante- Precursor en el rendimiento del Carbón Activado con $Fe Cl_3$	46
N°6.8 Efecto de la Relación Agente Activante : Precursor en la Capacidad de Adsorción de Plomo	47
N°6.9 : Efecto de la Temperatura de Activación en la Capacidad de Adsorción de Plomo	47
N°6.10 Efecto de la Relación Agente Activante /Precursor en la Capacidad de	

Adsorción de Arsénico	48
N°6.11 Efecto de la Temperatura de Activación en la Capacidad de Adsorción del Arsénico	48
N°9.1 Pepa de la aceituna lavada con NaOH	58
N°9.2 Proceso de trituración con molino de martillo	58
N°9.3 Materia Prima triturada	59
N°9.4 Materia Prima triturada y limpiado del germen	59
N°9.5 Materia Prima triturada y lavada con NaOH	60
N°9.6 Proceso de impregnación con FeCl <sub>3</sub>	60
N°9.7 Proceso de impregnación con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	61
N°9.8 Carbón Activado obtenido	61
N°9.9 Proceso de adsorción de iones Pb(II) ó As(V).	62

## II RESUMEN

La Pepa de la aceituna es uno de los residuos agroindustriales que genera la industria del olivar en grandes cantidades, representa entre el 18-23 % del total del fruto, es un material lignocelulósico con un contenido de carbono fijo de 21.85 % y bajo contenido de cenizas; características que lo hacen uno de los residuos de la agroindustria de gran interés para ser utilizado como materia prima en la obtención de carbón activado para la adsorción de metales pesado como (plomo y arsénico) en efluentes líquidos.

El proceso de obtención del carbón activado se realizó con dos agentes activantes químicos diferentes (Ácido fosfórico y Cloruro férrico), el cual se determinó en función a la naturaleza de los contaminantes a tratarse (Plomo y Arsénico); el precursor una vez limpio y seco, se impregnó con el agente activante seleccionado a diferentes relaciones de agente activante/precursor, por un tiempo de 24 horas, secándose en estufa a la temperatura de 110°C por tres horas y calcinándose a las temperaturas de 400, 500 y 600 °C por un tiempo de una hora.

Los ensayos de adsorción de plomo se realizaron en un sistema batch en cada caso se utilizó 0,50 g de carbón activado que se pusieron en contacto con 500 mL de solución contaminada con 2mg/L de (plomo y/ó arsénico) a temperatura ambiente (20°C), ajustándose la solución a un pH = 4.00, seguidamente se colocó en un agitador múltiple a 300 rpm por un tiempo de tres horas, finalizada la etapa de adsorción las fases fueron separadas por filtración y analizadas.

Los resultados demostraron que los agentes activantes químicos utilizados como el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y el cloruro de hierro III ( $FeCl_3$ ); en la activación de la pepa de la aceituna determinaron la carga superficial positiva del carbón y la adsorción de los aniones del agente activante a un determinado pH, dado que estos al estar incluidos en los poros del carbón permiten que el proceso de interacción metal-carbón se realice en el interior de la matriz.

La activación del hueso de la aceituna con agentes activantes químicos como el  $H_3PO_4$  y  $FeCl_3$  permiten obtener carbones activados con capacidad de adsorción de metales pesados como Pb(II) y As(V); lográndose remover el 80 % Pb(II) y el 67,50 % de As(V) en soluciones acuosas.

Palabras claves: Carbón Activado, Agente de Activación, Adsorción, Metales Pesados.

### III INTRODUCCIÓN

El carbón activado es un carbón poroso que presenta un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna de 500- a 1 500 m<sup>2</sup>/g. Estas características junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodean al carbón. Uno de los residuos de la industria agroalimentaria de mayor interés para la obtención de carbón activado son los materiales lignocelulósicos, debido a su estructura resistente, donde los materiales constituyentes más importantes son la celulosa, Hemicelulosa y la lignina.

Los metales pesados como el plomo, arsénico, cadmio, mercurio están considerados como los más peligrosos, debido a su alta toxicidad. La remoción en efluentes líquidos, representa una materia importante en el campo de la salud pública y el ambiente. Dado que no son biodegradables y tienden a acumularse en los organismos, causando numerosas enfermedades y trastornos, razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cancerígenos humanos.

El olivo (*Olea Europea*) es una planta apreciada por su valor nutritivo, su fruto la aceituna es utilizada para la alimentación humana como aceite extraído a partir de la pulpa de aceituna fresca y/o conservada. En el País las zonas de producción son Tacna, Arequipa, Ica y Moquegua, siendo Tacna la región que registra el mayor rendimiento del olivar a nivel nacional, en esta región existen aproximadamente tres mil aceituneros que producen en promedio de 25 000 TM/AÑO. Presentándose un constante incremento en la producción, llegándose a una producción a nivel nacional de 70 000 TM/AÑO en el 2008. (Quevedo, 2008)

La Pepa de la aceituna representa entre el 18-23 % del total del fruto y es uno de los residuos sólidos que genera la industria del olivar en grandes cantidades. Es utilizada como combustible (leña), no dándole un valor agregado, a pesar de que el 50.79 % de su composición es carbón elemental.

En el presente trabajo tuvo como objetivo, aprovechar el residuo sólido (pepa de aceituna) generado por la industria del olivar, para la obtención de carbón activado para la adsorción de metales pesado (Pb, As) en efluentes líquidos. Por ser este precursor un material lignocelulósico con gran porcentaje de carbono fijo, características que lo hacen uno de los residuos de la agroindustria de gran interés para ser utilizado como materia prima en la obtención de carbón activado.

El trabajo de investigación que se realizó es una investigación aplicada no probabilística, donde se obtendrá carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para la adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.

## IV MARCO TEÓRICO

### 4.1 CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado, es carbón poroso, que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad; se caracteriza por tener una estructura porosa y una superficie interna elevada. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atrapar moléculas del fluido que rodean al carbón. La elevada área superficial y porosidad del carbón activado son resultados del proceso de activación física ó química. La activación física genera una porosidad que es resultado del proceso de gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas, mientras que la porosidad que se obtiene mediante un proceso de activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. *La propiedad de atrapar moléculas en la superficie interna del carbón se llama adsorción; al carbón se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada, "adsorbato".*

Mediante el control adecuado de los procesos de carbonización y activación se puede obtener una gran variedad de carbones activados que posean diferentes distribuciones de tamaño de poros. El carbón activado, es un compuesto covalente que muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos, considerándose un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas. (Priás Barragán J.J, Junio del 2011).

#### 4.1.1 PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es utilizado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, encontrándose en aplicaciones tan sencillas como peceras o filtros de refrigerador, hasta complejos sistemas industriales, como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales ó delicados sistemas de elaboración de antibióticos.

Las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado son:

- Su elevada capacidad de eliminación de sustancias.
- Baja selectividad de retención.

Es un adsorbente "universal"; por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retiene preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee. En general, los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido.

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la superficie y la porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie (apolar) del carbón. En estos casos, la fijación al carbono de "heteroátomos", principalmente oxígeno e hidrógeno, formando estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, lactosas, carbonilo, etc., elevan la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente y pueden imprimir un carácter ácido-base al carbón.

Finalmente, cuando la sustancia a eliminar tiene una polaridad apreciable, bajo volumen molecular y está muy diluida en aire, la retención a temperatura ambiente por el carbón sólo es efectiva si se impregna con reactivos específicos o se aprovechan las propiedades catalíticas del carbón.

#### **4.1.2 ESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVADO**

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado vienen dado por su porosidad y por su composición química. La componente decisiva de la fuerza de adsorción sobre la superficie del carbón son las componentes de dispersión de las fuerzas de Van der Waals é interacciones de transferencia de carga.

##### **4.1.2.1 ESTRUCTURA FÍSICA DEL CARBÓN ACTIVADO:**

**Tamaño del Poro :** El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte. Los primeros consisten en espacios entre placas graníticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza. Los poros mayores de adsorción son de transporte y tienen un rango muy amplio de tamaño, que van desde las grietas que están en el límite detectable por la vista y actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activo afectan a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción (Fig.N°4.1).

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores. *Por lo tanto la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón y del tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener).*

**Superficies Específicas.** Los carbones activados, pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  e incluso llegar a los  $3000 \text{ m}^2/\text{g}$ . Los que se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución. Uno de los factores que influye en la adsorción es el tamaño de las moléculas del adsorbato dado que deben ser del tamaño o menores que los poros del adsorbente para que la superficie sea accesible a dichas moléculas. (Marlon Bastidas, Setiembre 2009).

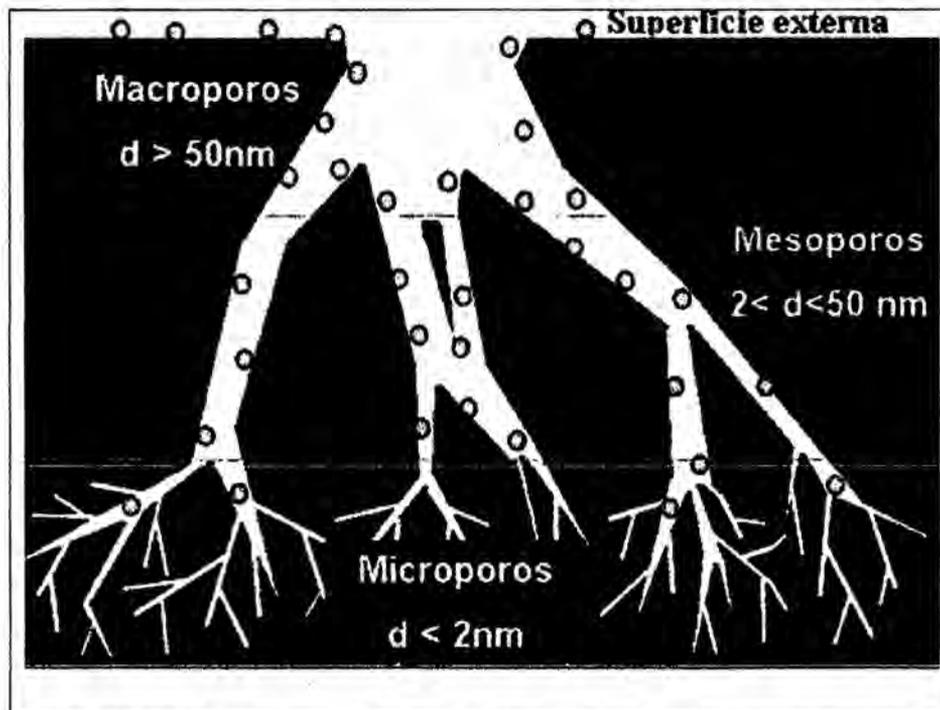


Fig. N° 4.1 Representación del sistema poroso de un carbón activado

Fuente: (Prias Barragán J.J, Junio del 2011)

#### 4.1.2.2 ESTRUCTURA QUÍMICA.

El término carbón activo designa un amplio espectro de materiales que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna (distinción de poros y superficie específica) y en su granulometría. Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en el líquido o gas. Una condición necesaria, pero no suficiente, para optimizar la preparación de un carbón activado es contar con una elevada superficie específica y una buena distribución de tamaños de poros que la hagan fácilmente accesible al adsorbato, siendo uno de los factores determinantes en el proceso de adsorción la química superficial de los carbones activados.

**Química Superficial de los carbones:** Los átomos de los bordes de los planos basales pueden encontrarse combinados con otros átomos distintos al carbono, dando lugar a diferentes grupos superficiales. Por otro lado los átomos de carbono de los planos basales poseen orbitales  $\pi$ , que contienen electrones más ó menos deslocalizados, lo que afecta la interacción del carbón con otros elementos ó compuestos de grupos funcionales como (carboxilo, hidroxilo, Lactona, Quinona, Pirona, Eter). (Alami, 2010)

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

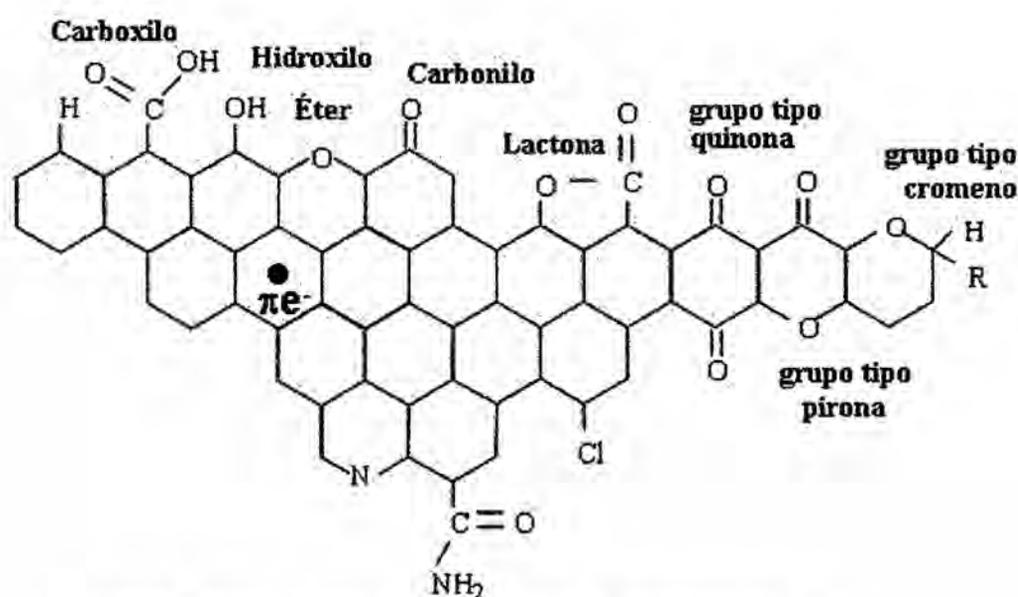


Figura N° 4.2 Principales grupos superficiales que pueden encontrarse un carbón  
Fuente: (Rodríguez, 2007)

La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente. Los electrones deslocalizados de los orbitales  $\pi$  juegan un papel muy importante en la química superficial de los carbones.

Algunos autores han comprobado que la presencia de estructuras tipo ácido carboxílico y lactonas, son las principales responsables del descenso de la adsorción del fenol, y se debe a la preferencia de las moléculas de agua respecto al soluto por estos grupos hidrofílicos, ocupándose así una parte importante de la superficie del carbón (Fig.N°4.2). Esto indica que la adsorción de aniones sobre carbón activado ocurre principalmente en los sitios básicos del carbón activado (Moreno Piraján J. , 2007)

**Carácter Hidrófobo de los carbones:** Todos los carbones, presentan en principio un carácter hidrófobo, no 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 hidrógeno. De esta forma se aumenta el carácter hidrófilo de los carbones, y la adsorción de compuestos inorgánicos en fase acuosa esto podría resultar beneficioso.

#### 4.1.2.3 GRUPOS SUPERFICIALES ÁCIDOS Y BÁSICOS

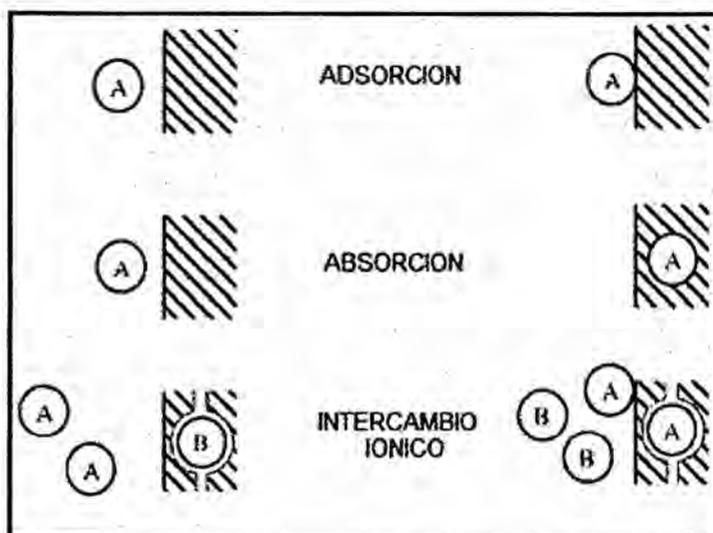
En la superficie del carbón coexisten grupos superficiales de carácter ácido y grupos superficiales de carácter básico. El que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá tanto de la concentración de estos grupos como de la fuerza como ácido o base de los mismos. De forma intuitiva, se puede deducir que un carbón de tipo básico será preferible para la adsorción de compuestos ácidos que un carbón de tipo ácido y viceversa. Por otro lado, los grupos ácidos tienden a liberar protones, especialmente en los medios básicos, mientras que los grupos básicos tienden a captarlos cuando se encuentran en un medio ácido. Apareciendo cargas positivas o negativas en la superficie del 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 cargas positivas 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 negativa serán preferibles para adsorber cationes y aquellas en las que presente una carga neta positiva lo serán para adsorber aniones.

Dado que el modificar el pH de los efluentes contaminantes no siempre resulta sencillo es preferible optimizar la química superficial del carbón activado teniendo en cuenta el carácter ácido de algunos grupos oxigenados (carboxilos, hidroxilos y lactonas) y carácter básico de los electrones deslocalizados del plano basal y de grupos oxigenados. Los carbones activados con precursores lignocelulósicos, endocarpio de coco, endocarpio de palma Africana, determinaron valores de grupos ácidos totales en un rango aproximado de 0.07 a 0.105 meq/g y basicidad total que varía entre 0.041 y 0.206 meq/g que muestra el carácter básico de los carbones activados obtenidos térmicamente. Asimismo se puede observar la alta capacidad de adsorción de fenol de los carbones activados obtenidos por activación física con  $CO_2$  para endocarpio de coco y endocarpio de palma, lo que significa que estos materiales adsorbentes tienen alta probabilidad de ser empleados en tratamientos de aguas potables o residuales y brindar un buen desempeño en los sistemas de adsorción (Marlón Bastidas, 2010).

## 4.2 ADSORCIÓN

Adsorción es un proceso mediante el cual la materia de una fase se concentra sobre la superficie de otra fase; la sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada, "adsorbato". La unión entre el adsorbente y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de van der Waals. (Adsorción física fisisorción) o puede ser resultado de procesos de carácter químico (adsorción química ó quimisorción). La diferencia fundamental entre ambas es que en el caso de la fisisorción la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, mientras que durante la quimisorción la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, dando lugar a una especie distinta.



**Fig. N° 4.3** Procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico  
Fuente: (Agorube Manosalva, 2008).

La adsorción es determinada experimentalmente midiendo cuánto soluto puede ser adsorbido por un sedimento, suelo, roca u otro material. Las cargas que presentan las arcillas pueden ser: cargas permanentes o variables. Las cargas permanentes dependen de la estructura del mineral, son independientes del medio, se deben a sustituciones isomórficas y su magnitud dependerá si esta sustitución se encuentra en la capa tetraédrica o en la octaédrica. Las cargas variables son aquellas por roturas en los bordes y en los grupos funcionales y dependen de las condiciones del pH. Figura. N° (4.3).

#### 4.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN

El proceso aparentemente pueden ser relativamente simples, pero puede hacerse complicada debido a que el soluto ó adsorbente puede cambiar químicamente, dado que su concentración en la solución está en función al pH y tanto la molécula no disociada como el ión disociado pueden ser adsorbidos. La química de la superficie depende esencialmente del contenido de heteroátomos principalmente del contenido de oxígeno, estos determinan la carga de la superficie, su hidrofobicidad y la densidad electrónica de las capas. Cuando el carbón activado se sumerge en una solución acuosa, se desarrolla una carga superficial que proviene de la disociación de los grupos de superficie la que depende del pH y

de las características de las superficiales del carbón. En el proceso de adsorción intervienen las propiedades de los compuestos que se requiere extraer, las características del adsorbente y las condiciones de contacto entre las fases fluida y sólida. Propiedades del adsorbato tales como peso molecular, concentración, grupos funcionales, solubilidad en el líquido, al igual que las propiedades del sólido adsorbente (tales como distribución de tamaño de poros y los grupos químicos de superficie, entre otras) son determinantes en la mayor o menor afinidad del adsorbato por el sólido adsorbente. (Colina, 2012).

#### **4.2.1.1 INFLUENCIA DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN**

Los factores que influyen en los procesos de adsorción son el pH de la solución y la fuerza iónica. El pH es un factor que controla los procesos de adsorción de electrolitos orgánicos, débiles y polielectrolitos, debido a que controla las interacciones electrostáticas entre el adsorbente y el adsorbato. Por lo tanto el pH de la solución determina la carga de la superficie del carbón y la disociación ó protonación del electrolito. Asimismo el pH de la solución controla la disociación ó la ionización de los electrolitos a través de su  $pK_a$ . Los electrolitos ácidos se disocian a  $pH > pK_a$ . Por lo tanto, el pH de la solución controla interacciones electrostáticas adsorción-adsorbente, que tienen efectos profundos en el proceso de adsorción.

Estudio realizados de adsorción de Cu, Pb y Ni en carbón activado en intervalo de pH de 2 a 9 ,encontraron que el Cu se adsorbe a un pH de 2.5 a 5.0; precipitando a un pH de 6.0; el Pb de 3 a 4 precipitando a un pH de 7.0 a 8.0 y el Ni a un pH amplio de 4 a 9 a partir de este pH empieza a precipitar, proponiendo un mecanismo de adsorción en función al pH basado en el intercambio de protones del carbón activado con iones metálicos. (Alami, 2010)

Las pruebas realizadas con Salicilato de Sodio en solución acuosa sobre carbón activado, demostraron que las isotermas de adsorción disminuían drásticamente cuando el pH se incrementaba a valores mayores a 3 y la máxima adsorción se obtenía a  $pH=2$  indicando que la oxidación del carbón activado con  $HNO_3$  incrementaba la concentración de sitios ácidos y disminuía la concentración de sitios básicos (Leyva Ramos, Velásquez Vargas, Mendoza Barron, & Guerrero Coronado, 2002)

#### **4.2.2 NATURALEZA DEL ADSORBENTE**

La adsorción constituye uno de los sistemas más utilizados, dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, se emplea generalmente para retener contaminantes de naturaleza orgánica, (compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos, derivados clorados, sustancias coloreadas y otros que comunican olor y sabor al agua. Los adsorbentes más utilizados son: gel de sílice, alúmina, carbón activo y resinas sintéticas; donde el carbón activado es uno de los adsorbentes más utilizado en el tratamiento de efluentes industriales procedentes de la fabricación de pesticidas.

El adsorbente- adsorbato depende de la superficie específica y porosidad del sólido, tamaño de partícula, estructura y distribución de los poros. En general, la etapa de adsorción es muy rápida, siendo determinante el tamaño de la partícula del adsorbente y el diámetro del poro. El carbón activado, es un compuesto covalente y por lo tanto, muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares, por lo que se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas.

#### **4.3 OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.**

Para la obtención de carbón activado se debe partir de una materia prima bien definida, tales como abundancia, dureza, estructura inherentes de poros, alto contenido de carbono bajo contenido de cenizas y alto rendimiento de masa durante el proceso de carbonización. La composición química del carbón vegetal depende fundamentalmente de tres factores: Materia prima utilizada; Temperatura de carbonización; Agente activante; Tecnología de carbonización: que a su vez depende de la velocidad de calentamiento, tiempo de residencia en el horno y forma de escape de sustancias volátiles (Marlon Bastidas, Setiembre 2009).

##### **4.3.1 PRECURSORES PARA OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO:**

Para la producción de carbón activado se debe partir de una materia prima bien definida ,tales como abundancia, dureza, estructura inherentes de poros, alto contenido de carbono bajo contenido de cenizas y alto rendimiento de masa durante el proceso de carbonización. La cascará de la almendra de la palma aceitera reúne las propiedades necesarias para la obtención del carbón activado , constituyendose estos residuos en una alternativa para proporcionarle mayor agregado a residuos industriales.

Uno de los residuos de la industria agroalimentaria de mayor interés son los materiales lignocelulósicos, debido a su estructura resistente, donde los materiales constituyentes más importantes de un material lignocelulósico son la celulosa Hemicelulosa y la lignina. La cascará de la almendra de la palma aceitera reúne las propiedades necesarias para la obtención del carbón activado , constituyendose estos residuos en una alternativa para proporcionarle mayor agregado a residuos industriales (Marlon Bastidas, Setiembre 2009)

##### **4.3.2 TIPOS DE CARBONES SEGÚN LA MATERIA PRIMA.**

Los factores a tener en cuenta para elegir un precursor adecuado son: Una buena disponibilidad, bajo costo, bajo contenido en materia mineral y que el carbón resultante posea unas buenas propiedades mecánicas y capacidad de adsorción. Los residuos de madera, las cáscaras de coco y frutos secos, así como las semillas de algunas frutas junto con los carbones minerales y el coque de petróleo, son los precursores más usados. Los carbones activados obtenidos industrialmente pueden provenir de madera y residuos forestales u otros tipos de biomasa, turba, lignito y otros carbones minerales como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas.(Tabla N°4.1).

**Tabla N° 4.1**  
**Tipos de Carbón Activado según la Materia Prima**

Propiedad	Coco	Carbón bituminoso	Lignita	madera
Microporo	Alto	Alto	Mediano	Bajo
Macroporo	Bajos	Mediano	Altos	Altos
Dureza	Alta	Alta	Baja	Mediana
Cenizas	5%	10%	20%	5%
Cenizas solubles en agua	Altas	Bajas	Altas	Medianas
Densidad aparente	0,48g/mL	0,48g/mL	0,30g/mL	0,35g/mL
Regeneración	Buena	Buena	Pobre	Regular

Fuente: (Marlón Bastidas, 2010)

Los materiales orgánicos con proporciones relativamente altas de carbono son susceptibles de ser transformado en carbón activado. Desde un punto de vista estructural los carbones activados son carbones muy desordenados e isotropos. Por tanto, no serán adecuados para preparar carbones activados aquellos materiales carbonosos que pasen por un estado fluido o pseudo-fluido durante su carbonización; dado que durante la resolidificación de esta fase suelen formarse estructuras ordenadas en los carbones resultantes. (Marcilla Gomis, 1982)

*El hueso de la aceituna como adsorbente de metales pesados.* El hueso de la aceituna adsorbe metales pesados en su superficie, merced a la diferencia de cargas eléctricas. Asimismo Pagnanelli en el 2003, Utilizó los residuos sólidos de la Industria del Olivar para la adsorción de una serie de metales Hg II; Pb II; Cu II ; Zn II; Cd II. (Alami, 2010).

### 4.3.3 PROCESO DE ACTIVACIÓN

La activación del carbón activado está basada en dos etapas fundamentales; la carbonización de la materia prima, y la activación del producto carbonizado, el producto final depende de la naturaleza de la materia prima y de las condiciones del proceso de activación. La carbonización se realiza en ausencia de aire y sin adición de productos químicos, desarrollándose una estructura porosa básica. La activación del material carbonizado consiste en el desarrollo de la estructura porosa, antes generada mediante la adición de agentes oxidantes y pueden ser: Activación Física ó Activación Química.

#### 4.3.3.1 ACTIVACIÓN FÍSICA:

El material es sometido a elevadas temperaturas, la activación se produce por la reacción del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO<sub>2</sub>, etc.) con el carbono del material que está siendo activado formándose poros como resultado de la gasificación del material carbonizado. En el proceso de carbonización la mayoría de los elementos unidos al carbono como el oxígeno e hidrógeno son los primeros que se eliminan en forma de gaseosa durante la pirolisis del material de partida, los átomos de carbono liberado se van agrupando en forma de cristalograficas, dejando huecos é intersticios entre ellos.

remoción de metales pesados, entre los que se encuentran la precipitación química, la filtración por medio de membranas, la reducción electrolítica, la extracción por medio de solventes, el Intercambio iónico y la adsorción. Algunas de estas tecnologías no son aplicables en todas las situaciones, debido a una serie de inconvenientes tales como: baja eficiencia y aplicabilidad a una amplia gama de contaminantes y dificultad de encontrar condiciones óptimas de operación cuando se presentan distintos metales pesados en una.

Existen diferentes métodos físicos químicos para la remoción de iones en efluentes líquidos, siendo los que más se utilizan, la precipitación, intercambio iónico; osmosis inversa y adsorción. (Tabla N° 4.3).

Tabla N° 4.3  
Métodos Físicos –Químicos Para Remoción de Metales Pesados

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Precipitación</b>	-Simplicidad de operación -Bajo costo -Alto nivel de eliminación	-No selectivo -Requiere de coagulantes y floculantes. -Genera lodos.
<b>Intercambio iónico</b>	-Eliminación de metales a bajas concentraciones. -Presentan alta selectividad. -Recuperación de metales pesados por electrolisis	-Saturación de resinas por presencia de Ca, Mg, Na. -Materias orgánicas dañan las resinas. -Previo tratamiento de sólidos en suspensión
<b>Osmosis Inversa</b>	-Altos niveles de remoción -Recuperación de metales posible.	- Mediana selectividad -Requiere alta presión. -Mantenimiento frecuente, Previa separación de sólidos suspendidos.
<b>Adsorción</b>	- Alta efectividad. -Permite fijación de metales en presencia de otros -Recuperación de metales. -Adsorbente puede ser regenerado.	-Capacidad de remoción depende del pH. -Eliminación de sólidos suspendidos antes de ser tratados. -Costos de adsorbente y regeneración altos.

Fuente: (Reyes Toriz, Cerino Córdova, & Suárez Herrera, 2006).

La remoción de metales pesados de agua residual de una industria galvánica, que contenía cromo (435 mg/L), zinc (720 mg/L), hierro (168 mg/L) y níquel (24 mg/L); usando agua sintética y agua residual cruda, mediante un proceso de precipitación química, donde utilizaron (NaOH) soda caustica para ajustar el pH y (FeCl<sub>3</sub>) cloruro férrico como aditivo coagulante en un equipo de prueba de jarras. Encontraron que las condiciones óptimas usando el agua sintética fueron: 7 minutos para el tiempo de floculación, 18 rpm para la velocidad de agitación y 11.8 mL para la dosis de coagulante. Para el agua residual cruda fueron: 9.5 minutos para el tiempo de floculación, 30 rpm para la velocidad de agitación y 5.2 mL para la dosis de coagulante; donde las diferencias se deben a que el agua residual cruda contiene otros contaminantes, los cuales sobrecargan la superficie coloidal, afectando el proceso de floculación. (Soto, Miranda, Sosa, & Loredo)

Las pruebas realizadas para la obtención de carbones activados a partir de astillas de eucalipto, mediante activación química usando como agente activante al ácido fosfórico, reportaron que las condiciones de

preparación empleadas en la activación ejercen una marcada influencia sobre la capacidad de adsorción de Pb(II); dichas condiciones fueron: razón agente activante /precursor = 1,0 y temperatura de activación de 600 °C. La máxima cantidad de plomo adsorbido por gramo de carbón fue de 142,1 mg/g. (Lavado Mesa, Sun Kou, & Bendezu, 2010)

La obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco , activando la cáscara de coco a alta temperatura (800°C) en presencia de vapor de agua, obtuvieron un carbón hidrofílico de microporoso de diámetros <0.7nm), apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura (450°C) usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (con mesoporos>2nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida. (Donaciano Luna, González, & Nancy, 2007)

#### **4.5.1 REMOCIÓN DE PLOMO EN EFLUENTES LÍQUIDOS.**

La remoción de metales pesados en soluciones acuosas ha sido estudiada por muchos autores, en su empeño de minimizar estos contaminantes presentes en las fuentes de agua ó en los diferentes tipos de efluentes que se descargan a los cuerpos receptores.

El plomo es una sustancia tóxica general que se acumula en el esqueleto. Los lactantes, los niños de hasta 6 años y las mujeres embarazadas son las personas más vulnerables a sus efectos adversos para la salud, interfiere en el metabolismo del calcio, tanto directamente como por interferencia con el metabolismo de la vitamina D. La exposición a Pb (II) hace que se presenten edemas y dificultades de comportamiento y aprendizaje en los niños, daños a órganos, como la el hígado, los riñones y el corazón y alteraciones del sistema inmunitario. Una severa exposición al plomo se ha asociado con la esterilidad, el aborto y muertes neonatales.

El valor de referencia basado en efectos sobre la salud es de 0,01 mg/L para lactantes y niños, basándose en que el plomo es una sustancia tóxica acumulativa. (OMS, 2003: *Lead in drinking-water*). Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/9).; Asimismo el valor referencial del Estándar de Calidad Ambiental para la conservación del Ambiente Acuático (categoría 4) es de 0,01 mg/L y para el Marino Costero es de 0,008 mg/L (MINAM, 2008) y (O.M:S., 2006), (anexo 10,1 ; 10.2).

Las principales fuentes de contaminación por plomo lo encontramos en los procesos Industriales, tales como la fabricación de baterías, municiones, la fabricación del tetraetilo de plomo, las industrias de cerámica, también se utiliza en la soldadura de tuberías de agua y pinturas. El acetato de plomo, se utiliza para teñir algodón y la impresión en barnices, pigmentos de cromo, la fabricación de plaguicidas, las pinturas anti-incrustantes, reactivos para análisis, tintes para el cabello, y como astringente y repelente al agua. Como mordiente en el teñido, impresión textil, proceso de grabado, oxidante, fotográficos

sensibilizador, reactivo químico, raticida, para la recuperación de metales preciosos de soluciones de cianuro, y como producto químico intermedio. El óxido de plomo (rojo) se utiliza en emplastos y ungüentos, en la fabricación de vidrio incoloro, en el almacenamiento de pilas, la pintura de protección de hierro o de acero, barnices, para colorear el caucho, pigmento en las tintas de impresión, y pinturas.

#### 4.5.1.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REMOCIÓN DE PLOMO

Los factores que influyen en los procesos de adsorción son el pH de la solución y la fuerza iónica. El pH es un factor que controla los procesos de adsorción de electrolitos orgánicos, débiles y polielectrolitos, debido a que controla las interacciones electrostáticas entre el adsorbente y el adsorbato. Por lo tanto el pH de la solución determina la carga de la superficie del carbón y la disociación ó protonación del electrolito.

Las pruebas realizadas para la remoción de plomo en soluciones acuosas de tetritanato de potasio dopado con silice (preparación del adsorbente en forma de gránulos con pastas de polititanato de potasio (45 %), vidrio Pyrex (5 %) y almidón de papa al 50 %), tratada térmicamente a 1100 °C. reportaron que las características estructurales del adsorbente granular, permiten la remoción de plomo en soluciones acuosas ácidas y ligeramente ácidas. El mecanismo de remoción, de plomo incluye una combinación de los, procesos de adsorción, intercambio iónico y coprecipitación, de plomo. Durante el tiempo de contacto continuo, la estructura de gránulos del adsorbente se degrada, disminuyendo la velocidad de elución de solución acuosa; sin embargo, esto no influye en la efectividad de remoción de plomo. (AguilarGonzález, Gorokhovskiy, Elguezabal, & Escalante García, 2009).

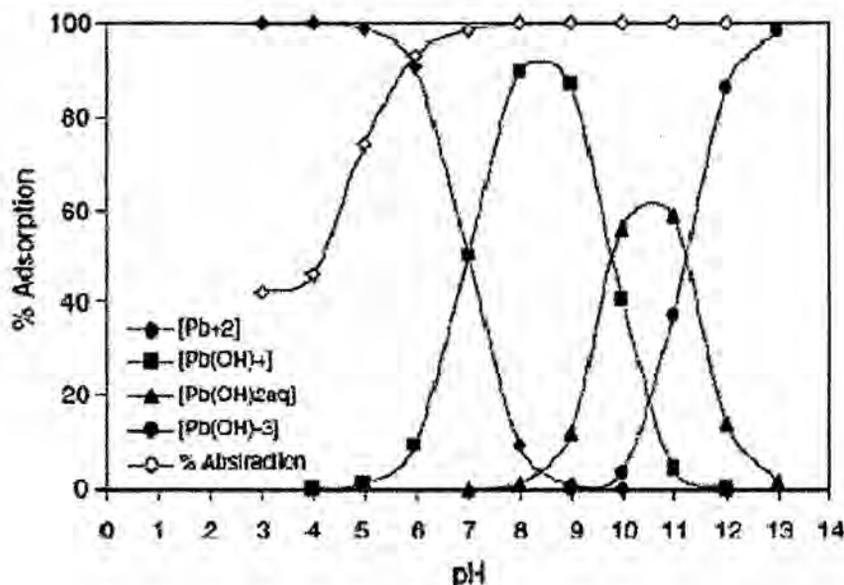


Figura. N° 4.4 Adsorción de las especies de Plomo en función al pH  
Fuente: (Turan, Baris, & Yuksel, 2005).

En la figura N°4.4 podemos observar que a pH bajos la especie predominante es  $Pb^{2+}$ . A valores de pH bajos la concentración de  $H_3O^+$  es más alto con respecto a los de iones metálicos por lo tanto los iones hidronio ocupan primero los sitios activos, dejando iones metálicos libres en solución, cuando se incrementa el pH la concentración de iones  $H_3O^+$  se reduce y los sitios activos en la superficie del adsorbente se convierten en formas disociadas y pueden intercambiar iones  $H_3O^+$  con iones metálicos en solución según figura N° 4.5.

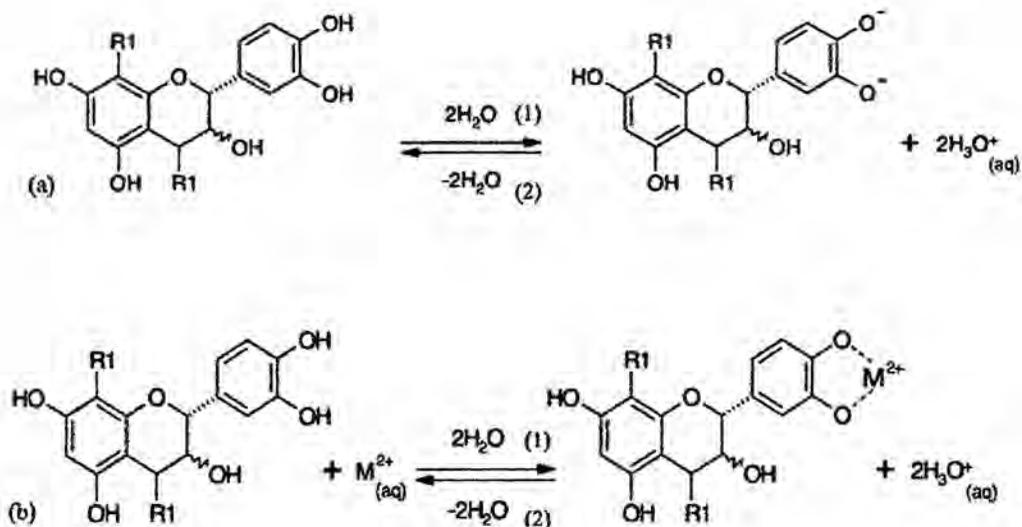


Fig. N° 4.5 a) Mecanismo de desprotonación, b) Mecanismo de adsorción del Metal  
 Fuente: (Taty Costodes, Fauduet, Porte, & Delacroix, 2003),

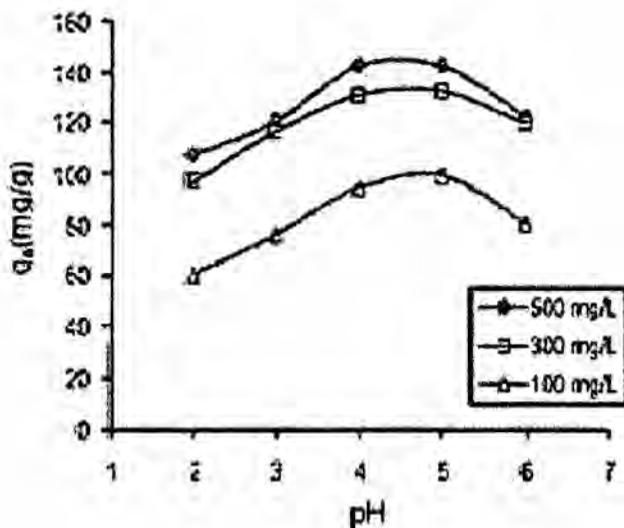


Figura N° 4.6 Efecto del pH en la Remoción de Plomo (II)  
 Fuente: (Lavado Mesa, Sun Kou, & Bendezu, 2010)

Estudios realizados para remoción de plomo (II) en soluciones acuosas con carbón activado, encontrando que la remoción de plomo (II) depende en gran medida del pH de la solución, de la masa del adsorbente y de la concentración inicial del plomo, obtuvo la máxima capacidad de adsorción a un pH=4 . (Mendoza Colina, 2012).

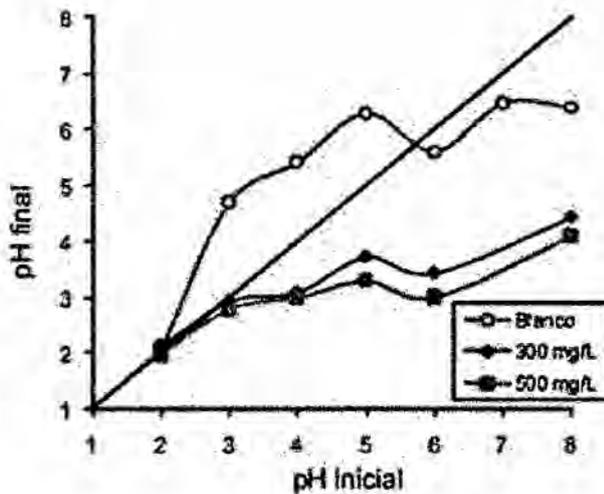


Figura 4.7 Efecto del  $pH_i$  sobre el  $pH_f$  en la Remoción de Plomo(II)  
Fuente: (Lavado Mesa, Sun Kou, & Bendezu, 2010)

Estudios realizados, para obtención de carbón activado empleándose como precursor astillas de eucalipto activado con  $H_3PO_4$ , reportaron que la remoción del Plomo se incremento con el aumento de pH obteniéndose máximas adsorciones a pH entre 4- 5, a pH mayores a 5 la adsorción decreció suavemente y a pH entre (5-7) el plomo empezó a precipitar como  $Pb(OH)_2$ . (Fig N° 4.6.). El mecanismo de adsorción de los iones metálicos sobre la superficie del metal lo determinó graficando la variación del pH final ( $pH_f$ ) vs pH inicial ( $pH_i$ ) a diferentes concentraciones de plomo, observando que en la prueba en blanco el  $pH_f > pH_i$  en un rango de (2-5), lo que indica que la reacción del agua con la superficie del carbón libera  $(OH^-)$ , generándose la protonación de la superficie del carbón. En las curvas de adsorción (Fig. N°4,7), se observa que a  $pH_i > 5$  el  $pH_f$  es  $< pH_i$  lo que implica que en la interface agua- superficie carbón activado se produce la liberación de protones, disminuyendo el pH final respecto al pH inicial en la solución quedando está cargada negativamente. (Lavado Mesa, Sun Kou, & Bendezu, 2010)

#### 4.5.2 REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON CARBÓN ACTIVADO

El arsénico ha sido clasificado como uno de los elementos químicos tóxicos y carcinogénicos, por lo tanto presenta un serio problema ambiental en varias regiones del país y del mundo. Las características se presentan en la (tabla N°4,4). Se han descrito varios métodos para la remoción de arsénico pero estos

tratamientos convencionales emplean materiales no renovables y los residuos formados no son biodegradables.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer lo ha clasificado como carcinógeno para los seres humanos. La OMS establece un límite de 0.01 mg/L en agua potable. En las aguas naturales el arsénico se presenta en varios estados de oxidación como semi-metálico,  $As^0$  ó en forma de iones como arsenato  $As^{+5}$ , arsenito  $As^{+3}$  y arsina  $As^{-3}$ . La toxicidad del arsénico se incrementa considerablemente con la reducción de su estado de oxidación de  $As(V)$  a  $As(III)$ .

**Tabla 4.4:**  
**Propiedades Físico-Químicas**

Compuesto	Fórmula	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Solubilidad en el agua (g/L)
Arsénico	As	613	-	5.73 a 14 °C	Insoluble
Trióxido de arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	312.3	465	3.74	37 a 20 °C
Pentóxido de arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	315	-	4.32	1500 a 16 °C
Sulfuro de arsénico	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	300*	707	3.43	5x10 <sup>-4</sup>
Ácido dimetilarsénico	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> AsO(OH)	200	-	-	829 a 22 °C
Arsenato de plomo	PbHAsO <sub>4</sub>	720	-	5.79	poco soluble
Arsenato de potasio	KH <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub>	288	-	2.87	190 a 16 °C
Arsenito de potasio	KAsO <sub>2</sub> .HAsO <sub>2</sub>	-	-	-	Soluble

Fuente : (Glibota, 2005)

#### 4.5.2.1 INFLUENCIA DEL AGENTE ACTIVANTE

Pruebas realizadas de carbón activado impregnado con óxido de hierro para la adsorción del arsénico de aguas contaminadas, indican que el arsénico en forma de ión es absorbido en el interior del carbón activado atraído por fuerzas quelantes de un óxido metálico incluido en el interior de los poros por impregnación, donde el proceso de interacción óxido de hierro- arsénico se realizaría en el interior de la matriz. (Glibota, 2005)

Las especies de  $As(V)$  se remueven más fácilmente mediante adsorción que las especies de  $As(III)$ . Por lo que es necesario un proceso de pre oxidación antes de la aplicación de cualquier tratamiento para mejorar la eficiencia del mismo. La presencia de  $Fe(III)$  en el agua a tratar fomenta la formación de complejos de  $Fe-As$  que pueden ser adsorbidas en la superficie de minerales que contienen óxidos de manganeso.

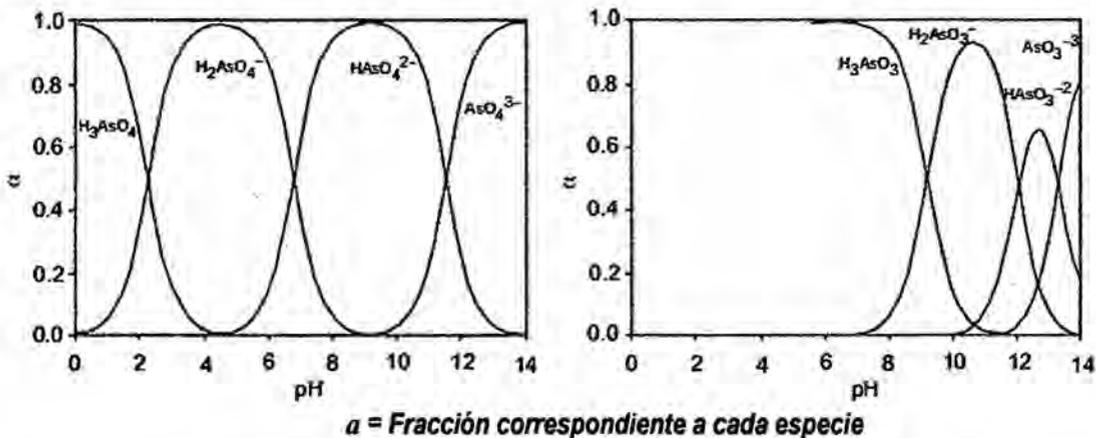
La hematita ( $Fe_2O_3$ ) resulta un buen adsorbedor de arsénico teniendo como inconveniencias, el control estricto del pH para no solubilizar el mineral e incrementar la asociación de  $As(V)$  con el hierro. Las

constantes de disociación del As (V) es mayor que las del As (III), por lo que su grado de disociación es mayor. Así la eficiencia de remoción del As(V) es mayor en comparación con la del As (III), lo que justifica la oxidación del arsénico antes de su tratamiento. Los arsenitos se oxidan con Cloro, la oxidación tiene lugar en el intervalo de pH 6-10 cuando se aplica 1 mg/L de Cl<sub>2</sub> en exceso del estequiométricamente requerido. (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Piña Soberanis, Aviles Flores, & Pérez).

Los residuos de maracuyá utilizado para la adsorción de arsénico, demostraron una mayor capacidad de biosorción de arsénico en los materiales enriquecidos con Fe (III), que en las matrices químicamente no modificadas, entendiéndose que el proceso de remoción de As se ajusta a un modelo de equilibrio de intercambio de ligando. Donde la capacidad de unión de los aniones del contaminante depende del pH. Dado que a pH ácido en la solución hay una mayor cantidad de iones hidrónico H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, los cuales compiten con las formas acidificadas de arsenito y arsenato. (Ilina, Martínez Hernandez, Segura Cisneros, Villarreal Sanchez, & Gregorio Jauregui, 2009).

#### 4.5.2.2 EFECTO DEL pH.

El mayor porcentaje de remoción y capacidad de biosorción se detectó a pH 5, seguido por pH 7. Esto se debe por un lado a la disminución de la cantidad de iones H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> y por otro lado al cambio en la concentración de las formas iónicas de arsenito y arsenato que se caracteriza por las constantes de equilibrio correspondientes para cada uno de los compuestos Fig N°4.10. Por lo tanto, el pH óptimo para llevar a cabo el proceso de biosorción de As (III) y As (V) es de 5. (Ilina, Martínez Hernandez, Segura Cisneros, Villarreal Sanchez, & Gregorio Jauregui, 2009)



En el diagrama pH-pE, (fig. N° 4.8), se muestra las especies de As y su distribución en el agua a una concentración total de 10<sup>-5</sup> mol/L de As.

Estudios realizados demostraron que el pH y las concentraciones de coloide, arsénico inicial y floculantes son determinantes en la eficiencia de la remediación. Asimismo observaron que el pH influye en el proceso de coagulación – Floculación, debido al efecto de los protones en la carga eléctrica superficial de las partículas coloidales. Para valores de pH entre 2 y 4 , la inversión de la carga de las partículas de

Obtención de Carbón Activado a partir de la pepa de la Aceituna para Adsorción de metales Pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.

negativas a positivas aseguran una buena interacción con el arsenato, sin embargo el pH en forma aislada no asegura una buena eficiencia en la remoción. (Carro Pérez, 2009)

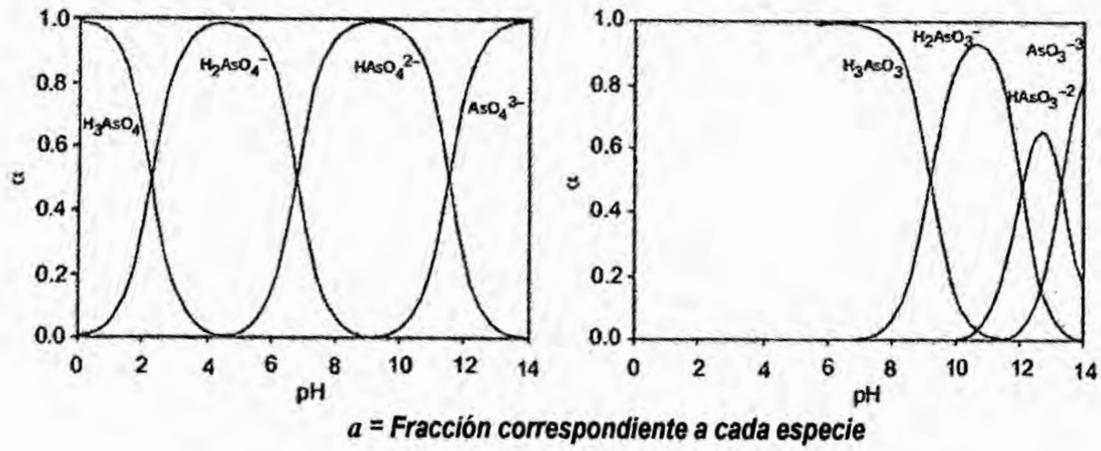


Fig. 4.8 Distribución de especies químicas de arsenito y arsenato en función al pH  
Fuente: (Ilija, Martínez Hernandez, Segura Cisneros, Villarreal Sanchez, & Gregorio Jauregui, 2009).

El diagrama pH Versus pE (Fig.N° 4.9), es una herramienta que nos permite ver la movilidad del arsénico en soluciones acuosas, é indica las condiciones pH-pE que se deben mantener para lograr mayor eficiencia en la remoción de arsénico.

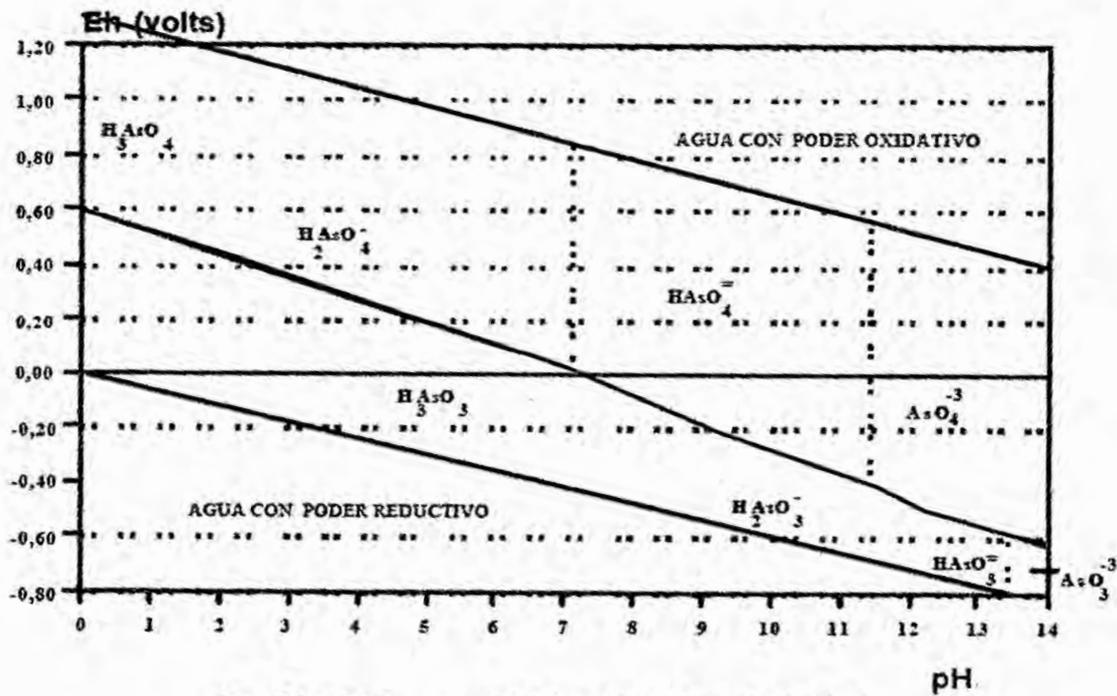


Fig. 4.9 Distribución de Especies de Arsénico en función al pH-pE  
Fuente: (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Pifia Soberanis, Aviles Flores, & Pérez)

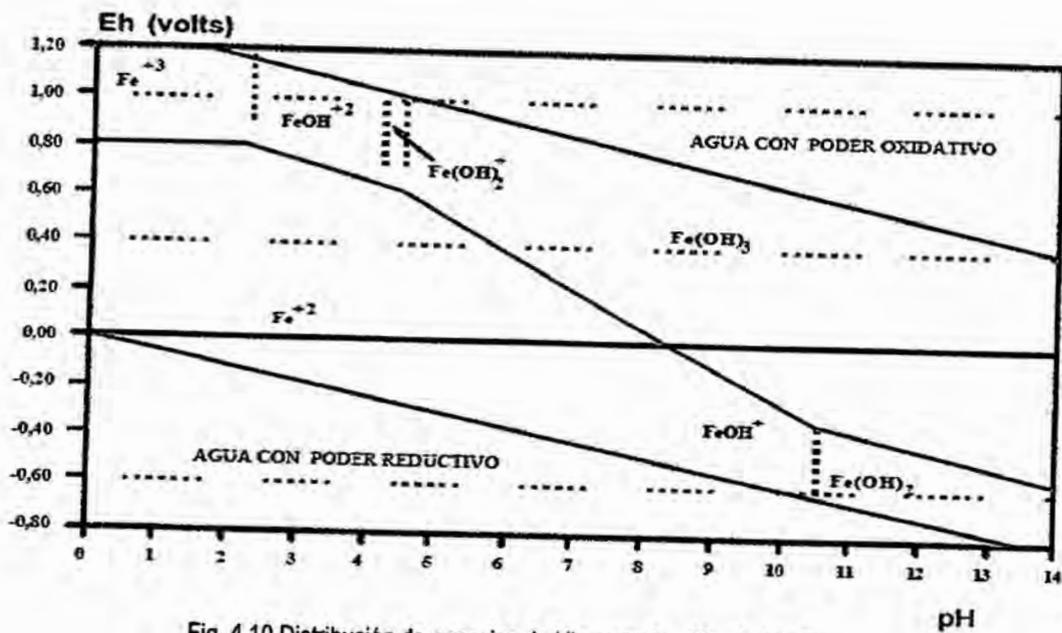


Fig. 4.10 Distribución de especies de Hierro en función al pH-pE

Fuente: (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Piña Soberanis, Aviles Flores, & Pérez)

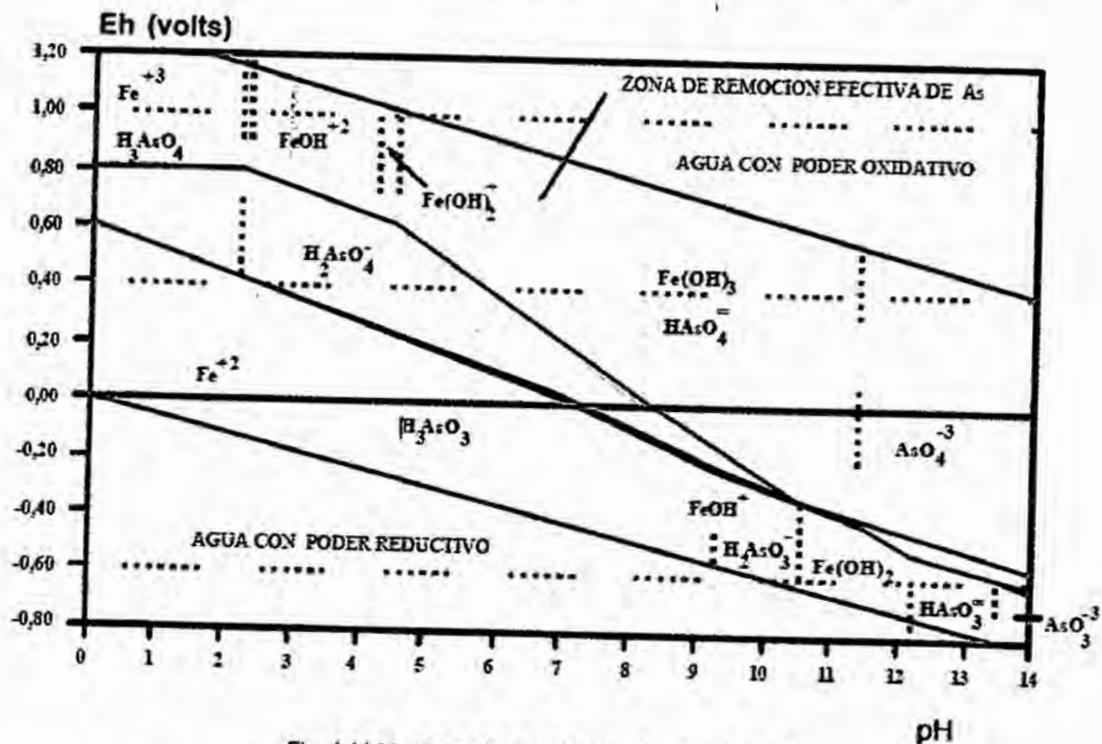


Fig. 4.11 Movilidad del Arsénico en función al pH-pE

Fuente: (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Piña Soberanis, Aviles Flores, & Pérez)

La (figura.N° 4,10), nos permite ver la distribución de especies de hierro en función al pH-pE; superponiendo, el diagrama pH-pE de las especies de hierro sobre la (figN°4.9), se puede obtener la zona de afinidad del arsénico (V) con las sales de hierro.

La eficiencia de los procesos como intercambio iónico, electrodiálisis y osmosis inversa, depende del grado de disociación del As. Las constantes de disociación del As(V) son menores que las del As(III) por lo que su grado de disociación es mayor. Así la eficiencia de remoción del As(V) es mayor en comparación con la del As(III). La fig N°4.11, indica la zona en la cual se debe oxidar el arsénico y las condiciones pH-pE que se deben mantener para lograr una mayor eficiencia en la remoción del arsénico.

La coagulación del As(V) con sales de Al(III) y Fe(III) es conocido como uno de los métodos más eficiente para remoción de arsénico; las sales de hierro y aluminio se hidrolizan formando hidróxidos sobre los cuales el As(V) se adsorbe ó coprecipita .

#### **4.5.2.3. EFECTO DE LA TEMPERATURA.**

La evaluación del efecto de la temperatura sobre la retención de arsenato y arsenito. Se observó que al aumentar la temperatura de 20 a 25 °C los coeficientes de retención se incrementaron, sin embargo, al aumentar la temperatura hasta 45 °C la capacidad de retención disminuyó. Estos resultados demuestran que el proceso de biosorción depende fuertemente de la temperatura. Por un lado, esto está relacionado con que los procesos de biosorción son reversibles y que el incremento de la temperatura aumenta el movimiento cinético de los iones y cambia las estructuras de los sitios activos de los biosorbentes lo que conduce a una disminución de la biosorción (Ilna, Martínez Hernandez, Segura Cisneros, Villarreal Sanchez, & Gregorio Jauregui, 2009)

#### **4.5.2.4 CAPACIDAD CINÉTICA DE ADSORCIÓN**

La evaluación de la capacidad y cinética de adsorción de arsénico, en sistemas en lote, utilizando diferentes carbones activados modificados, variando el pH (6,7,8) y temperatura (25°C y 35°C, con nanopartículas de hidróxido de hierro para remover As(V) presente en agua a bajas concentraciones. Evaluó el efecto de competencia de aniones sobre la capacidad de adsorción de As(V). Observándose un efecto no considerable de la temperatura sobre la capacidad de adsorción, pero sí un efecto del pH ya que al incrementarse este de 6 a 8 la capacidad de adsorción disminuyó un 32%. Asimismo observó que la capacidad de adsorción disminuyó cuando se utilizó agua de pozo debido a efectos de competencia de aniones tales como fluoruros, nitritos, sulfatos y fosfatos presentes en el agua, siendo el  $\text{SO}_4^{2-}$  el que presentó el mayor impacto negativo sobre la capacidad de adsorción de As(V). Los resultados mostraron que el carbón activado modificado con nanopartículas de hidróxidos de hierro posee una cinética de adsorción más rápida que otros carbones utilizados. (Vitela Rodríguez)

La eficiencia de adsorción se elevó cuando la solubilidad del contaminante disminuyó, esto se ve claramente cuando se produjo la oxidación del arsénico previa a la filtración. El floculo es retenido en el filtro. La posibilidad de juntar esto dos procesos para favorecer la remediación del arsénico en uno solo, en el cual (el arsénico en forma de ión es absorbido en el interior del carbón activado atraído por fuerzas quelantes, de un oxido metálico incluido en el interior de los poros por impregnación); donde el proceso de interacción oxido de hierro - arsénico se realizaría en el interior de la matriz. La posibilidad de

Impregnar el carbón activado con óxido de hierro, posibilitaría la realización de los dos procesos físicos al mismo tiempo adsorción y filtración, con la consiguiente simplificación de equipos. (Glibota, 2005)

## **4.6 EL HUESO DE LA ACEITUNA COMO PRECURSOR PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN**

### **4.6.1 EL OLIVO.**

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. Su nombre científico es *Olea Europea* y es apreciada por su alto valor nutritivo. La aceituna de mesa tiene todos los aminoácidos esenciales perfectamente equilibrados y una importante cantidad de minerales como el calcio y el hierro y vitaminas como la provitamina A, vitamina C y la tiamina. También se destaca por estimular los procesos digestivos y aporta fibra a nuestro organismo. Su aporte calórico es de cada 100 grs. 150 calorías.

"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.

En el Perú las variedades de olivo son en su mayoría de origen europeo y provienen especialmente de España, Italia y Portugal. Las principales variedades cultivadas son la sevillana, Ascolana y Liguria. En los lugares donde se produce aceitunas, las cosechas presentan una estacionalidad de cinco meses, entre abril y agosto. Las zonas con mejores condiciones para el cultivo del olivo se encuentran en el sur del Perú, desde Pisco hasta Tacna, siendo las principales Pisco, Ica, Bella Unión, Acarí, La Ensenada, Mejía, Mollendo, Ilo y Tacna.

### **4.6.2 ZONAS DE PRODUCCIÓN.**

En el País las zonas de producción son Tacna, Arequipa, Ica y Moquegua, siendo Tacna la región que registra el mayor rendimiento del olivar a nivel nacional, en esta región existen aproximadamente tres mil aceituneros que producen en promedio de 25 000 TM/AÑO. Presentándose un constante incremento en la producción, llegándose a una producción a nivel nacional de 70 000 TM/AÑO en el 2008. (Quevedo, 2008)

### **4.6.3 EL HUESO DE LA ACEITUNA**

Uno de los residuos de la industria agroalimentaria de mayor interés utilizado como adsorbente son los materiales lignocelulósicos, debido a su estructura resistente y su bajo costo en cuanto a materia prima, donde los materiales constituyentes más importantes son la celulosa la hemicelulosa y la lignina como se observa en la (tabla 10.2).

La pepa de la aceituna, material rico en carbono, con propiedades útiles para la producción de carbón activado, presenta una buena alternativa para proporcionarle valor agregado a los residuos industriales, debido a su estructura resistente, su contenido en material lignocelulósico y su bajo costo en cuanto a materia prima. Estas características hacen del hueso de la aceituna uno de los residuos de la

agroindustria de mayor interés para ser utilizado como materia prima en la obtención de carbón activado, como se observa en la (tabla 10.4).

#### 4.6.4. CARACTERÍSTICAS DEL HUESO DE LA ACEITUNA.

El hueso de la aceituna es uno de los residuos más importantes que genera la industria del olivar, compuesto por un alto contenido de carbohidratos, es uno de los subproductos de la producción del aceite y de las aceitunas de mesa; representa del 17 al 23 % del total del fruto, como se observa en la (tabla 10.3) (Alami, 2010).

El hueso de la aceituna es un residuo de la industria del olivar de carácter lignocelulósico que contiene 03 componentes principales (Lignina; Celulosa; Hemicelulosa) Tabla 10,5 y 10,6; características necesarias de un precursor a ser utilizado para la obtención de carbón activado. (Alami, 2010)

Los resultados de isotermas de adsorción y desorción, demostraron que el hueso de la aceituna no tiene microporos y apenas mesoporos con un diametro promedio de 30 nm. y que este se incrementa con el tamaño de la partícula del hueso (Lara, 2008).

#### 4.6.5 HIPÓTESIS:

El carbón activado obtenido de la pepa de la aceituna adsorbe metales pesados (Pb, As) de efluentes líquidos.

**Variable Independiente (X):** Carbón activado obtenido de la pepa de la aceituna para el cual se establecieron los indicadores:

##### Indicadores:

- Temperatura de Activación: (  $X_1$ )=300 °C (  $X_2$ )= 400 °C , (  $X_3$ )= 500° C, (  $X_4$ )= 600°C, (  $X_5$ )= 700°C
- Agente de activación: (  $X_6$ )=  $H_3PO_4$ , (  $X_7$ ) =  $FeCl_3$

**Variable Dependiente. (Y)**Adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos. Para el cual se establecieron los indicadores:

##### Indicadores:

- Porcentaje de adsorción de Pb(II) en efluentes líquidos =  $Y_1$
- Porcentaje de adsorción de As en efluentes líquidos =  $Y_2$

#### 4.6.6 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES:

**Pepa de Aceituna:** Residuo sólido de la industria del olivar, material lignocelulosico.

**Carbón Activado:** Material carbonizado de estructura porosa y superficie interna elevada.

**Temperatura de Activación:** Temperatura que se somete al precursor ó materia prima durante el proceso de la activación física ó química.

**Agente de activación:** Compuesto que genera un efecto de degradación sobre la celulosa y otros componentes de la materia prima. La acción energética del agente activante hace que se rompan los enlaces laterales, permaneciendo inalterable la cadena principal incrementándose los poros ó huecos inter ó intra moleculares.

**Adsorción:** Proceso mediante el cual la materia de una fase se concentra sobre la superficie de otra fase; la sustancia que adsorbe se le denomina "**adsorbente**" y a la molécula atrapada, "**adsorbato**".

**Metales Pesados:** Compuestos no biodegradables que se acumulan en el organismo causando enfermedades y trastornos razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cancerígenos humanos como el plomo (Pb) y arsénico (As).

**Ácido Fosfórico:** Sustancia química que se utiliza como agente activante ( $H_3PO_4$ )

**Cloruro de Hierro III:** Sustancia química que se utiliza como agente activante ( $FeCl_3$ )

## V MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 EL UNIVERSO

El universo comprende las (pepas de aceitunas), residuo sólido generado por la industria del Olivar en la ciudad de Tacna- Perú.

### 5.2 MATERIALES.

Los materiales que se utilizaron para el trabajo fueron:

**Trabajo de Gabinete.**- Para el estudio realizado se utilizó: Una computadora con Windows 2007, material bibliográfico, textos, trabajos realizados, revistas, Tesis; normas de calidad etc.

**Trabajo de Campo.**- Para el trabajo de campo, se utilizó: bolsas para recolectar el residuo, baldes, bandejas perforadas; Molino de martillo; cámara fotográfica.

**Trabajo de Laboratorio.**-; Balanza Analítica, Estufa, Mufla, Equipo de Jarras; Equipo para medir el pH, Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer , espectrofotómetro UV.; Crisoles de porcelana; Morteros ;Vasos de precipitado, Matraces aforados de 1000; 500; 250 y 100 mL; Buretas graduadas de 50mL, Papel de filtro Whatman N°40 , Desecadores; Plancha de calentamiento y Reactivos ( $H_3PO_4$  al 85%;  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ;  $Na_2HASO_4 \cdot 7H_2O$ ; NaOH; HCl;  $HNO_3$  etc.).

### 5.3 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha visitado las ciudades como Tacna y Arequipa, donde se da la mayor producción a nivel nacional, se ha utilizado información muy diversa, tanto de textos como trabajos realizados por investigadores, los cuales se mencionan en el marco teórico.

#### 5.3.1 TÉCNICAS DE LABORATORIO:

Para determinar la adsorción de metales pesados en aguas contaminadas por metales pesados se utilizaron, las técnicas normalizados para análisis de aguas potables y residuales, dadas por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods) for the examination of water and wastewater 21 edición, 2002 y los Métodos Normalizados ASTM para caracterización del precursor.

#### 5.3.2 TÉCNICAS ESTADÍSTICA.

Para la determinación de los parámetros del proceso en la obtención del carbón activado, así como el análisis químico se realizó, mediante el análisis de varianza con tres repeticiones y un nivel de confianza de 0,05.

### 5.4 METODOLOGÍA.

Para le obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para remoción de metales pesados (Pb; As). El estudio se realizó en dos etapas:

La primera etapa: Corresponde a la Caracterización del precursor y obtención del Carbón activado a partir de la pepa de la aceituna.

La segunda Etapa: Características del carbón activado y capacidad de Adsorción de metales pesados como (Pb y As)

#### **5.4.1 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA PEPA DE LA ACEITUNA.**

El proceso de obtención de carbón activado se realizó con dos agentes activantes diferentes (Ácido fosfórico y Cloruro férrico), dado que la naturaleza de los contaminantes son diferentes (Plomo y Arsénico). El material una vez impregnado con el agente activante se seco en la estufa y se colocó en mufla a las temperaturas de 400, 500 y 600 °C por un tiempo de 1 hora, enfriándose en desecador para su pesado y almacenado posterior.

#### **5.4.2 PREPARACIÓN DEL PRECURSOR (MATERIA PRIMA)**

El residuo agroindustrial (pepas de la aceituna) Figura N° 9.11 se sumergieron en solución de NaOH 0,2M para eliminar los restos del fruto por un tiempo de tres horas, seguidamente se lavó con bastante agua y se colocó al sol en bandejas perforadas, a una temperatura promedio de 28°C. aproximadamente, por 02 días consecutivos. Una vez seco paso por un proceso de trituración en un molino de martillos en el Centro experimenta de la UNAC, hasta obtener un tamaño de partícula aproximadamente de 2.00 mm, ver (figura 9,14); seguidamente se le agregó una solución NaOH 0,1M a la materia prima triturada para eliminar gran parte del germen y el contenido de grasa presente en la muestra luego se lavo con bastante agua; el hueso limpio fue secado por un tiempo de tres horas a 110°C en Estufa. Luego fue enfriado en un desecador y guardado en recipiente de plástico, quedando listo para iniciar el proceso de activación. (figura 9,15).

#### **5.4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.**

Para caracterizar la materia prima se utilizaron los siguientes Métodos Normalizados ASTM.

*Humedad:* En la determinación de la humedad se utilizó la norma D 3173-87

*Materia Volátil:* En la determinación del material volátil se utilizó la norma D3175-89 (02)

*Cenizas:* En la determinación de cenizas se utilizó la norma D3172-89(02)

*Carbón Fijo:* Para la determinación del carbón fijo se utilizó la norma D3172; obteniéndose el porcentaje de carbón fijo según la siguiente fórmula:

$$CF= 100 - (HR + Cenizas + Material Volátil)$$

#### **5.4.4 OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA REMOCIÓN DE PLOMO.**

##### **5.4.4.1. SELECCIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE.**

El agente activante para la obtención de carbón activado fue el  $H_3PO_4$ , se seleccionó de acuerdo al diagrama de Distribución de especies de plomo en función al pH, Figura (4.4) y el grado de disociación

del  $H_3PO_4$  en función al pH de la solución. Dado que los mecanismos de remoción de un contaminante (soluto) por un sólido (adsorbente) se determinan por las interacciones intermoleculares que existen entre el soluto y la superficie del adsorbente..

#### **5.4.4.2 PROCESO DE ACTIVACIÓN CON $H_3PO_4$ :**

El precursor limpio, se peso y se impregno con  $H_3PO_4$  al 85% en la relación gramos de agente activante / gramos de precursor (0,20; 0,60; 1,00), una vez mezclado se agrego 100mL de agua desionizada dejándose en contacto por un tiempo de 24 horas, se seco en estufa por 3 horas a 110°C. Luego se calcino en mufla a las temperaturas de 300; 400; 500; 600 y 700 °C por un tiempo de 1 hora, se enfrió en desecador, se lavo con agua hasta un pH próximo a 5 y se seco en estufa a 110 °C por tres horas .seguidamente se llevo a un proceso de molienda hasta un grano de malla # 80, se almaceno en frasco de plástico, quedando listo para ser utilizado como adsorbente en la remoción de plomo en soluciones acuosas. Los carbones activados se designaron de la siguiente manera (X P T)

X= Precursor Pepa de aceituna

P= Agente activante  $H_3PO_4$  ( $P_1= 0,20$ ); ( $P_2=0,60$ );( $P_3= 1.00$ ).

T= Temperatura de activación ( $T_1= 300$ ;  $T_2= 400$ ;  $T_3=500$ ;  $T_4= 600$ ;  $T_5= 700$ )

### **5.4.5. OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO**

#### **5.4.5.1. SELECCIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE**

El agente activante para la obtención de carbón activado fue el  $FeCl_3$ , se escogió en función al diagrama pH-pE. Herramienta que nos permitió ver la movilidad del arsénico y el Hierro en soluciones acuosas donde se observa las condiciones pH-pE , que se deben mantener para lograr mayor eficiencia en la remoción. Figuras (4,9; 4,10; 4,11). , como adsorbente se utilizó el Fe(III), compuesto que tiene afinidad química por el arsénico en sus formas hidrolizadas, que propicia las interacciones electrostáticas con el arsénico

#### **5.4.5.2 PROCESO DE ACTIVACIÓN CON $FeCl_3$ :**

El precursor limpio, se peso y se impregno con  $FeCl_3$  a diferentes relaciones gramos de agente activante / gramos de precursor (0,10; 0,20; 0,30), una vez mezclado el precursor con el agente activante, se agrego 100mL de agua desionizada y se dejo en contacto por un tiempo de 24 horas, se filtro y se seco en estufa por 3 horas a 110°C. Luego se calcino en mufla a las temperaturas de 400; 500 y 600 °C por un tiempo de 1 hora, luego se enfrió en desecador. Una vez enfriado se llevo a un proceso de molienda hasta un grano de malla # 80, se almaceno en frasco de plástico, quedando listo para ser utilizado como adsorbente en la remoción de arsénico en soluciones acuosas. Los carbones activados se designaron de la manera. (X F T)

X= Precursor Pepa de aceituna

F= Agente activante  $\text{FeCl}_3$  ( $F_1= 0,10$ ); ( $F_2=0,20$ ); ( $F_3= 0,30$ ).

T= Temperatura de activación ( $T_1= 400$ ;  $T_2= 500$ ;  $T_3=600$ ).

#### 5.4.6 CARACTERÍSTICAS ÁCIDO- BÁSICAS DE LOS CARBONES ACTIVADOS

Para determinar el carácter ácido-base superficial y el punto de carga cero de los carbones activados, se empleo el método de titulación ácido-base de (Bohem).

##### 5.4.6.1. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO DE LOS CARBONES ACTIVADOS.

El punto de carga cero del carbón se determinó por un proceso muy similar al reportado por (Leyva Ramos). En un vaso de precipitado se añadieron 0,50g de carbón activado preparado, (molida finamente en un mortero), se agregaron 100 ml de una solución 0,01M (KCl – 0,004M de KOH),se mantuvo en agitación continua durante 48 horas, seguidamente se tomo un a alícuota de 10 mL y se titulo con HCl 0,10 M , adicionándole pequeñas cuotas de HCl, registrándose el volumen agregado y el pH de la solución después de cada adición. Asimismo se realizó la titulación del blanco, bajo las mismas condiciones pero sin el carbón activado. El punto de carga cero del Carbón se determinó graficando el pH de la solución versus el volumen del titulante gastado en la titulación de la solución con carbón activado y sin carbón activado. El pH donde estas dos curvas se interceptan corresponde al punto de carga cero del carbón activado preparado.(Tabla 6.2)

##### 5.4.6.2 DETERMINACIÓN DE GRUPOS ÁCIDOS Y BÁSICOS SUPERFICIALES DE LOS CARBONES PREPARADOS.

Los grupos ácidos y básicos del carbón activado se determinaron por el método de titulación ácido base propuesto por Boehm, neutralizándose los sitios ácidos con una solución 0,10M de NaOH y los sitios básicos con una solución 0,10M de HCl .(En un matraz de 250 mL se coloco 50 ml de solución neutralizante 0,10M y un gramo de carbón activado, el matraz se sumergió en un baño de temperatura constante a 20 °C y se dejo por 5 días, una vez transcurrido el tiempo se tomo una alícuota de 10 mL y se titulo con solución 0,10M de NaOH ó HCl según corresponda. Determinándose en cada caso los meq ácidos ó básicos / gramo de carbón activado de la siguiente forma:

$$\text{meq adsorbidos por sitios ácidos ó básicos} = (\text{meq. agregados} - \text{meq quedan})$$

#### 5.4.7 RENDIMIENTO DE CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO.

Se determino por diferencia de peso entre el precursor y el carbón obtenido después del proceso de carbonización.

- $\%R = \frac{W_e - W_s}{W_e} \times 100$
- $W_e$  = Peso del precursor antes de la carbonización
- $W_s$  = Peso del carbón obtenido.

- %R = Porcentaje de Rendimiento

#### 5.4.8. CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO DEL CARBÓN ACTIVADO CON H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

##### 6.4.8.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL PLOMO

El pH se determinó en función al diagrama de distribución de especies de plomo en función al pH, Figura (4.4); el grado de disociación del H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> en función al pH de la solución

##### 5.4.8.2 CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO CON H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

**Preparación de soluciones estándar de 2 mg/L, de plomo.** Se preparó una solución "stock" de 100 mg/L de Pb<sup>2+</sup>, utilizando Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> grado analítico marca Merck, con agua desionizada, a partir de este "stock" se preparó soluciones de 2 mg/L; las que se utilizaron para determinar la capacidad de remoción del carbón activado preparado.

**El proceso de adsorción.** Los ensayos de adsorción de plomo se realizaron en un sistema batch en cada caso se utilizó 0,50 g de carbón activado y se pusieron en contacto con 500 mL de solución de plomo de 2mg/L Pb(II) a temperatura ambiente (20°C), ajustándose la solución a un pH = 4,00, seguidamente se colocó en un agitador múltiple a 300 rpm por un tiempo de tres horas, finalizada la etapa de adsorción las fases fueron separadas por filtración, evaluándose las concentraciones de plomo en las soluciones remanentes por adsorción atómica en un equipo Perkin Elmer AAS-3100.

Para determinar la capacidad de remoción se utilizó la siguiente ecuación

$$qc = \frac{(C_o - C_f)}{M} \times V$$

Donde:

**qc** = Capacidad de adsorción en mg Pb(II) /g de carbón activado,

**C<sub>o</sub>** = Concentración inicial mg/L

**C<sub>f</sub>** = Concentración final mg/L.

**V** = Volumen de la muestra (L).

Para determinar el porcentaje de remoción se utilizó la siguiente ecuación:

$$Remoción = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

#### 5.4.9- CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL ARSÉNICO CON CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE HIERRO III.

##### 5.4.9.1. DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO

El pH se determinó según el diagrama pH-pE. Figuras (4,9; 4,10; 4,11) .

#### 5.4.9.2- CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO CON FeCl<sub>3</sub>.

**Preparación de soluciones estándar de 2 mg/L, de Arsénico.** Se preparó una solución "stock" de 100 mg/L de As(V), utilizando Na<sub>2</sub>HAsO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O grado analítico marca Merck, con agua desionizada, a partir de este "stock" se preparó soluciones de 2 mg/L; las que se utilizaron para determinar la capacidad de adsorción del carbón activado.

**El proceso de adsorción.** Los ensayos de adsorción de Arsénico se realizaron en un sistema batch en cada caso se utilizó 0,50 g de carbón activado y se pusieron en contacto con 500 mL de solución de arsénico de 2 mg/L. As (V) a temperatura ambiente(20°C) ; ajustándose la solución a un pH= 5, seguidamente se colocó en un agitador múltiple a 300 rpm por un tiempo de tres horas, finalizada la etapa de adsorción las fases fueron separadas por filtración, evaluándose las concentraciones de arsénico en las soluciones remanentes se determinaron por espectrofotometría UV-VS por el método de dietilditiocarbamato de plata.

Para determinar la capacidad de adsorción (qc) se utilizó la siguiente ecuación:

$$qc = \frac{(Co - Cf)}{M} \times V$$

Donde:

**qc** = Capacidad de adsorción en mg As /g de carbón activado,

**Co** = Concentración Inicial mg/L

**Cf** = Concentración final mg/L.

**V** = Volumen de la muestra (L) .

Para determinar el porcentaje de remoción se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(Co - Cf)}{Co} \times 100$$

## VI RESULTADOS

### 6.1 ZONAS DE PRODUCCIÓN

Las zonas de mayor producción en el país son Tacna y Arequipa tal como se muestran en la tabla (10.1).

### 6.2 EL HUESO DE LA ACEITUNA COMO PRECURSOR PARA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.

El hueso de la aceituna representa el (17-23 %) del fruto del olivo, asimismo contiene un 41 % de lignina componente importante para la obtención de carbón activado como podemos observar en las tablas (10.2 y 10.3). En las figuras (6.1 y 6.2) podemos observar el fruto y la pepa ó hueso de la aceituna.

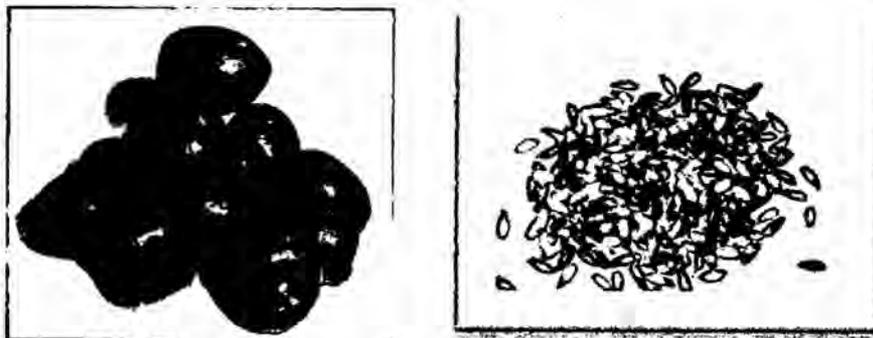


Figura N° 6.1 Fruto del Olivo

Figura N°6.2: La Pepa ó Hueso de la Aceituna

Fuente: Propia

### 6.3. CARACTERÍSTICAS DEL HUESO DE LA ACEITUNA.

El hueso de la aceituna es un residuo de la industria del olivar que presenta un alto contenido de material lignocelulósico, un contenido de carbono fijo de 21.85 % y bajo contenido de cenizas (1.42 %). Como podemos observar en la tabla (6.1).

Tabla 6.1  
Composición Hueso de la Aceituna

Compuestos	Porcentaje %
Carbón Fijo	21.85
Volátiles	68,93
Cenizas	1,42
Humedad	7.8

Fuente: Propia

### 6.4. SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE PLOMO

El agente activante para la obtención de carbón activado fue el  $H_3PO_4$ ; se determinó en función a la interacción que se da entre el anión del  $H_2PO_4^-$  y el  $Pb^{++}$  a un determinado pH, como podemos observar en el  $(H_2PO_4^- - Pb^{++})$  diagrama de distribución de especies de plomo en función al pH, Figura (4.4) y el grado de disociación del  $H_3PO_4$  así como el pH de la solución según figuras (4.5; 4.6). Como las especies presentes del  $H_3PO_4$  dependen del pH de la solución y al encontrarse estos iones

incluidos en los poros del carbón permiten el proceso de interacción ( $H_2PO_4^- - Pb^{++}$ ) posibilitando el proceso de adsorción del plomo a un determinado pH.

### 6.5 SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO.

La selección del agente activante para la obtención de carbón activado para remoción de arsénico fue el  $FeCl_3$ , que se determinó en función al diagrama pH-pE, del arsénico y del hierro, Herramienta que nos permitieron ver la movilidad del arsénico y el Hierro en soluciones acuosas, las se muestran en las figuras (4.8, 4.9, 4.10 y 4.11).

### 6.6. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CARGA CERO DE LOS CARBONES ACTIVADOS.

Los resultados reportaron valores del punto de carga cero de 3,12, 3,14 y 6,5 para los carbones activados con  $H_3PO_4$ ,  $FeCl_3$  y sin activar. Ver figura (6.3).

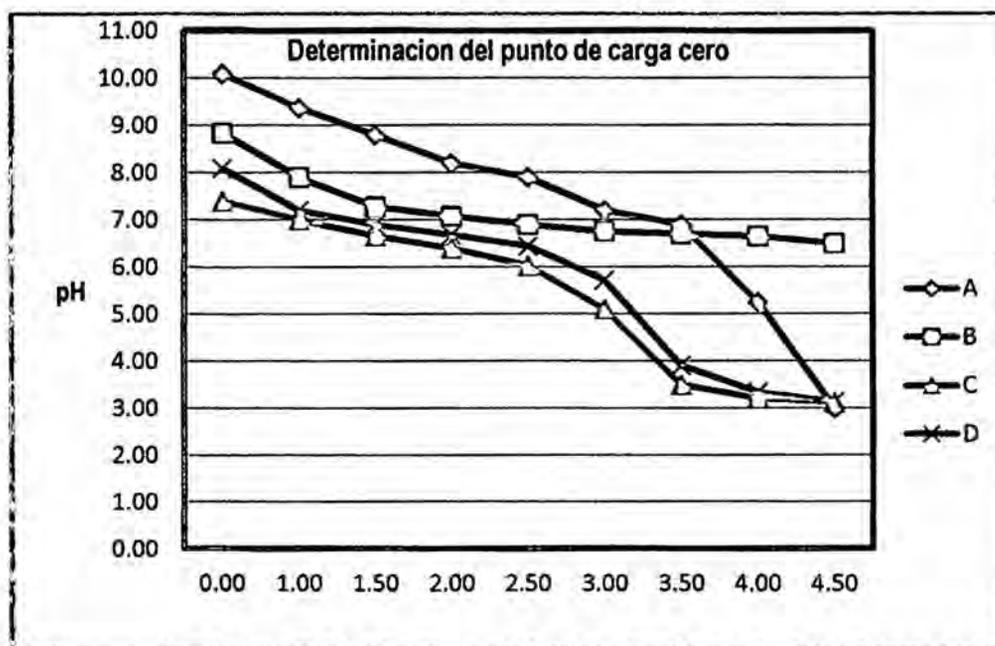


Figura: 6.3 A= Blanco; B= Carbón Sin Tratamiento Químico; C= Carbón activado con  $H_3PO_4$ ; D= Carbón activado con  $FeCl_3$   
Fuente: Propia.

### 6.7. DETERMINACIÓN DE LOS GRUPOS ÁCIDOS Y BÁSICOS DE DE LOS CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS.

Los resultados se muestran en la tabla (6,2).

Tabla 6.2  
Grupos Ácidos Básicos superficiales

Carbones	Básicos	Ácidos
	meq OH/g.	meq.H <sup>+</sup> /g
Carbón solo	1,45	1,4
Carbón $H_3PO_4$	-	2,25
Carbón $FeCl_3$	-	1,80

Fuente: Propia

### 6.8 EFECTO DE LA RELACIÓN AGENTE ACTIVANTE: PRECURSOR Y LA TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO ( $H_3PO_4$ ).

Los resultados se muestran en las figuras (6.4; 6.5).

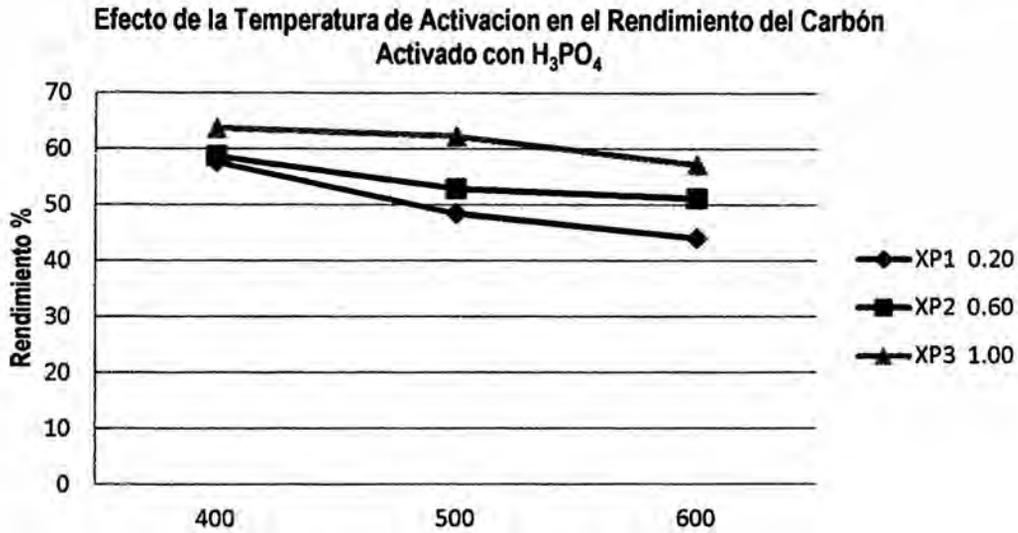


Figura: 6.4 Relación agente activante/ precursor: XP1 = 0,20; XP2=0,60; XP3=1.00  
Fuente: Propia.

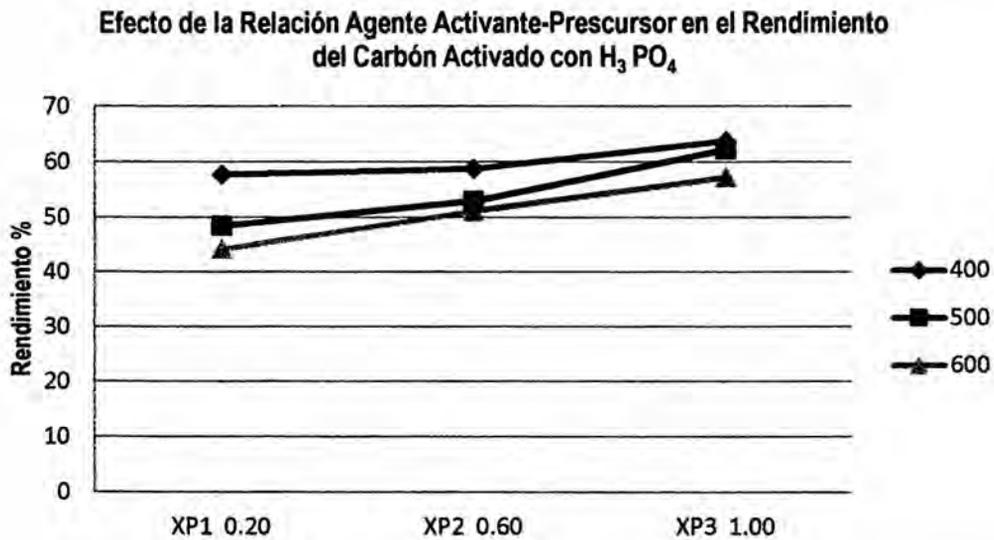


Figura:6.5. Temperatura de activación: T1 = 400 °C; T2= 500°C; T3= 600°C  
Fuente: Propia.

### 6.9 EFECTO DE LA RELACIÓN AGENTE ACTIVANTE: PRECURSOR Y LA TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CON ARSÉNICO.

Los resultados se muestran en las figuras (6.6, 6.7).

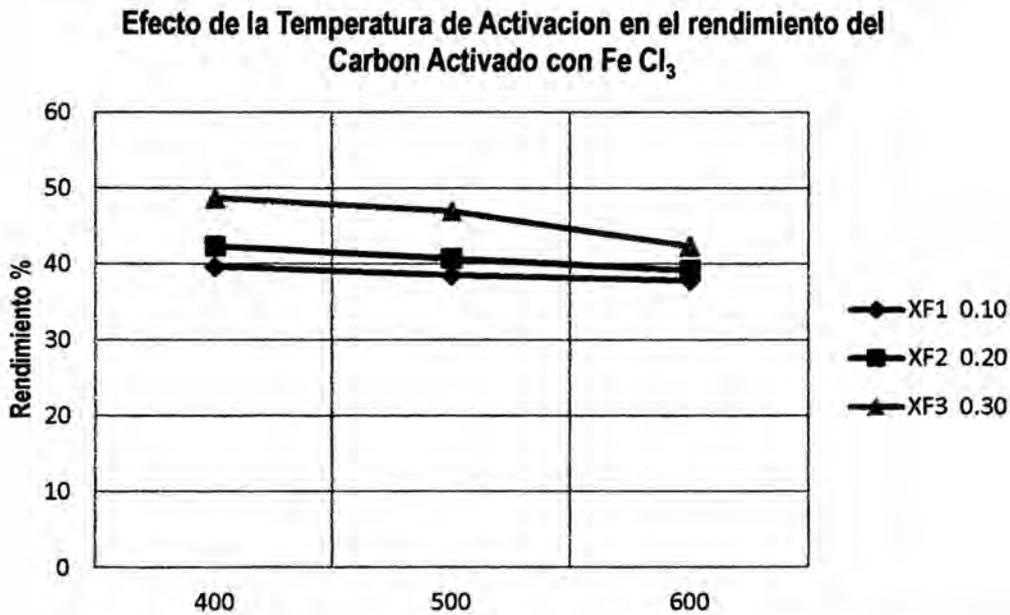


Figura: 6.6 Temperatura de activación: T1 = 400 °C; T2= 500°C; T3= 600°C  
Fuente: Propia.

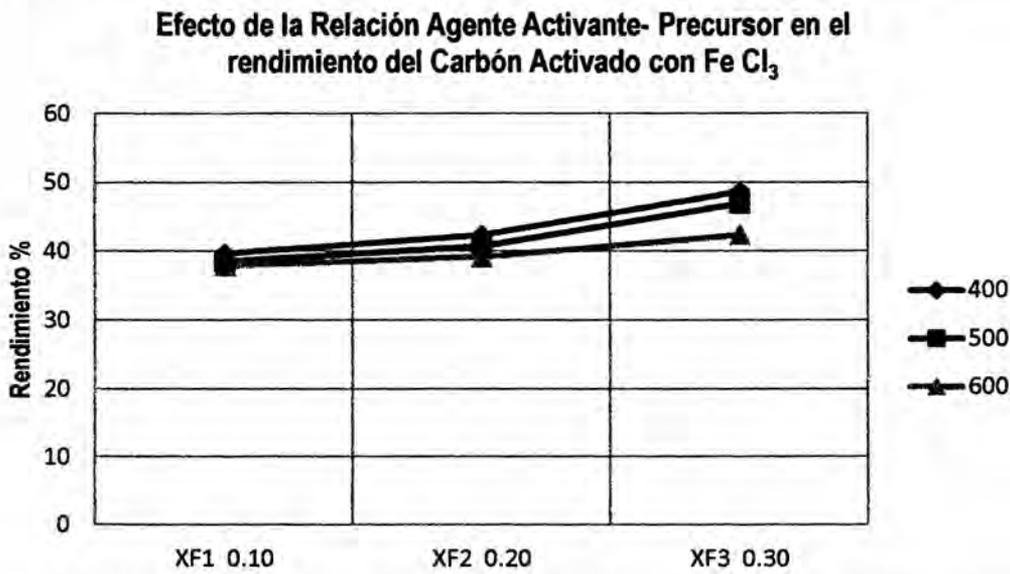


Figura:6.7 Relación agente activante/ precursor: XF1 = 0,20; XF2=0,60; XF3=1.00  
Fuente: Propia.

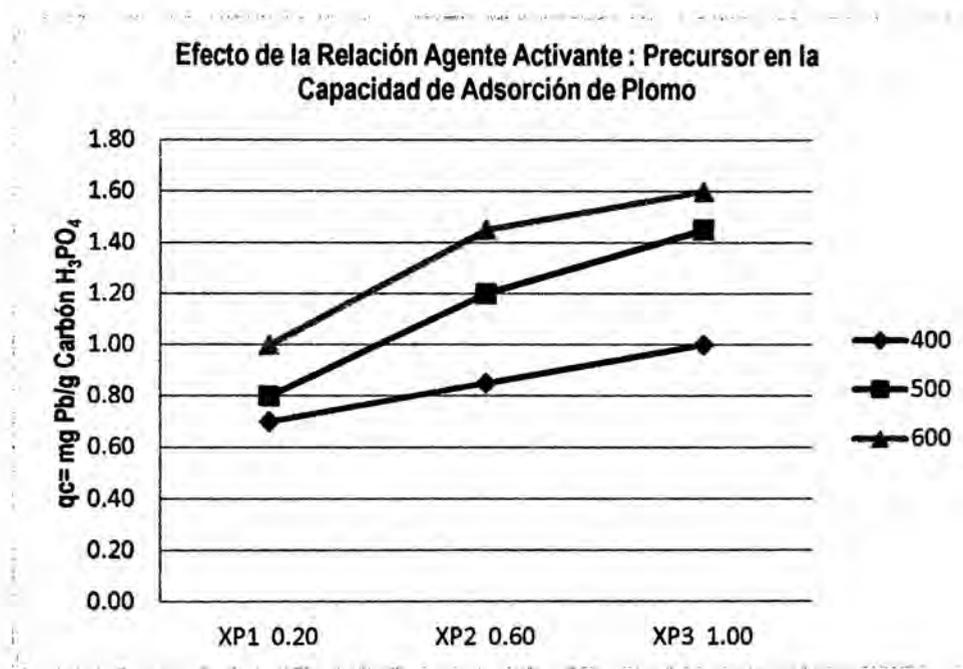
## 6.10 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PLOMO (II) DEL CARBÓN ACTIVADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO ( $H_3PO_4$ ).

### 6.10.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL PLOMO

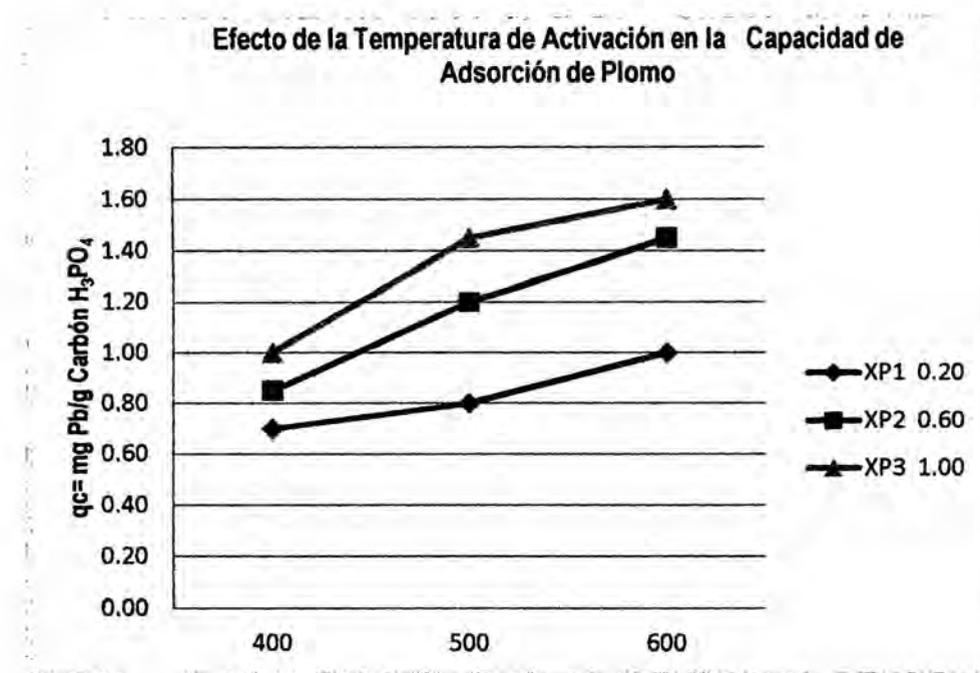
El pH seleccionado para determinar la capacidad de adsorción fue de 4.00

### 6.10.2 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL PLOMO (II)

En las figuras (6.8 y 6.9), se muestran las isotermas que representan la capacidad de adsorción de Pb(II) del carbón activado con  $H_3PO_4$ , en relación al agente activante, y temperatura de activación.



**Figura: 6.8** Relación agente activante/ precursor: XP1 = 0,20; XP2=0,60; XP3=1.00  
Parámetros de Remoción:  $C_i = 2\text{mg/L}$ ;  $\text{pH} = 4$ ; tiempo de remoción = 3 horas.  
Fuente: Propia



**Figura: 6.9:** Temperatura de activación: T1 = 400 °C; T2= 500°C; T3= 600°C  
Parámetros de Remoción:  $C_i = 2\text{mg/L}$ ;  $\text{pH} = 4$ ; tiempo de remoción = 3 horas.  
Fuente: Propia

## 6.11 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE As(V) DEL CARBÓN ACTIVADO CON CLORURO DE HIERRO III

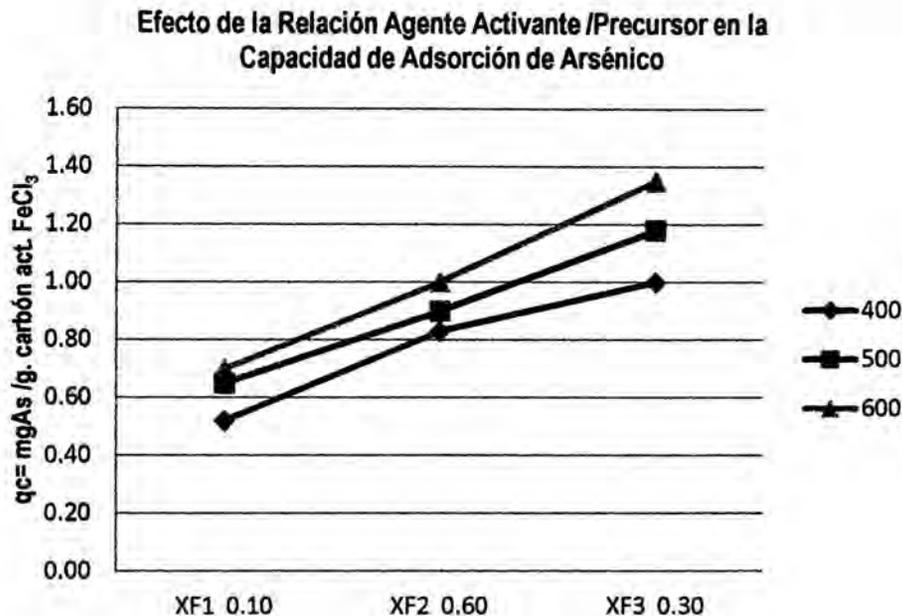
### 6.11.1 DETERMINACIÓN DEL PH EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO.

El pH seleccionado para determinar la capacidad de adsorción fue de 5.00, según el diagrama pH-pE.

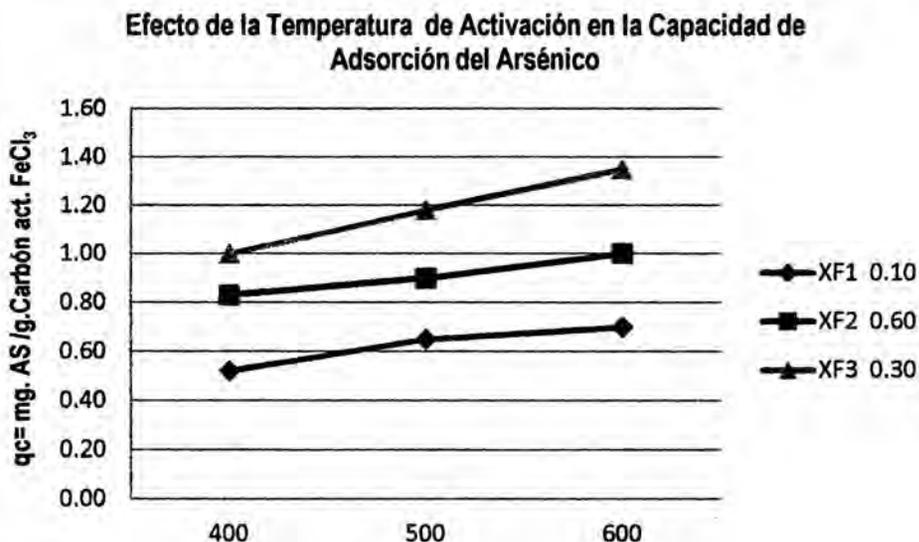
(Figuras 4.11; 4.12).

### 6.11.2 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL ARSÉNICO

Las figuras (6.10 y 6.11), muestran las isotermas que representan la capacidad de adsorción de As(V) expresado en mg As(V) /gramo de carbón activado.



**Figura: 6.10** Relación agente activante/ precursor: XF1 = 0,20; XF2=0,60; XF3=1.00  
Parámetros de Remoción:  $C_i = 2\text{mg/L}$ ; pH = 5; tiempo de remoción = 3 horas.  
Fuente: Propia



**Figura: 6.11** Temperatura de activación: T1 = 400 °C; T2= 500°C; T3= 600°C  
Parámetros de Remoción:  $C_i = 2\text{mg/L}$ ; pH = 4; tiempo de remoción = 3 horas.  
Fuente: Propia

## VII DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### 7.1 ZONAS DE PRODUCCIÓN

En el País las zonas de producción son las ciudades de Tacna, Arequipa, Ica y Moquegua siendo la región de Tacna la que registra mayor rendimiento a nivel nacional, llegando a un promedio de 45, 165 TM/AÑO.(Tabla 10.1)

### 7.2 COMPOSICIÓN DEL FRUTO DEL OLIVO.

Estudios realizados demuestran que el hueso de la aceituna representa del 17 al 23 % del total del fruto de la aceituna, generándose un residuo de aproximadamente 7 650 TM/AÑO solo en la ciudad de Tacna. (Tabla 10.1; 10.3).

### 7.3 EL HUESO DE LA ACEITUNA COMO PRECURSOR PARA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.

El hueso de la aceituna es un residuo de la industria del olivar con alto contenido de material lignocelulósico y un contenido de carbono fijo de 21.85 % y bajo contenido de cenizas (1.42 %); características que lo hacen uno de los residuos de la agroindustria de mayor interés para ser utilizado como materia prima para la obtención de carbón activado.(TablaN°6.1).

(Marlón Bastidas, 2010), Los experimentos realizados con el endocarpio de coco y palma africana reportaron características similares en los residuos agroindustriales de Endocarpio de Coco (21,50 % ) de carbono fijo y Endocarpio de Palma Africana (18, 40%) (Marlón Bastidas, 2010).Asimismo en los estudios realizados con los residuos de la aceituna, se determinó que la pepa de la aceituna tenía un alto contenido lignocelulósico (Alami, 2010) ver tablas (Tabla 5.2; 5,4; 5.5)

### 7.4. SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE PLOMO

El agente activante para la obtención de carbón activado fue el  $H_3PO_4$ , se determinó en función al diagrama Distribución de especies de plomo en función al pH, Figura (4.4) y el grado de disociación del  $H_3PO_4$  así como el pH de la solución; dado que la capacidad de adsorción del carbón activado depende del agente activante la que debe estar en relación al electrolito a removerse. En la figura N°4.4 podemos observar que a pH bajos la especie predominante es  $Pb^{2+}$ , a este valor de pH la concentración de  $H_3O^+$  es más alto con respecto a los de iones metálicos por lo tanto los iones hidronio ocupan primero los sitios activos, dejando iones metálicos libres en solución, cuando se incrementa el pH la concentración de iones  $H_3O^+$  se reduce y los sitios activos en la superficie del adsorbente se convierten en formas disociadas y pueden intercambiar iones  $H_3O^+$  con iones metálicos en solución según figura N° 4.5. Asimismo podemos observar que el  $H_3PO_4$  a pH entre 4 y 5 se encuentra disociado como  $(H_2PO_4^-)$  anión que al estar incluido en el interior de los poros del carbón permitirá el proceso de interacción  $(H_2PO_4^- - Pb^{++})$  posibilitando el proceso de adsorción. pH similar al reportado por (Lavado Mesa, Sun Kou, & Bendezu, 2010) y (Mendoza Colina, 2012) en remoción de plomo con carbonos activados con  $H_3PO_4$ .

## 7.5 SELECCIÓN DE AGENTE ACTIVANTE PARA REMOCIÓN DE ARSÉNICO

La selección del agente activante en la obtención de carbón activado para remoción de arsénico se determinó en función al diagrama pH-pE. Herramienta que nos permitió ver la movilidad del arsénico y el Hierro en soluciones acuosas. En las figuras (4.8, 4.9, 4.10 y 4.11), podemos observar que el hierro a pH entre 4 y 5 se encuentra como  $Fe(OH)_2^+$  lo que determina la carga superficial positiva del carbón y la adsorción de aniones como el arsenato y el arsenito. El óxido metálico al estar incluido en el interior de los poros del carbón permite que el proceso de interacción óxido de hierro- arsénico se dé en el interior de la matriz. (Glibota, 2005)

La presencia de Fe(III) en el agua a tratar fomenta la formación de complejos de Fe-As que pueden ser adsorbidas en la superficie por el carbón. (Iliina, Martínez Hernandez, Segura Cisneros, Villarreal Sanchez, & Gregorio Jauregui, 2009). Asimismo en la evaluación de minerales para la remoción de arsénico de agua para consumo humano observó, que los materiales enriquecidos con hierro presentan mayor capacidad de adsorción de Arsénico, dado que el proceso de remoción se ajusta a un modelo de equilibrio de intercambio de ligando, donde el pH y la temperatura influyen en el proceso de biosorción del metaloide As (V) en los materiales enriquecidos con Fe. (Petkova Simeonova, Rivera Huerta, Piña Soberanis, Aviles Flores, & Pérez)

## 7.6 EFECTO DE LA RELACIÓN AGENTE ACTIVANTE: PRECURSOR Y LA TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO.

Los resultados mostrados en las figuras (6.4; 6.5; 6.6 y 6.7), demuestran que los agentes activantes utilizados como el  $H_3PO_4$  y el  $FeCl_3$ , en la activación de la pepa de la aceituna para la obtención del carbón activado, incrementan la cantidad de carbón activado obtenido. Encontrándose el mayor rendimiento (63,73%) en la relación  $H_3PO_4$ /Precursor = 1.00 y un rendimiento de (48.67%) en la relación  $FeCl_3$ /Precursor = 0,30 a la temperatura de 400°C. Asimismo se observó que al incrementarse la temperatura de calcinación el rendimiento del carbón disminuye, debido al cambio de contenido de material volátil alquitranado o ácidos piroleñosos; pero se incrementa el porcentaje del carbón fijo; reporte similar al obtenido por (Prías Barragán J.J, Junio del 2011) donde indica, que para valores de bajas temperaturas y corto tiempo de carbonización se da un mayor rendimiento, pero un menor porcentaje de carbono fijo, tal como se muestra en la (Tabla N° 4.2), indicando con esto la presencia de ácidos piroleñosos en la biomasa, mientras que para altas temperaturas y mayor tiempo de carbonización, se presenta un menor rendimiento, pero un mayor porcentaje de carbono fijo, lo que nos indica el rompimiento de enlaces durante la pirolisis de las moléculas de lignina y celulosa y la conversión del material vegetal en carbono fijo. Caso similar se observa en el estudio realizado por, (Hernandez, Lara Luevano, Zertuche Silva, Montañez Muñoz, & Georgina., 2003), en la obtención de carbón activado a partir de residuos de madera (caoba, cedro y pino), utilizando como agentes activantes ( HCl,  $H_2SO_4$ ,  $ZnCl_2$ ,  $CaCl_2$ ), a diferentes concentraciones y a temperaturas de 400 y 700 °C carbonización; donde

## VIII REFERENCIALES

- Agorube Manosalva, L. (2008). *Remoción de Metales Pesados por Medio de Adsorbentes no convencionales*. Temuco-Chile: Universidad de la Frontera Facultad de Ingeniería.
- AguilarGonzález, a., Gorokhovskiy, V., Elguezabal, A., & Escalante García, J. (2009). Remoción de Plomo de soluciones Acuósas por Titanato de Potasio Dopado con Silice. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental- México*, 125-132.
- Alami, S. B. (2010). *Aprovechamiento del Hueso de la Aceituna, Biosorción de Iones Metálicos*. España: Universidad de Granada.
- Carro Pérez, M. (2009). *Remediación de Aguas con Arsénico, Mediante Mecanismos de Adsorción y Floculación*. Córdoba - Argentina: Universidad Nacional de Córdoba .
- CEDEP. (2005). El Pallar (*Phaseolus lunatus*) cultivo importante del Valle de Ica. *Centro de estudios para el desarrollo y la participación*, 3,4,5,6.
- Colina, E. J. (2012). *Remoción de Pb(II) de Soluciones Mediante Carbón Activado*. Bogotá-Colombia: Universidad de Colombia-Universidad de Magdalena.
- Donaciano Luna, A., González, M., & Nancy, M. (2007). *Obtención de Carbón Activado a partir de la Cascara de Coco*. Azcapotzalco-México: Dpto de Química Área de Termofluidos.
- Glibota, G. S. (2005). *Adsorción de Arsénico en Filtros de Carbón*. Chaco-Arentina: Universidad Nacional del Nordeste- Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Herig, P., Chen, P., Wlkie, J., & Elimelech, M. L. (1969). Arsenic removal by ferric chloride. *Journal AWWA*, 155-167.
- Hernandez, R., Lara Luevano, N., Zertuche Silva, C., Montañez Muñoz, L., & Georgina., M. M. (2003). *Obtención de Carbón Activado a partir der Residuos de Maderade la Industria Mueblera del Estado de Aguas Calientes*. Aguas Calientes -México: Instituto Tecnológico de Aguas Calientes.
- Ilina, A., Martínez Hernandez, J., Segura Cisneros, P., Villarreal Sanchez, J., & Gregorio Jauregui, K. (2009). Biosorción de Arsénico en Materiales Derivados de Maracuyá. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental Vol.25 N° 4 - México*, 201-216.
- Labrada Vázquez, B., Sanchez del Campo, A., & Salas Tort, D. (2005). Obtención de Carbón Activado por Método de Activación Con Etapa de Lixiviación. *Tecnología Química*, Vol XXXV, N°3.
- Lara, M. (2008). Surface Chemistry evaluation of Some Solid Wastes From Olive- Oil Industry Used for removal aqueous solution. *Biochemical Engenering Juornal*, 151-159.
- Lavado Mesa, C., Sun Kou, M., & Bendezu, S. (2010). Adsorción de Plomo de Efluentes industriales Usando Carbones Activados con Ácido Fosforico. *Sociedad Química del Perú Vol.76 N°2*, 165-177.

- Leyva Ramos, L., Velásquez Vargas, L., Mendoza Barron, J., & Guerrero Coronado, R. M. (2002). Adsorción del Salicilato de Sodio en solución acuosa sobre Carbón Activado. *Journal of The Mexican Chemical Society Vol. 46; Número 002*, 156-166.
- Marcilla Gomis, A. (1982). *Carbón Activado a partir de la Cascara de Almendra*. España: Universidad de Alicante .
- Marlón Bastidas, L. M. (2010). Producción de Carbón Activado a partir de precursores Carbonosos del Departamento del Cesar Colombia. *Información Tecnológica Vol. 21(3)*, 87-96.
- Marlon Bastidas, M. R. (Setiembre 2009). Producción de Carbón Activado a partir de precursores Carbonosos del Departamento del Cesar Colombia . *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Carbón* .
- Mendoza Colina, E. J. (2012). *Remoción de Pb(II) de Soluciones mediante Carbón Activado: Experimentos por Lotes*. Bogota- Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Universidad de Magdalena.
- MINAM. (2008). *Estandares de Calidad Ambiental*. Lima -Perú: MINAM.
- MINSA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima-Perú: Dirección General de Salud Ambiental.
- Moreno Piraján, J. (2007). *El Carbón Activado como Adsorbente Universal*. Bogotá-Colombia: Uniandes.
- Moreno Piraján, J. (2007). *Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida*. Bogotá - Colombia: Ediciones UniAndes.
- O.M.S.. (2006). *Guía para Calidad de agua Potable*. Ginebra-Suiza: Organización Mundial de la Salud Vol1-OMS.
- Petkova Simeonova, V., Rivera Huerta, L., Piña Soberanis, M., Aviles Flores, M., & Pérez. (n.d.). *Evaluación de diversos minerales para Remoción de Arsénico de Agua Para Consumo Humano*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Prías Barragán J.J, C. G. (Junio del 2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de Carbón Activado a partir del precursor *Gadua Angustifolia Kunth*. *Revista Académica de Ciencia Vol. XXXV número 135*, 157-166.
- Quevedo, J. Z. (2008). *PROYECTO UE-PERÚ/PENX*. Lima -Perú: MINAG. Oficina de Información Agraria- Ministerio de Comercio Exterior.
- Reyes Toriz, E., Cerino Córdova, F., & Suárez Herrera, M. (2006). Remoción de Metales Pesados con Carbón Activado como Soporte de Biomasa. *Ingeniería Química -Facultad de Ciencias Químicas*, 59-64.
- Rodríguez, F. (2007). *El Carbón Activado como Adsorbente Universal en Sólidos Porosos. Preparación, Caracterización y Aplicaciones*. Bogotá: Ediciones Uniandes,.

- Soto, E., Miranda, R., Sosa, C., & Loredo, J. (n.d.). *Optimización del Proceso de Remoción de Metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Químicas.
- Taty Costodes, V., Fauduet, H., Porte, C., & Delacroix, A. (2003). Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto Sawdust of pinus Sylvestris. *Journal of Hazardous Materials*, 121.
- Turan, M., Baris, M., & Yuksel, B. (2005). Lead Removal in Fixed-Bed Columns by Zeolite and Sepiolite. *Short Communication, Chemosphere* 60, 92-97.

Obtención de Carbón Activado a partir de la pepa de la Aceituna para Adsorción de metales Pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.

## IX APENDICE

## FIGURAS



Fig.9.1: Pepa de la aceituna lavada con NaOH  
Fuente: Propia



Fig.9.24: Proceso de trituración con molino de martillo  
Fuente: Propia



Fig.9.3 Materia Prima Triturada (Hueso +Germen  
Fuente: Propia.



Fig.9.4 Materia Prima triturada y limpia del germen.  
Fuente: Propia

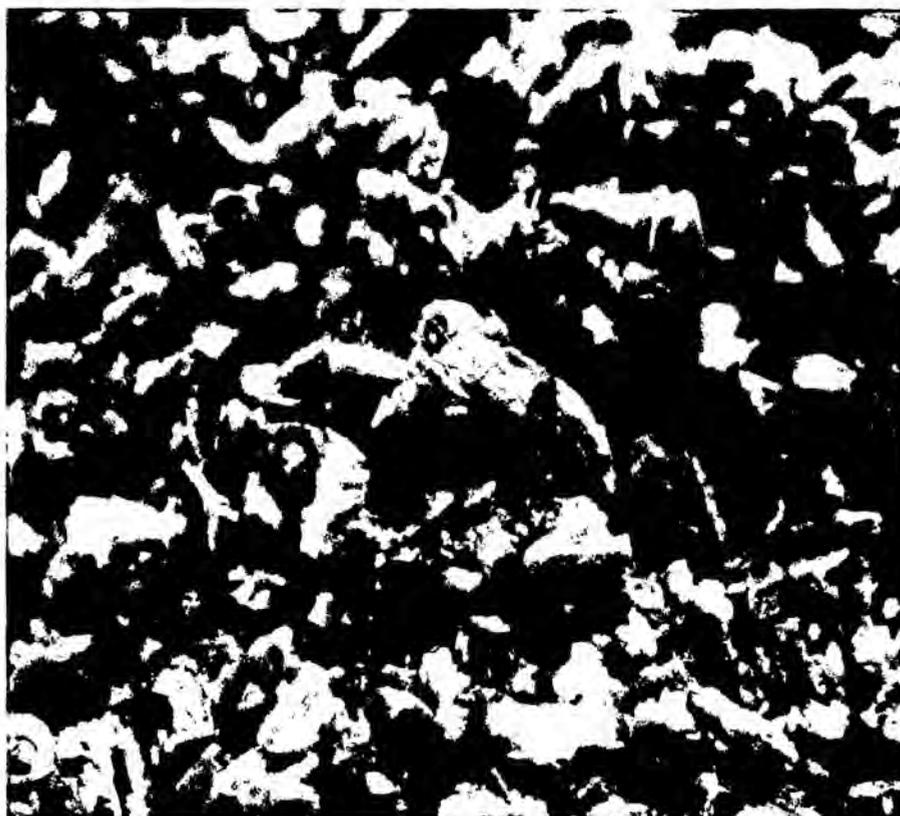


Fig.9.5 Materia Prima triturada y lavada con NaOH  
Fuente: Propia

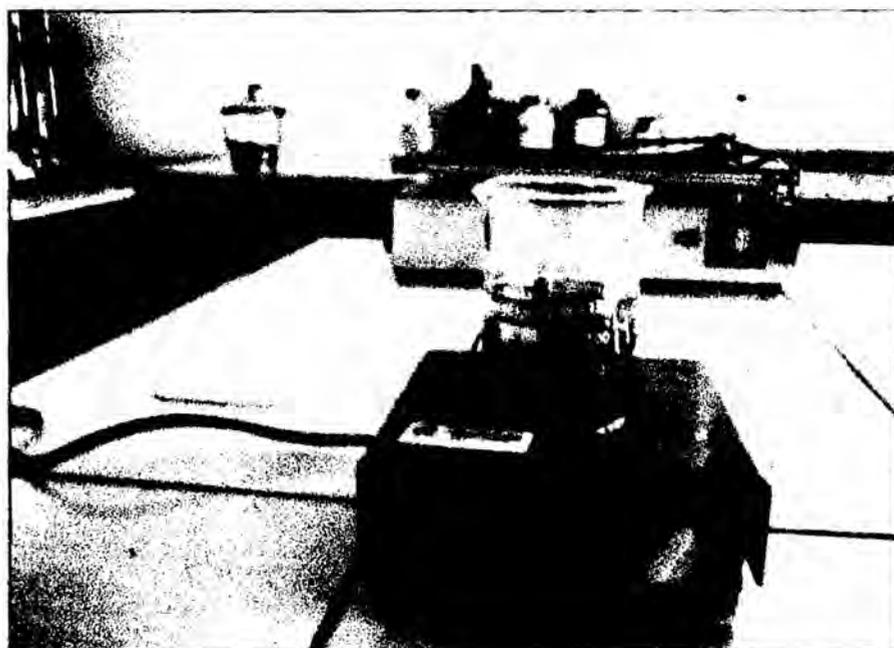


Fig.9.6 Proceso de impregnación con  $\text{FeCl}_3$   
Fuente: Propia

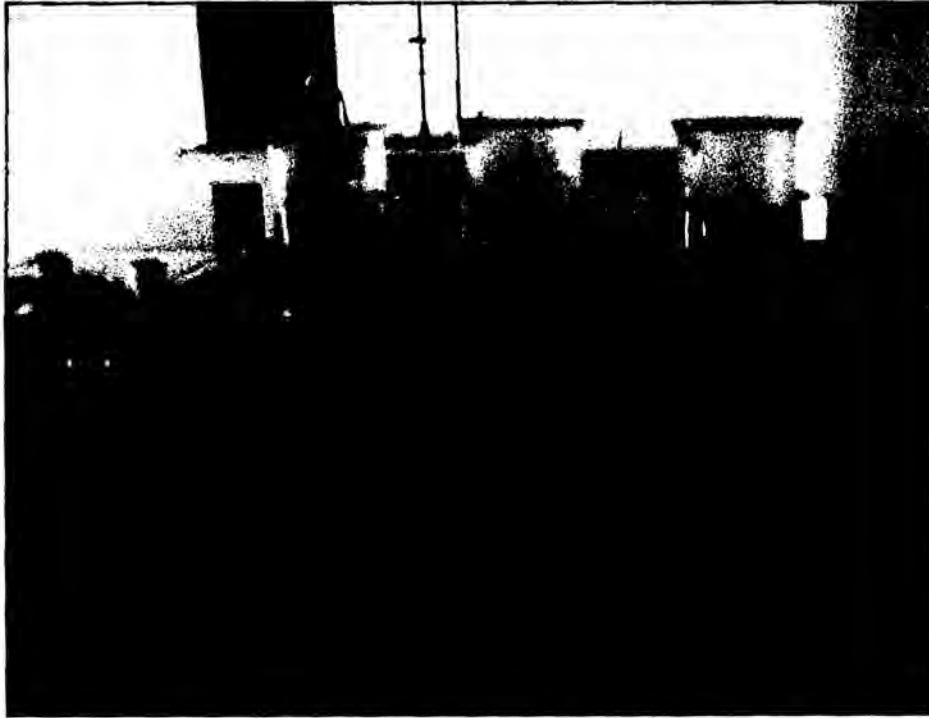


Figura N°.9.7 Proceso de impregnación con  $H_3PO_4$   
Fuente: Propia



Fig.9.8 Carbón Activado obtenido.  
Fuente: Propia

Obtención de Carbón Activado a partir de la pepa de la Aceituna para Adsorción de metales Pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.

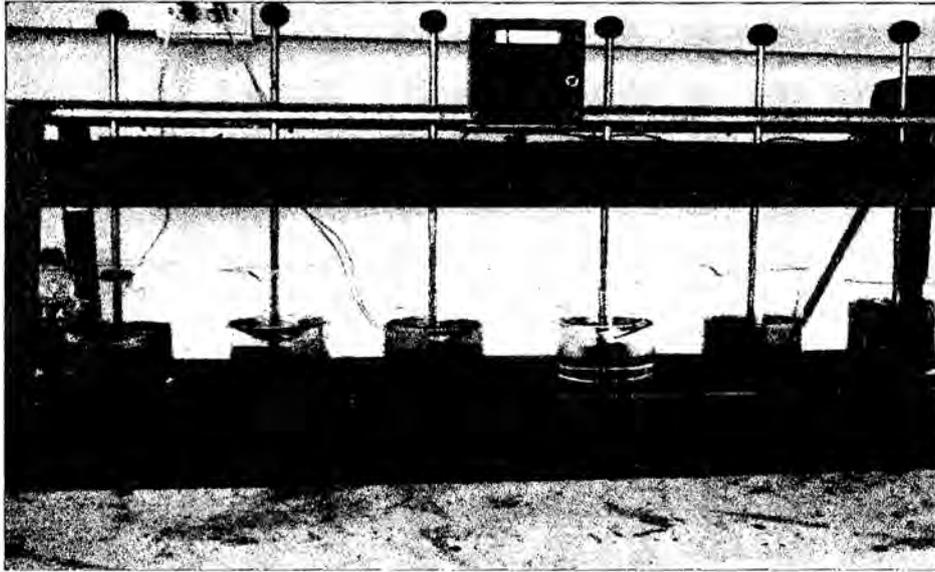


Fig.9.9 Proceso de adsorción de iones Pb(II) ó As(V).  
Fuente: Propia

Obtención de Carbón Activado a partir de la pepa de la Aceituna para Adsorción de metales Pesados (Pb, As) en efluentes líquidos.

**X ANEXOS**

**Tabla 10.1**  
**Producción Nacional de Aceituna**

Año	Arequipa	Ica	Libertad	Lima	Moquegua	Tacna
2000	11 390	902	205	191	608	16 730
2001	13 588	599	185	269	557	17 244
2002	12 512	754	120	823	820	17 459
2003	11 921	826	139	685	1006	23 462
2004	13 133	1009	144	947	510	26 728
2005	18 484	1177	140	986	471	33 365
2006	13 859	1284	144	989	527	35 526
2007	14 571	1013	123	1199	135	35404
2008	5 163	608	N.d	N.d	344	45 165

Fuente:(Quevedo, 2008).

**Tabla 10.2**  
**Contenido Lignocelulósico de Arboles y Residuos Agrarios (Base Seca)**

Precursor	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas
Madera de arbol	40-50	15-34	26-34	1.00
Begazo cañaazúcar	32-44		19-24	2-5
Bambú	26-43		21-31	2-5
Paja de arroz	29-40	26	7-12	4-11
Hueso de aceituna	24.80	34. 20	41	1.62

Fuente: (Technical Association for the pulp, paper and converting industry (Alami, 2010)

**Tabla 10.3**  
**Composición del Fruto de la Aceituna**

Epicarpio	Mesocarpio	Endocarpio ó Hueso	Almendra
2,00-2,50	17,50- 80,50	17,30- 23,00	2,20- 5,50

Fuente:(Nef. Zaouri 1983) (Alami, 2010).

Tabla 10.4  
 Contenido Lignocelulósico del Hueso de la Aceituna  
 En Base Seca

Compuestos	Porcentaje %
Celulosa	24,80
Hemicelulosa	34,20
Lignina	41,00

Fuente: (Alami, 2010)

Tabla 10.5  
 Composición elemental Hueso de la Aceituna en Base Seca

Elemento	Porcentaje %
Carbono	50,79
Oxígeno	42,74
Hidrógeno	5,95
Nitrógeno	0,48
Azufre	0,04

Fuente: Tesis Doctoral Soloua Ben Driss Alami- 2010

Tabla 10.6  
 Superficie (Bet) y Volumen de poros del Hueso de Aceituna

S(Bet) m <sup>2</sup> /g	Vmicroporo cm <sup>3</sup> /g	Vmacroporo cm <sup>3</sup> /g
0,060	0,034	0,163

Fuente: (Lara, 2008)

Tabla 10.7

ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA CATEGORÍA 1: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES						
PARAMETRO	UNID.	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	B1 Contacto Primario	B2 Contacto Secundario
<b>Arsénico</b>	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
<b>Plomo</b>	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	

ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA CATEGORIAS I, II, III, IV, DS\_002-2008-MINAM (MINAM, 2008)

Tabla 10.8

LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES AGUA PARA CONSUMO HUMANO		
PARÁMETRO	UNIDAD	LIMITE
<b>ARSÉNICO</b>	mg As L <sup>-1</sup>	0.010
<b>PLOMO</b>	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS.N°031-2010-SA (MINSA, 2011)