

**METODOS DE FILTRACION PARA LA ELIMINACION DEL COLOR DE LOS
EFLUENTES INDUSTRIALES DEL PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE
DE PALMA**

CLAUDIA PATRICIA PICO DIAZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2014

**METODOS DE FILTRACIÓN PARA LA ELIMINACION DEL COLOR DE LOS
EFLUENTES INDUSTRIALES DEL PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE
DE PALMA**

CLAUDIA PATRICIA PICO DIAZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de
Especialista en Química Ambiental.

Director
Dr. JOSÉ ANTONIO HENAO
Químico Ph. D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2014



DEDICATORIA

HEMOS MODIFICADO TAN RADICALMENTE NUESTRO ENTORNO
QUE AHORA DEBEMOS MODIFICARNOS A NOSOTROS MISMOS
DENTRO DE EL.
NORBERTO WIENER.

A Dios, por darme la vida y la familia que tengo.

*A mi madre Elizabeth, que sin ella no hubiera podido realizar esta
especialización. Gracias por amar y cuidar a mis tesoros, mis hijos.*

A mi padre Isaac, por sus sabios consejos y apoyo incondicional

*A mis hermosos hijos Andrés Mauricio e Isabella, los motores de mi
vida, los que más se sacrificó en el proceso de crecimiento profesional. Solo
espero que este sacrificio se vea compensado y que el día de mañana sean mucho
mejor de lo que yo fui.*

*A mi hermosa y amada hermana Adriana, por su motivación constante y
apoyo incondicional.*

Y a Mauricio, por su paciencia y comprensión.





AGRADECIMIENTOS

- ❖ *A mi director de proyecto Dr. José Antonio Henao Martínez, por su apoyo en la elaboración de la monografía.*
- ❖ *A Dra. Aidee Perea Villamil, por sus aportes y su amistad incondicional.*
- ❖ *A Adriana Pico, por sus transnochos acompañándome.*
- ❖ *A mi Amiga y cómplice de la Especialización Viviana Dueñas, por su apoyo moral.*
- ❖ *A mis compañeros de la especialización Tatiana Heredia, Paola Otero, Mave y Elizabeth Bravo. la parcera Jessica Osorio, a los del viernes cultural Tulio lenith Lopez, Kenne Rico,*
- ❖ *A mi mejor amigo y confidente Orlando Vargas por sus aportes.*
- ❖ *A los integrantes del laboratorio del CEIAM, la jefe Yaneth Quintero, la leona Paola López, la parcera descomplicada Cindy Villabona, el pollo Carlos Alberto Aparicio, la aventurera July Paola Gómez, la loquiris Jessica Triana, el viajero Cristian Castro.*



- ❖ *Al Tecetex por prestarme la plata para poder desarrollar mi especialización.*
- ❖ *A la URS mi Alma Mater por permitirme desarrollarme profesionalmente y cumplir mi sueño.*



TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	14
1.1 COLOR	17
1.2 COLOR DEL ACEITE DE PALMA	20
1.3 FORMACION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE PALMA	22
1.4 MARCO LEAL AMBIENTAL	27
1.5 SISTEMAS DE FILTRACIÓN	30
1.5.1 FILTRACIÓN CON CARBON ACTIVADO	31
1.5.2 FILTROS DE MULTIMEDIA	38
1.5.3 FILTROS CON ZEOLITAS	39
1.5.4 ULTRAFILTRACION	44
1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE FILTRACCION	48
BIBLIOGRAFIA	52

LISTA DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1.	Residuo agrícola y el contaminante que puede eliminar	35
Tabla 2.	Propiedades de algunas zeolitas naturales	42
Tabla 3.	Ventajas y desventajas de los sistemas de filtración	48

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1.	Espectro visible con sus longitudes de Onda	18
Figura 2.	Espectro absorción de la Clorofila, β -caroteno y licopeno	21
Figura 3.	Espectro de Absorción del β -caroteno	22
Figura 4.	Proceso de Extracción del aceite de palma	23

LISTA DE GRAFICAS

		Pag.
Grafica 1.	Color del Aceite de Palma	21
Grafica 2.	Entrada de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma a la planta de tratamiento a florentinos	26
Grafica 3	Entrada de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma a la planta de tratamiento	26
Grafica 4	Salida del vertimiento del sistema de tratamiento al cuerpo hídrico	27
Grafica 5	Zeolitas	42
Grafica 6.	Membrana Tubulares	45
Grafica 7	Membrana Capilares	46
Grafica 1.7	Membrana Fibras huecas	46

RESUMEN

TITULO: METODOS DE FILTRACION PARA LA ELIMINACION DEL COLOR DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES DEL PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE DE PALMA*.

AUTOR: PICO, Díaz Claudia Patricia**

PALABRAS CLAVES:, eliminación de color, métodos de filtración, Color, aguas residuales, β -caroteno, licopeno, clorofila, efluentes del proceso de extracción aceite de palma

CONTENIDO:

Las aguas residuales que se generan durante el proceso de extracción de aceite de palma tienen altos niveles de color, el cual posiblemente es producido por la materia en suspensión, materia disuelta o por la presencia natural de iones metálicos en disolución (como el hierro, manganeso... etc.), humus, residuos orgánicos, β -caroteno, clorofila, licopeno. Cuando el agua residual es vertida al cuerpo hídrico y se homogeniza aguas abajo, el agua del río adquiere coloración. Bajo éstas características, el agua no puede ser utilizada hasta tanto no se haya removido el color (Ahmed et al., 2007; Sandoval, 2013).

La constitución política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece como obligatorio por parte del estado proteger la diversidad e integridad del medio ambiente. En el decreto 3930 de 2010 se establecen los parámetros y los límites máximos permitidos que deben cumplir los vertimientos puntuales a los cuerpos de agua superficial. En el artículo 20 de la quinta revisión, establece que se debe monitoriar el color a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En la presente monografía se evaluaron los métodos de filtración con carbón activado, zeolitas y ultrafiltración con membrana, para eliminar el color de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma. El sistema de filtración con zeolitas es la mejor alternativa para eliminar el color de las aguas residuales, por su porosidad y los resultados en la eliminación de la materia orgánica, además su mantenimiento es sencillo no se necesita de reactivos químicos para su limpieza, es reutilizable, lo que conlleva a que no va a generar un impacto por sus residuos y su implementación es sencilla y económica (Halbinger et al, 2012).ⁱ

*Trabajo de Grado.

**Facultad de ciencias. Escuela de Química, Especialización en Química Ambiental, Director HENAO, Martínez José Antonio.

ABSTRACT

TITLE: FILTRATION METHODS FOR THE COLOR REMOVAL OF INDUSTRIAL EFFLUENT FROM THE PALM OIL EXTRACTION PROCESS*.

AUTHOR: PICO, Díaz Claudia Patricia**

Key words: color removal, filtration methods, Color, wastewater, β -carotene, lycopene, chlorophyll, effluents from palm oil extraction process.

CONTENT:

The wastewater produced during the oil palm extraction process has high color levels which is possibly caused by a suspended matter, a dissolved matter or by the natural presence of metal ions in dissolution (such as iron, manganese, etc.), humus, organic residues, β -carotene, chlorophyll, and lycopene. After wastewater is poured into the water body and homogenized, the river becomes colored. Under these characteristics, this water can not be used until the color has not been removed (Ahmed et al., 2007; Sandoval, 2013).

The Colombian Constitution in Articles 79 and 80 proclaims the protection of the diversity and the environment integrity as a requisite to perform any industrial process. In the decree 3930 of 2010 the parameters and maximum allowable limits that must be met when discharging the surface water bodies are established. In Article 20, fifth revision, it states that the color coming out of the wastewater treatment plant must be monitored.

In this paper, the methods of filtration with activated carbon, zeolites and membrane ultrafiltration to remove color from the wastewater in the oil palm extraction process was evaluated. The filtration system with zeolites is the best alternative for removing the color from wastewater due to its porosity and the results in the organic matter removal. In addition, its maintenance is simple since it does not need any chemical reagents for its cleaning, and it is reusable which means that its wastes will not have a negative impact. Besides, its implementation is simple and low-priced (Halbinger et al, 2012).ⁱⁱ

*Work degree

** Faculty of Science. School of Chemistry, Specialization in Environmental Chemistry, Director HENAO, Martínez José Antonio.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el mundo se enfrenta a la crisis del agua debido a la falta de agua potable y el aumento de las aguas residuales ocasionada por el desarrollo industrial, la falta de sentido de pertenecía y cuidado de los sistemas hídricos. Las aguas residuales contienen muchos contaminantes que requieren de tecnologías económicamente rentables para el tratamiento de dichas aguas.

A medida que pasan los años, se ve como la calidad y sostenibilidad del agua se van acabando; ya que cada día se hace más difícil mantener los recursos hídricos, trayendo como consecuencias, graves efectos sobre la vida humana en especial, la población pobre y vulnerable a quejada por enfermedades vinculadas por el agua y daños a la ecología del ecosistema hídrico, clave para un gran número de aplicaciones que posee el agua, como son el desarrollo económico, poblacional, industrial, la agricultura, la ganadería, y los recursos paisajistas de un país.

Colombia es el sexto país con mayor oferta hídrica en el mundo, pero en estudios realizados por el Ministerio del Medio Ambiente se calcula que la mitad de los recursos hídricos tienen problemas de calidad. Se estima que la industria, el sector agropecuario y las aguas domésticas generan 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante y muchas sustancias disueltas y en suspensión que ocasionan una alteración en los acuíferos.

Uno de los parámetros que se ve afectado es el color, el cual es importante en aguas para ser potabilizadas ya que la variación del color puede ser indicativo de la presencia de metales u otras sustancias que incrementarían los costos de tratamiento. En aguas residuales el color puede ser un indicativo de sustancias contaminantes.

Las aguas residuales que se generan durante el proceso de extracción de aceite de palma tienen altos niveles de color, el cual posiblemente es producido por la

materia en suspensión, materia disuelta o por la presencia natural de iones metálicos en disolución (como el hierro, manganeso... etc.), humus o residuos orgánicos. Cuando el agua residual es vertida al cuerpo hídrico y se homogeniza aguas abajo, el agua del río adquiere coloración. Bajo éstas características, el agua no puede ser utilizada hasta tanto no se haya removido el color (Ahmed et al., 2007; Sandoval, 2013).

Por lo general, el color se elimina para cualquier propósito de uso del agua, ya que su presencia es un indicador de baja calidad, es por esto, que hoy en día existen métodos sencillos y económicos, los cuales son utilizados por el que genera la descarga al cuerpo hídrico y además, no debe generar un impacto ambiental mayor al ya ocasionado.

Existen diferentes sistemas de tratamiento de las aguas residuales para eliminar el color como son la utilización de filtros de carbón activado que ayudan a la remoción de contaminantes tales como los compuestos inorgánicos, orgánicos y los iones disueltos, como cloro, cromo, mercurio y taninos. Los filtros de antracita, arena, garnet y grava, eliminan los sólidos suspendidos con tamaño de hasta 20 micrómetros, en tanto que los filtros de zeolita poseen alta estabilidad y micro porosidad que los hacen el medio de filtración perfecto para prácticamente cualquier aplicación en la industria de la purificación y tratamiento de aguas residuales; además, ayudan a eliminar el exceso de nitrógeno amoniacal y el color. La ultrafiltración es la separación física donde el tamaño del poro de la membrana determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos, originando de este modo la disminución de la DQO y DBO₅ entre otros. Así pues, la depuración mediante ultrafiltración es un proceso en el cual el agua no se depura por un proceso químico ni biológico, sino por filtración a través de membranas, obteniendo aguas libres de microorganismos (Khalid et al, 1999; Kumar et al, 2006)

La constitución política de Colombia en sus artículos 79 y 80 establece como obligatorio por parte del estado proteger la diversidad e integridad del medio ambiente. En el decreto 3930 de 2010 se establecen los parámetros y los límites máximos permitidos que deben cumplir los vertimientos puntuales a los cuerpos de agua superficial y a los sistemas de alcantarillado público que deben cumplir las extractoras de aceite de palma. En el artículo 20 de la quinta revisión, establece que se debe monitoriar el color a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales. Por tal motivo se ve la necesidad de buscar métodos de filtración que ayuden a eliminar el color de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma, para cumplir la normativa nacional y preservar los cuerpos hídrico (decreto 3930, 2010)

En la presente monografía se evaluaron los métodos de filtración con carbón activado, zeolitas y ultrafiltración con membrana, para eliminar el color de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma. El sistema de filtración con zeolitas es la mejor alternativa para eliminar el color de las aguas residuales, por su porosidad y los resultados en la eliminación de la materia orgánica, además su mantenimiento es sencillo no se necesita de reactivos químicos para su limpieza, es reutilizable, lo que conlleva a que no va a generar un impacto por sus residuos y su implementación es sencilla y económica (Halbinger et al, 2012).

1. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

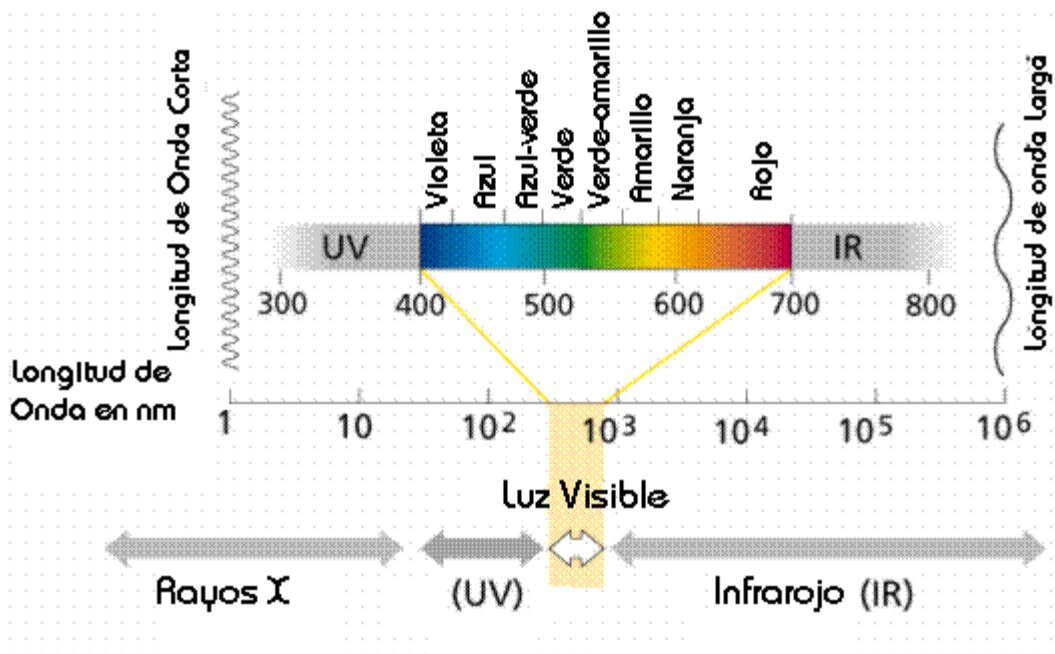
1.1 COLOR

El color es una percepción de nuestro sentido de la vista. Es una sensación que se produce en respuesta a la estimulación de la retina. El ojo humano es capaz de percibir el espectro visible, el cual está ubicado en la región del espectro electromagnético en el rango de longitudes entre 400 y 700 nm; aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 a 780 nm (Pala et al., 2002; Pérez, 2013).

Gracias a Newton (1642-1727) se sabe que la luz blanca al descomponerse origina los siete colores del espectro visible: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul-verde, azul y violeta (Pala et al, 2002; Pérez et al, 2013).

Es importante señalar que del amplio espectro electromagnético, sólo una pequeña parte puede ser percibida por el ojo humano. Por debajo del violeta se encuentran longitudes de onda más bajas como los rayos ultravioleta y por encima del rojo se hallan longitudes de onda más altas como los rayos infrarrojos. En la Figura 1 se observan los valores de las zonas del espectro visible.

Figura 1 Espectro Visible con sus longitudes de onda



Fuente:

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap02/imagenes/anexo27_02.gif

La intensidad del color de una muestra de agua se caracteriza por su grado de absorción de la luz a la longitud de onda de absorción máxima y se cuantifica por la medición del coeficiente de absorción con la ayuda de un espectrofotómetro o fotómetro (Pala et al, 2002; Pérez, 2013).

La mayoría de las aguas naturales y las muestras de aguas residuales coloreadas procedentes de residuos domésticos se pueden analizar a 436 nm. Por el contrario, los residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales no presentan máximos de absorción claros y diferenciados porque deben examinarse en varias longitudes de onda, generalmente tres: 436, 525 y 620 nm.

El color no es una medida precisa del nivel de contaminación del agua, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta.

Uno de los causantes del color en las aguas naturales, es el producto de la descomposición del material vegetal, como ligninas, taninos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, algas, etc., y algunos minerales disueltos de hierro y manganeso. Aguas con aspecto barroso (achocolatado) obtienen esa coloración por la suspensión de sedimentos por acción del viento, corriente, o por aportes externos, las aguas turbias, dominadas por el fitoplancton (organismos fotosintéticos microscópicos) y la eutrofización que originan el color verdoso, mientras que en las aguas con colores amarillo amarronados predominan sustancias húmicas disueltas, provenientes de la descomposición de biomasa vegetal (sistemas denominados distróficos). En vertimientos industriales, aguas afectadas o contaminadas, el color se relaciona con el tipo de actividad asociada al vertimiento que está cayendo al cuerpo hídrico (Ahmed et al, 2007; Sandoval, 2013).

El análisis del color es un parámetro importante en aguas que van a ser potabilizadas, por el rechazo que puede darse por parte del consumidor al detectar colores que no se asocian con “agua pura”, y en las aguas residuales la medida del color puede servir como indicativo de la presencia de sustancias contaminantes, como por ejemplo: el hierro o algunos materiales oxidados, pueden tener color de rojizo a pardo, el color verde debido a algas, color amarillo debido a Cr(VI), el color negro del agua puede ser manganeso y el agua residual urbana normalmente es de color amarillo-grisáceo, que se puede transformar en negro, lo cual quiere decir que pasa a condiciones sépticas (Imram, 2005; Ahmed et al, 2007).

El color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentran disueltas, como de las partículas en suspensión. En el análisis de color en aguas se puede cuantificar el color real y color aparente; el color real o verdadero corresponde a las sustancias que se encuentran disueltas, que se determinan tras filtrar la muestra de agua a través de una membrana de 0,45 μm de poro. El “color aparente” es el que incluye las sustancias disueltas junto con las partículas en suspensión (incluye la turbiedad). El color aparente se determina en la muestra de agua sin centrifugarla y sin filtrarla (Standard Methods, 2005; Sandoval, 2013).

1.2 COLOR DEL ACEITE DE PALMA

El aceite de palma es una fuente natural de carotenoides, vitamina A, vitamina E, tocoferoles y tocotrienoles, con propiedades antioxidantes y protectoras contra los efectos de los radicales libres. El aceite de palma crudo contiene 15 veces más beta-carotenos que las zanahorias y 300 veces más que los tomates (Choo, 1998).

En los aceites y grasas predominan tres colores: el amarillo-naranja, el rojo y el verde. La coloración amarilla-naranja y roja se debe a algunos pigmentos llamados carotenoides de tipo flavonoides, principalmente el beta-caroteno (provitamina A), el alfa-caroteno. Estos carotenoides difieren en la posición de los dobles enlaces en sus estructuras, el alfa-caroteno es menos común que el beta-caroteno, Mientras más beta-caroteno posea el aceite de palma, predomina más el amarillo-naranja. El licopeno es de color rojo. En el Grafico 1 se observa el color de un racimo de aceite de palma, y la extracción de este, donde se aprecia el color dado β -caroteno y el licopeno (Choo, 1998).

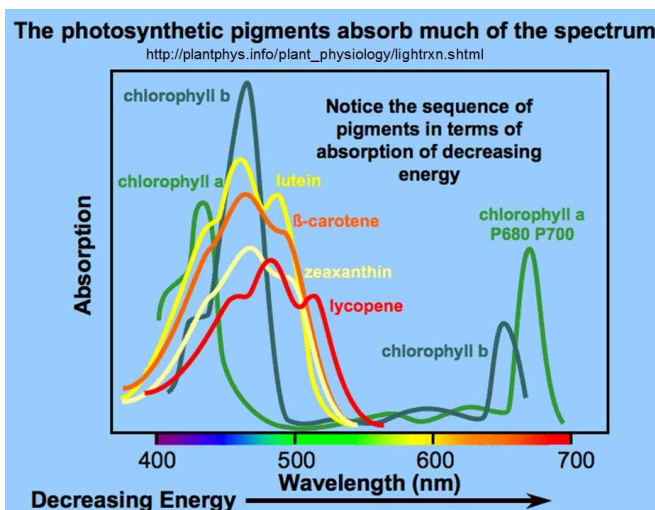
Grafica 1. Color del Aceite de Palma



Fuente: http://www.agrocaribe.com/sites/default/files/imagecache/imagen_node/IMG_2352.JPG

El color verde que se nota en los aceites vegetales es debido a la presencia de pequeñísimas cantidades de clorofilas (Choo et al, 1998), en la Figura 2 se aprecia la longitud de onda de la clorofilas, beta-carotenos y el licopeno.

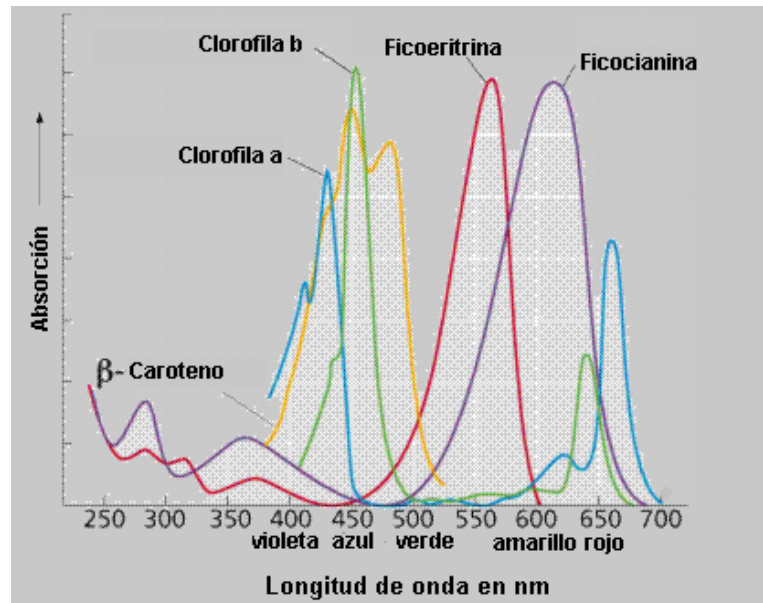
Figura 2. Espectro de absorción de la Clorofila, β -caroteno y licopeno



Fuente: <http://www.quantumleapwellness.com/images/chart14-carotenoid-absorption-power.jpg>

El espectro de absorción del β -caroteno muestra dos picos de absorción entre los 400 nm y 500 nm, correspondientes al azul y verde, por lo que la luz roja-anaranjada-amarilla que refleja le proporciona su color característico (Ver Figura 3.).

Figura 3. Espectro de absorción del β -caroteno



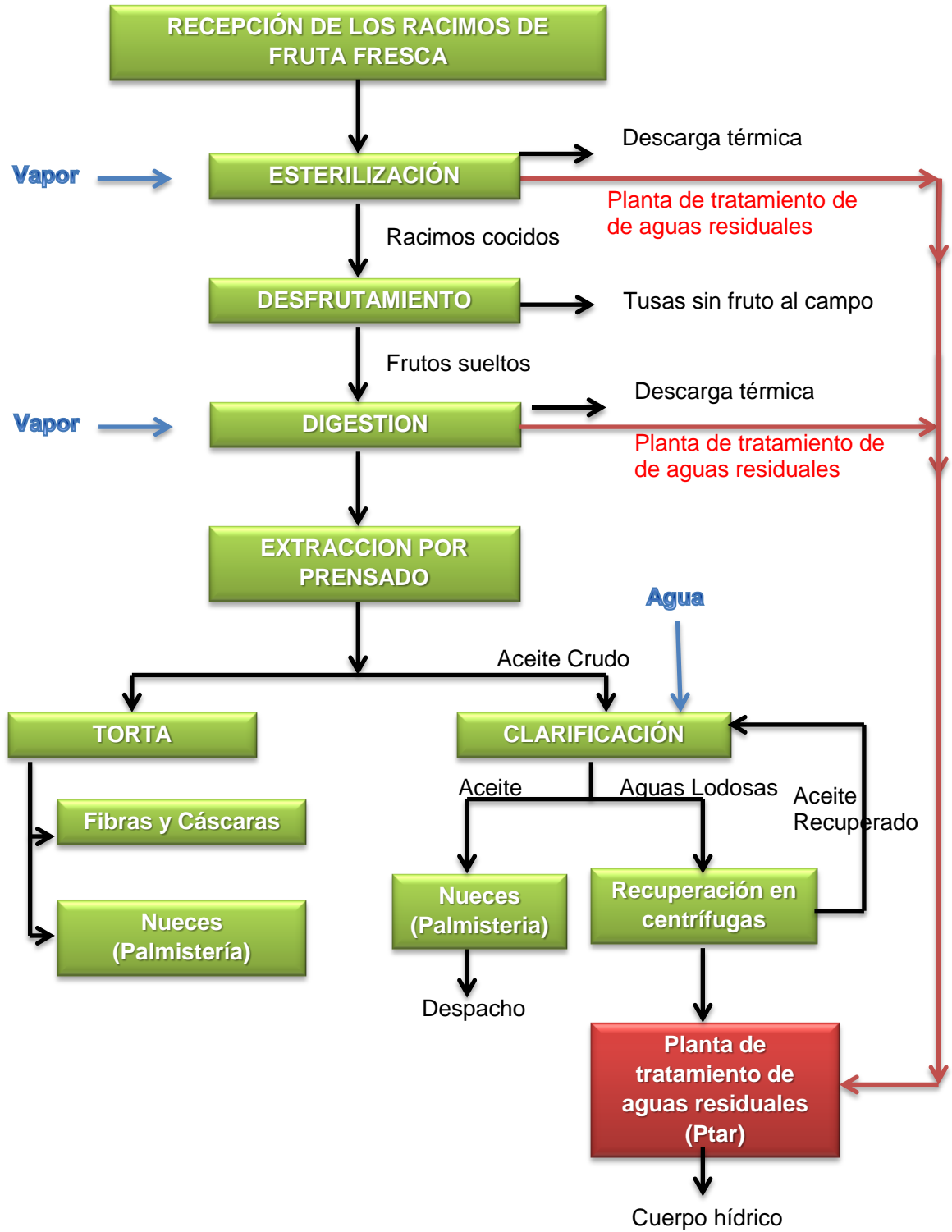
Fuente: <http://www.efn.uncor.edu/dep/biologia/intrbiol/pigment.gif>

1.3 FORMACION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

En la Figura 4 se observan las diferentes etapas para el proceso de extracción de aceite de palma y la formación de aguas residuales que van a llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales (Ptar):

- ❖ La primera es la esterilización del fruto de palma, donde es sometido a un tratamiento térmico a base de vapor saturado, tanto los racimos como la fruta suelta hasta una presión máxima de 45 psi y a una temperatura aproximada de 130°C durante una hora, en un recipiente cilíndrico horizontal, con una o dos puertas de cierre hermético (autoclaves) y buscando que las pérdidas de aceite en tusas (raquis), y frutos adheridos a los raquis sean lo más bajos posibles.

Figura 4. Proceso de extracción del aceite de palma



Fuente: <http://WWW.TECNOLOGIASLIMPIAS.ORG/HTML/CENTRAL/311501/IMAGES/DIABLOQ.GIF>

- ❖ La inyección de vapor en el esterilizador conduce únicamente a transmitir el calor a los frutos. En este paso se lleva a cabo la primera salida de *aguas residuales* que van a la planta de tratamiento (Reinosa, 2009; Rodríguez, 2011).
- ❖ Desfrutado: Es la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis por medio de un tambor rotatorio. Los frutos separados son enviados al digester por medio de un elevador, mientras que los racimos vacíos o raquis son transportados a través de una banda y recolectados en volquetas para ser aplicados luego en el campo (Reinosa, 2009; Rodríguez, 2011).
- ❖ Digestión: El fruto es depositado en un cilindro llamado digester, el cual presenta unas paletas que van a macerar el fruto por medio de la agitación circular hasta formar una masa homogénea blanda, además se le aplica vapor a 45 psi durante media hora a una temperatura de 95°C, esto ayuda a que las células de aceite se desprendan del fruto. En este paso se lleva a cabo la segunda salida de *aguas residuales* que van a la planta de tratamiento (Alvarado, 2010; Alfaro, 2006).
- ❖ El prensado: En este paso se lleva a cabo la separación de la parte sólida y de la líquida. La relación para la obtención de aceite prensado es de 5:1, es decir que por cada 5 Kilos de fruto se extrae un kilo de aceite. Las prensas utilizadas pueden ser hidráulicas, continuas o centrifugas. Del prensado se extraen dos productos uno líquido que está compuesto por aceite, lodo y agua y otro sólido compuesto por la nuez y las fibras. La fibra se usa como combustible de las calderas que generan vapor de agua que necesita la planta (Rodríguez, 2011; Alvarado, 2010).
- ❖ Clarificación: Este proceso se divide en dos etapas, la primera consiste en retirar las impurezas del aceite para evitar una acidificación. En esta etapa el

aceite se decanta, calentándolo a una temperatura de 100°C, separándose el agua y quedando los mucílagos deshidratados en el fondo del clarificador. El aceite que resulta contiene aproximadamente entre 0.1% a 2.0% de humedad y un porcentaje de impurezas muy bajo. Enseguida el aceite es purificado disminuyendo el porcentaje de humedad a 0.30%. La segunda etapa consiste en retirar las impurezas extraídas del aceite que puede contener aun. Este proceso se realiza en una centrifuga eliminándose agua e impurezas haciendo pasar el aceite crudo al precalentador repitiéndose el proceso de la primera etapa. El rendimiento y calidad del aceite depende de: tiempo, temperatura y velocidad de separación. Los lodos centrifugados son enviados a los florentinos donde se trata de recuperar el aceite residual, luego es enviado a las lagunas de tratamiento. En este paso se lleva a cabo la tercera salida de *aguas residuales* que van a la planta de tratamiento (Rodríguez, 2011; Reinosa, 2009; Alfaro, 2006).

Las aguas residuales y los lodos obtenidos en el proceso de extracción de aceite de palma en las etapas de esterilización, digestión y las centrifugas, poseen un color marrón rojizo posiblemente debido a los carotenos (beta-carotenos, alfa-carotenos y licopeno), provitamina A, vitamina E, tocoferoles y tocotrienoles presentes en los racimos de palma. Estas aguas son enviadas a los florentinos encargados de remover los sólidos totales, y recuperar el aceite residual, (Ver Grafico 2); luego es enviado a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, como se observa en el Grafico 3. En este proceso se encuentran lagunas de enfriamiento, anaerobias y facultativas, en el Grafico 4 se aprecia la descarga de la laguna facultativa al cuerpo hídrico con una coloración rojiza, y se analiza que aguas antes de la descarga es más clara que aguas después de la descarga del vertimiento al cuerpo hídrico, confirmando que el color genera un impacto.

Grafica 2 Entrada de las aguas residuales a los florentinos



Fuente: <http://cultivopalma.webcindario.com/l2.jpg>

Grafica 3 Entrada de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma a la planta de tratamiento aguas residuales (PTAR)



Fuente: autor

Fuente: autor

Grafica 4 Salida del vertimiento del sistema de tratamiento al cuerpo hídrico



Fuente: autor

Fuente: autor

1.4 MARCO LEGAL AMBIENTAL

El objetivo del decreto 3930 es establecer los requisitos que deben cumplir toda empresa o persona natural que realice una descarga a un cuerpo hídrico para protegerlo de ser contaminado.

“El Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible resolución número (V.5 en revisión) república de Colombia”.

“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones.”

“El ministro de ambiente y desarrollo sostenible en uso de sus facultades legales y en especial las conferidas en el Numeral 25 del Artículo 5 de la Ley 99 de 1993, y

Considerando”

“Que el **artículo 49** de la Constitución Política establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado”.

“Que los **artículos 79 y 80** de la Constitución Política establecen como obligación del Estado, proteger la diversidad e integridad del ambiente; fomentar la educación ambiental; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

“ARTÍCULO 3. Ámbito de aplicación. Las disposiciones de la presente Resolución se aplican a los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público en el territorio nacional, aplicando lo establecido en el Decreto 3930 de 2010 para las Autoridades Ambientales competentes, los generadores de vertimientos y los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado”.

“DISPOSICIONES APLICABLES A LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES

ARTÍCULO 4. Norma de vertimientos y parámetros a monitorear en los vertimientos. La Autoridad Ambiental Competente, en el marco de las competencias establecidas en Ley 99 de 1993, exigirá el cumplimiento de los valores límite máximos permisibles de los parámetros definidos para las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado, que desarrollan las actividades

productivas (industriales, comerciales o de servicios) contempladas en la presente Resolución”.

“Para la selección de las actividades productivas, se aplica lo establecido en la Resolución 066 del 2012 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, por la cual se establece la Clasificación de Actividades Económicas – CIIU Rev. 4 A.C., ó aquella que la modifique o sustituya”.

“PARÁMETROS OBLIGATORIOS A MONITOREAR EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES”.

“ARTÍCULO 20. Parámetros Físicoquímicos de Medición Obligatoria para todos los Vertimientos Puntuales. Para la caracterización de los vertimientos, los parámetros que deben medirse *In Situ* para cada una de las muestras tomadas del mismo son los siguientes:

- ❖ pH (Unidades de pH)
- ❖ Temperatura (°C)
- ❖ Sólidos Sedimentables (mL/L) Conductividad Eléctrica (µS/cm)
- ❖ Caudal Volumétrico (L/s)”

“Igualmente, debe realizarse el análisis de los siguientes parámetros en toda(s) la(s) muestra(s) puntual(es), compuesta(s) ó integrada(s) representativa(s) obtenida(s) de la caracterización del vertimiento y aplicando lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo de los Vertimientos, contemplado en el artículo 34 del Decreto 3930 de 2010:

- ❖ Acidez Total (mg/L CaCO₃)
- ❖ Alcalinidad Total (mg/L CaCO₃)
- ❖ Dureza Cálcica (mg/L CaCO₃)
- ❖ Dureza Total (mg/L CaCO₃)
- ❖ Material Flotante (mg/L)
- ❖ Color Real (m-1)

Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda:

$$\text{o } \lambda (1) = 436 \text{ nanómetros}$$

- o λ (2) = 525 nanómetros
- o λ (3) = 620 nanómetros “

“Los valores de la medición de Caudal Volumétrico, Conductividad Eléctrica, Acidez Total, Alcalinidad Total, Dureza Cálcica, Dureza Total y Color Real, deben reportarse en los informes de cada caracterización realizada de acuerdo con el Plan de Monitoreo contemplado”.

Con el nuevo decreto 3930 surge la necesidad de buscar técnicas para eliminar el color de las aguas residuales industriales del proceso de extracción de aceite de palma, para poder cumplir con este nuevo requerimiento de ley y ayudar a la preservación del cuerpo hídrico colombiano.

1.5 SISTEMAS DE FILTRACIÓN

La filtración es el método más utilizado en el tratamiento y separación de sólidos suspendidos en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el paso del líquido.

Actualmente hay una gran variedad de materiales porosos disponibles como medios filtrantes, que van desde los más sencillos hasta los más complejos. La filtración es una técnica sencilla, eficaz para el tratamiento de agua potable y aguas residuales, el éxito de la técnica depende en gran medida del material adsorbente eficiente, como el carbón activado, minerales arcillosos, biomateriales, zeolitas, y algunos residuos sólidos industriales que han sido ampliamente utilizados como adsorbentes de iones y compuestos orgánicos, metales pesados y tensoactivos en el tratamiento de aguas potables y aguas residuales (Pollard, et al., 1992; Headstrom, 2001; Babel, 2003).

1.5.1 FILTRACIÓN CON CARBON ACTIVADO

El carbón activado es un producto carbonáceo cristalino, se compone en un 75-80% de carbono y un 5-10% de cenizas. Físicamente se presenta en polvo o en grano. Existen varios tipos de carbón activo, según la materia prima, el tipo de activación y la duración del proceso de activación, pero, en cualquier caso, se caracteriza por su pequeño, homogéneo calibre y su estructura interna, formada por un gran número de poros de tamaños similares que puede alcanzar una superficie interna entre 500 y 1.500 m²/g a lo que pueden adherirse en su superficie una alta gama de átomos, moléculas, iones del líquido que está en contacto con él, por medio del proceso de adsorción. Su volumen de poro es en general mayor a 0,2 mL/g y su superficie interna mayor 400 m²/g (Gabaldón et al., 2000; Pelekani et al., 2000).

El carbón activado es producido por medio de una reacción de combustión con gases o algunas veces mediante la adición de químicos; con el objeto de incrementar sus propiedades de adsorción.

Los poros, en su la estructura, se clasifican según su tamaño con base en los principios fisicoquímicos que rigen el proceso de adsorción en cada uno de ellos. Asumiendo una forma cilíndrica, de acuerdo a la IUPAC, los poros se clasifican así:

Microporos: Poro ancho menor a 2 nm

Mesoporos: Poro ancho comprendido entre 2 y 50 nm

Macroporos: Poro ancho mayor a 50 nm

Existe una amplia variedad de productos de carbón activado que muestran diferentes características dependiendo del material de partida y la técnica de activación usada en su producción. Los filtros con carbón activado se utilizan generalmente en la purificación de aire, agua y gases, para quitar vapores de aceite, sabores, olores y hidrocarburos del aire y gases comprimidos (Gabaldón et al., 2000; Pelekani et al., 2000).

El carbón activado se clasifica según su uso:

a. Para purificación en fase líquida:

❖ **Granular:** Consiste en gránulos de forma irregular que se instalan dentro de un recipiente por el que se hace circular el líquido a tratar. El Carbón Activado Granular (CAG) se fabrica en diversos rangos de tamaño dependiendo de la aplicación específica.

❖

❖ **Pulverizado:** El carbón activado está en forma de polvo, éste es agregado al producto a purificar en un tanque agitador para mantener una suspensión homogénea. Después de un tiempo de contacto adecuado (10 a 20 min.), se deja sedimentar o se separa por medio de un filtro.

b. Para purificación en fase gaseosa:

Son aquellos carbones que contienen un mayor promedio de microporos útiles para adsorber moléculas muy pequeñas. Son usados en la purificación de aire, purificación de gases de proceso, recuperación de solventes, protección ambiental y como catalizador.

La activación del carbón se lleva a cabo mediante dos técnicas básicas:

- ❖ **Activación Térmica** – Consiste en oxidar la materia prima a altas temperaturas en una atmósfera inerte o reductora, casi siempre saturada con vapor de agua. La temperatura debe mantenerse constante, por lo general y dependiendo de la materia prima, se maneja entre 800°C y 1000°C (Ahmad y et al., 2009; Diao et al., 2002).

- ❖ **Activación Química** – Consiste en deshidratar la materia prima mediante la acción de ácido fosfórico, cloruro de zinc o carbonato de potasio. Posteriormente, se carboniza el material a temperatura media (500°C a 600°C) obteniéndose así la estructura porosa (Ahmad et al., 2009; Sudaryanto et al., 2006).

El carbón activado es usado en:

- ❖ Tratamiento de aguas residuales
- ❖ Potabilización de agua
- ❖ Deodorización y decoloración de líquidos (jugos, vinos, vinagres, destilados)
- ❖ Decoloración de agua
- ❖ Retención de contaminantes orgánicos como solventes y fenoles, producto de la descomposición de desechos animales y vegetales
- ❖ Eliminación de los trihalometanos formados de la reacción entre el cloro libre y la materia orgánica disuelta en el agua
- ❖ Purificación de medicamentos
- ❖ Clarificación de mieles (Industria Dulcera)
- ❖ Clarificación de aceites
- ❖ Retención de excesos de flúor en agua utilizada especialmente en la industria alimenticia (embotelladoras, cervecerías, productos lácteos, potabilizadoras estatales y municipales), para obtener niveles dentro de la norma.
- ❖ Eliminación de sabor, olor y ozono del agua

- ❖ Remoción de sólidos suspendidos
- ❖ Purificación de aire
- ❖ Purificación de gases industriales
- ❖ Sustancias húmicas
- ❖ Pesticidas, etc.

En los últimos años, se ha hecho especial hincapié en la preparación de carbones activados a partir de varios subproductos de las industrias forestales y agrícolas que podrían ser asumidas como adsorbentes de bajo costo, ya que son abundantes en la naturaleza, requieren poco procesamiento y son materiales eficaces. Estos materiales están disponibles en grandes cantidades y pueden tener potencial como adsorbentes debido a sus características físico-químicas. (Pollard et al., 1992; Shukla et al., 2002; Akksu, 2005; Mohan et al., 2006; Demirbas, 2009; Rafatullah et al., 2010).

Los componentes básicos de los materiales de desecho agrícolas son la hemicelulosa, lignina, celulosa, proteínas, azúcares simples, lípidos, agua, hidrocarburos y el almidón. Los residuos agrícolas son una fuente rica para la producción de carbón activado debido a su bajo contenido de cenizas (Demirbas, 2009; Rafatullah et al., 2010). En la Tabla 1 se describe los residuos agrícolas y el contaminante que puede eliminar.

TABLA 1 Residuo agrícola y el contaminante que puede eliminar.

DESECHO	CONCEPTO	REMOCION	DIBUJO
ARROZ	Semilla de una planta monocotiledónea Subproductos cáscara de arroz Cenizas de la cascara de arroz Cascarilla de arroz Salvado de arroz	Arsénico (Shen, 1994) Antimonio (Pala et al., 2002) Pb (II) y Hg (II) (Mantell, 1951) Cd (II) (Ahmed, 1992) Pb (II) (Wang, 2008) Ni (Zafar, 2007). Colorantes: safrina y azul de metileno (Kaur, 2001) Fenoles (Mckay, 1999) Organoclorados (Adachi et al., 2001) Benceno (Singh et al., 2006)	  
TRIGO	Semillas	Cd (II) (Singh et al., 2006) Pb (II) (Bulut et al., 2006) Tintes (Fatma et al., 2007)	
TÉ	Producto de hojas Brotos de hojas Entrenudos de la camellia	Pb(II), Fe(II) Zn, Ni (Williams, 2004) Cr (VI) Cu (II) y Cd(II) (Ozasik, 2004) Tintes catiónico (Hameed, 2009; Murugesan, 2006)	

DESECHO	CONCEPTO	REMOCION	DIBUJO
CAFÉ	Granos de Café Residuos de café	Cu(II) Cd(II) (Nakajima, 2005) Pb (II) (Boudrahem, 2009; Mahramanlioglu, et al., 2007)	
COCO	Residuos monto de coco Cáscara de coco Harina de copra Flores masculinas del árbol de coco Fibra de cascara de coco	Pb (II) Co (II), Cr (III) y Ni (II) (Namasivayam et al., 2002) Colorantes azul de metileno Cd	
MANÍ	Es una leguminosa cáscara Cuesco	Cd (II) y Pb (II) Hg (II) Cu (II), Ni(II) y Zn(II) Cr (VI) [Colorantes (Dubey et al., 2007)	
NARANJA	Cáscaras	Ni (II) Co (II), Ni (II), Zn(II) y Cd(II) Colorantes rodamina B rojo congó (Arami et al., 2005)	
PLATANO	Cáscaras	Cr (VI) Compuestos fenolicos Colorantes (Achak et al., 2009)	
SANDÍA	Cáscara	Metil Paratión plaguicidas (Memon et al., 2008)	

DESECHO	CONCEPTO	REMOCION	DIBUJO
YUCA	Cáscara	Cd (II) Colorantes Iones metálicos (Saikaew et al.,2009)	
MANGO	Cáscara	Cd(II) y Pb(II) (Iqbal et al., 2009)	
AJO	Cáscara	Colorantes Azul de metileno (Haneed et al., 2009)	
CASTAÑA	Cáscara	Colorante Azul de metileno y índigo carmón (Andrade et al., 2010)	
AVELLANA	Cáscara	Hg (II) (Khalkhali, 2005)	
MANZANA	Cáscara	Pb (II) (Jain et al., 2010)	
TAMARINDO	Semillas	Cr(VI) (Gupta et al., 2009)	
PAPAYA	Semillas	Colorante azul de metileno (Hameed, 2009)	

DESECHO	CONCEPTO	REMOCION	DIBUJO
PIÑA	Tallo	Azul de metileno (Hameed et al., 2009)	
GIRASOL	Tallo	Colorantes Cr(VI) (Jain et al., 2009)	
UVA	Bagazo	Cd(II), Pb(II), Fe, Mn (Nassar et al., 2004)	
CAÑA	Bagazo	Cd(II) y Zn(II) (Mohan et al., 2002)	

La desventaja radica en que se necesitan mantenimientos frecuentes, no remueve las bacterias ni los nitratos. Además, generan residuos que no son de fácil disposición. (<http://www.filtros-carbon-activo.com/quees.htm>).

1.5.2 FILTROS DE MULTIMEDIA

Consisten en pasar el agua a través de diferentes medios filtrantes como son la antracita, arena, granate y grava. En este arreglo, la antracita, la cual posee una densidad de $0,8\text{gr/cm}^3$ queda por encima de los medios más pesados, brindando así una capa de prefiltración. Esto conlleva a corridas más largas y una reducción en los retro lavados ocasionando una reducción en el consumo de agua para esta etapa. El granate de alta densidad y dureza es usado como el medio de filtración

más fina del sistema. Esta clase de filtros es normalmente utilizada para agua potable.

1.5.3 FILTROS CON ZEOLITAS

Las zeolitas son minerales del grupo de los aluminosilicatos cristalinos con cavidades del orden de microporos que van desde 0,3nm hasta 1nm, se encuentran en las rocas sedimentarias volcánicas, con una estructura tridimensional teniendo AlO_4 y SiO_4 tetraedros. El centro del tetraedro está ocupado por un átomo de silicio o de aluminio, con cuatro átomos de oxígeno en los vértices. La sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} define la carga negativa de la estructura, que es compensada por cationes monovalentes o divalentes ubicados junto con el agua. La estructura de aluminosilicato es el componente más estable y define el tipo de estructura, que esta forma por cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible (Englert et al., 2005).

Propiedades fisicoquímicas de las zeolitas:

❖ Capacidad de intercambio catiónico,

Los cationes hidratados dentro de los poros de la zeolita están unidos débilmente y preparados para intercambiarse con otros cationes cuando se encuentran en un medio acuoso. Esta propiedad permite su aplicación como ablandadores de agua, y el uso de zeolitas en detergentes y jabones. Los mayores volúmenes de uso de zeolitas son en la formulación de detergentes donde se reemplazan fosfatos como agentes ablandadores del agua. Esto se realiza mediante el intercambio de sodio en la zeolita por Calcio y Magnesio presente en el agua. Es incluso posible remover iones reactivos del agua contaminada (Lopez et al., 2011).

❖ Catálisis

Las zeolitas han sido ampliamente usadas en catálisis así como en procesos de separación y purificación debido a sus propiedades características, tales como pequeño tamaño de poro, alta área específica de $1000 \text{ m}^2/\text{g}$, alta capacidad de adsorción en su sistema de canales y posibilidad de variar su composición. El sistema microporoso bien definido de las zeolitas les confiere excelentes propiedades de selectividad de forma y funciones químicas. El proceso de transporte en estos microporos es más complejo que la difusión en sistemas homogéneos y en sistemas macroporosos, en algunos casos las aplicaciones catalíticas de las zeolitas pueden estar limitadas debido a una lenta difusión de los reactivos y productos en los microporos. Otro problema adicional, es el bloqueo de poros causado por la formación de componentes pesados dentro de los microporos.

Las Zeolitas son útiles como catalizadores para muchas reacciones importantes con moléculas orgánicas. Las más importantes son craqueo, isomerización y síntesis de hidrocarburos, pueden promover una serie de reacciones catalíticas incluyendo acido-base, reacciones de metal inducido, catalizadores de ácidos y usarse como soporte para metales activos o reactivos, catalizadores selectivos en cuanto a la forma, tanto por la selectividad del estado de transición como por exclusión de reactivos competidores en base al diámetro de la molécula. También se han utilizado como catalizadores de oxidación. Las reacciones tienen lugar dentro de los poros de la zeolita, que permite un mayor grado de control del producto (Shadan et al., 2010).

Las principales aplicaciones industriales son: refinamiento del petróleo, producción de fuel e industria petroquímica. Las zeolitas sintéticas son los catalizadores más importantes en las refinerías petroquímicas.

❖ **Absorción-adsorción** (como sulfito de hidrógeno y dióxido de azufre)

Las zeolitas se usan para la absorción de una gran variedad de materiales, esto incluye aplicaciones en secado, purificación y separación. Pueden remover agua a presiones parciales muy bajas y son unos desinfectantes efectivos, con capacidad de más de un 25% en peso con agua. Pueden extraer químicos orgánicos volátiles de las corrientes de aire, separar isómeros y mezclar gases.

Una propiedad de las zeolitas es su capacidad para la separación de gases. La estructura porosa de las zeolitas puede utilizarse como "tamiz" para moléculas con un cierto tamaño permitiendo su entrada en los poros. Esta propiedad puede cambiarse variando la estructura y así cambiando el tamaño y el número de cationes alrededor de los poros. Otras aplicaciones que pueden tener lugar dentro del poro incluyen la polimerización de materiales semi-conductores y polímeros conductores para producir materiales con propiedades físicas y eléctricas extraordinarias (Shadan y Col., 2010).

Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, de metales pesados (Pb(II), Cu(II), Cd, Zn, Co, Cr, Mn y Fe) y amoníaco. Poseen una gran estabilidad y en particular las zeolitas naturales Clinoptilolita y Mordenita, ponen de manifiesto su estabilidad a temperaturas de hasta 500°C, siendo resistentes además al ataque de ácidos, lo que garantiza que durante la ocurrencia de estos fenómenos de temperatura y presencia de ácidos, no se destruya la parte zeolítica de la roca. (Cincotti et al., 2006)

En la Tabla 2. Se relacionan las propiedades de algunas zeolitas naturales.

Tabla 2. Propiedades de algunas zeolitas naturales.

Zeolita	Fórmula química	Tipo de estructura	Simetría, grupo espacial
Clinoptilolita	$(K_2, Na_2, Ca)_3 Al_6 Si_{30} O_{72} \cdot 21H_2O$	UME	Monoclínico, C^2/m
Mordenita	$(Na_2, Ca)_4 Al_8 Si_{40} O_{96} \cdot 28H_2O$	MOR	Ortorrómbico, $Cmcm$
Chabazita	$(Ca, Na_2, K_2)_2 Al_4 Si_8 O_{24} \cdot 12H_2O$	CHA	Romboedro o triclinico $P1$
Phillipsita	$K_2 (Ca, Na_2)_2 Al_8 Si_{10} O_{32} \cdot 12H_2O$	PHI	Monoclínico, $P2_1/m$
Scolecita	$Ca_4 Al_8 Si_{12} O_{40} \cdot 12H_2O$	NAT	Monoclínico, Cc
Estilbita	$Na_2 Ca_4 Al_{10} Si_{26} O_{72} \cdot 30H_2O$	STI	Monoclínico, C^2/m
Analcima	$Na_{16} Al_{16} Si_{32} O_{96} \cdot 16H_2O$	ANA	Cubic $Ia3d$
Laumontita	$Ca_4 Al_8 S_{16} S_{48} \cdot 16H_2O$	LAU	Monoclínico, C^2/m
Erionita	$(Na_2 K_2 MgCa_{1.5})_4 Al_8 Si_{28} O_{72} \cdot 28H_2O$	ERI	P6 Hexagonal $_3/mmc$
Ferrierita	$(Na_2, K_2, Ca, Mg)_3 Al_6 Si_{30} O_{72} \cdot 20H_2O$	FER	Ortorrómbico, $Immm$

La Clinoptilolita natural contiene además pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y mica (*IMERYS Minerals Ltd, Reino Unido*) Shadan et al., 2010). Ver Gráfico 5.

Gráfica 5. Zeolitas



Fuente: <http://www.acualife.cl/wp-content/uploads/2013/10/ZEOLITA1.jpg>

Recientemente, Nezamzadeh-Ejhieh y Colaboradores examinaron el papel de las zeolitas naturales como adsorbentes efectivos en agua y tratamiento de aguas residuales (Nezamzadeh-Ejhiehl et al., 2013).

También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos causantes de olores no deseados. Los filtros con zeolitas reducen en un 30% la turbidez. La zeolita natural y económica más conocida es la Clinoptilolita la cual posee una eficiente propiedad para remoción de nitrógeno amoniacal presente en aguas residuales (Shadan et al., 2010).

Aplicaciones de la clinoptilolita:

Tratamiento de aguas residuales.

Potabilización de agua.

Suplemento dietético para animales.

Tratamiento de residuos de granjas.

Eliminación de amoníaco en piscifactorías.

Fabricación de fertilizantes de liberación lenta.

Modificación de suelo.

Medio cultivo para plantas.

Purificación y separación de gases.

Manipulación de residuos nucleares.

Materiales de construcción ligeros.

Control de contaminación.

Desodorizándote.

Deshumificadores.

Cuidado de mascotas

Por sus características, las zeolitas son el sistema de filtración natural que ofrecen una mejor alternativa para eliminar el color de las aguas residuales, por sus resultados en la eliminación de la materia orgánica, olores producidos por el amoníaco, la captura de metales pesados y la reducción de la turbidez, además requieren menos mantenimiento (Halbinger et al., 2012).

Limpieza de la zeolita

Las zeolitas utilizadas para filtrar agua potable o agua residual se lava con detergente neutro y abundante agua (Shadan et al., 2010).

1.5.4 ULTRAFILTRACION

La ultrafiltración es el método de filtración que utiliza membranas. Es un proceso físico-mecánico a través del cual las partículas y moléculas son retenidas por tener un tamaño superior al poro de la membrana. El tamaño de poro de la membrana determina hasta qué punto son eliminados, la turbidez, el color y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana (Ahmad et al., 2005; Ismail et al., 2005; Tejerina et al., 1990).

La técnica de separación considera una membrana delgada y semipermeable que actúa como barrera selectiva y separa partículas de acuerdo a su tamaño molecular. La membrana bloquea el paso de partículas grandes y moléculas, mientras permite el paso de líquido. Las membranas están disponibles en varios tamaños de poro, normalmente va desde 0,1 micras hasta 0,005 micras, materiales de construcción y se seleccionan basadas en las propiedades de separación (Ahmad et al., 2005; Ismail et al., 2005; Tejerina et al., 1990).

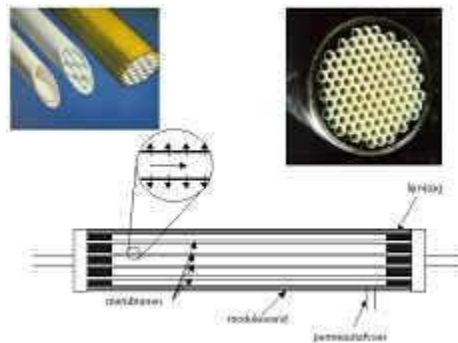
Clases de membranas utilizadas en la ultrafiltración

❖ Membranas tubulares

Están situadas dentro de un tubo, hechas de un tipo especial de material. Este material es la capa que sostiene a la membrana, tienen un diámetro de 5 a 15

mm, debido al tamaño de la superficie de la membrana no es probable que las membranas tubulares se obstruyan. Este sistema permite potabilizar aguas procedentes de pozos, lagos o ríos, donde encontramos un agua sin mucha carga y que con este tratamiento de ultrafiltración se convierte en apta para el consumo humano ver Gráfica 6. Un inconveniente de las membranas tubulares es que la densidad del empaquetamiento es baja, lo que resulta en un mayor precio por módulo (Yu Shuili et al., 2006).

Grafica 6 Membranas tubulares

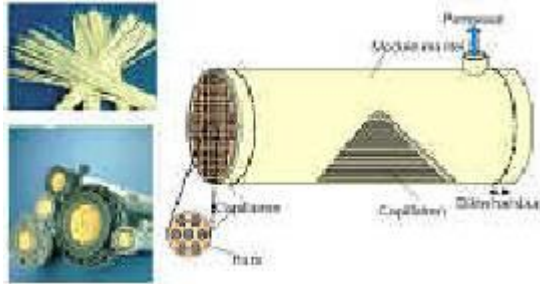


Fuente: <http://www.lenntech.com/espanol/images/tubula5.jpg>

❖ Membranas capilares

Las membranas capilares están construidas con material plástico que es poroso y semipermeable, sirve de barrera selectiva. La cual es suficientemente grande para resistir las presiones de la filtración. El diámetro es de 0.5 a 5 mm. Debido al menor diámetro, las probabilidades de obstrucción con una membrana capilar son mucho mayores. Una ventaja es que la densidad de empaquetamiento es mucho mayor. (Yu Shuili et al., 2006; Guizard, 1999) Ver Gráfico 7.

Gráfica 7 Membranas Capilares

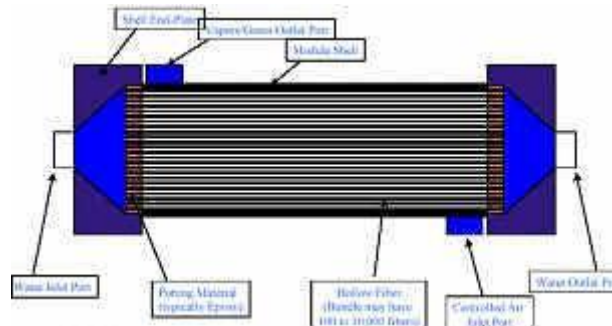


Fuente: <http://www.lenntech.com/espanol/images/tubula8.jpg>

❖ Membranas de fibras huecas

Las membranas de fibras huecas tienen un diámetro inferior a $0.1 \mu\text{m}$. En consecuencia, las posibilidades de obstrucción de una membrana de fibras huecas son muy elevadas. Las membranas solo pueden ser usadas para el tratamiento de agua con un bajo contenido de sólidos suspendidos. La densidad de empaquetamiento de una membrana de fibras huecas es muy alta ver Gráfico 8. Las membranas de fibras huecas son casi siempre usadas solamente para nanofiltración y ósmosis inversa (Yu Shui li et al., 2006; Guizard, 1999).

Gráfica 8 Membranas de Fibras Huecas



Fuente: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcStMwkg_EDNXJji_NHyCyii15cyiJBMuls_fzQZ5OQjFV7GwirJ

Las aplicaciones de las Fibras huecas

Potabilización de agua

Separación de bacterias del agua (tratamiento biológico de aguas residuales)

Tratamiento de efluentes municipales.

Separación de emulsiones de agua y aceite

Separación sólido-líquido para farmacias e industrias alimentarias

Filtración secundaria y terciaria de aguas residuales industriales.

Agro-Industria (alimentaria, Lácteos, aceite de palma)

Metalúrgica.

Textil

La ultrafiltración está siendo utilizada para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma, tanto para la entrada al sistema como para la salida, esto con el fin de eliminar el sistema convencional basado en tratamientos biológicos de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos. La tecnología de separación de membrana, sin duda ofrece varias ventajas en su aplicación, pero su principal inconveniente es la saturación de sólidos de la membrana y su mantenimiento seguido.

Limpieza de la membrana: Después de que la membrana se satura de sólidos se limpia con agua a presión o con una solución de detergente neutro biodegradable.

La membrana se aclara de nuevo con agua hasta que alcance un pH neutro

(Ahmad et al., 2005).

En la Tabla 3 se relacionan las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de filtración analizadas.

1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Tabla 3. Ventajas y Desventajas de los sistemas de filtración

SISTEMAS FILTRACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CARBON ACTIVADO	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Remoción del mal olor, sabor y Color. ❖ Retiene partículas muy pequeñas ❖ Efectividad en la retención de metales y fosfatos ❖ Sistema Económico. ❖ Fácil de operar. ❖ Posee la propiedad de adsorción. ❖ Depuración de agua subterránea, piscinas, aguas residuales tratadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ No todos los carbones activados consiguen los mismos resultados. ❖ Necesita personal para su recolección y tratamientos ❖ Generación de residuos que no son de fácil disposición ❖ Mantenimientos frecuentes ❖ No se percibe la baja en eficiencia ❖ No remueve bacterias, ni nitratos. ❖ Los filtros de carbón activado son una tecnología de transferencia de contaminación donde a los contaminantes no se les destruye, sino que se les retiene. Por consiguiente, requieren de un cambio de filtro frecuente, que puede resultar costoso.

ZEOLITAS

- ❖ Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, como metales pesados y amoníaco.
 - ❖ La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras.
 - ❖ Las zeolitas naturales tienen una excelente capacidad de intercambio iónico y de recuperación de cationes de metales pesados (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn y Fe; Pb, Cu tan alta como 97%) del agua potable y agua residual.
 - ❖ Mejora los valores DQO, DBO₅, nitrógeno total, dureza y olor no deseados en el agua efluente.
 - ❖ Regula los valores de pH.
 - ❖ La operación es simple. No se requiere ayuda técnica.
 - ❖ Poco consumo de agua para su limpieza.
 - ❖ No requiere agentes químicos.
 - ❖ No hay disposición de lodos.
 - ❖ No se necesita equipo de mezclado.
 - ❖ Son reutilizables.
- ❖ **Se requiere de personal para realizar el mantenimiento.**
 - ❖ **Gran cantidad de agua para su limpieza**

<p>ULTRAFILTRACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Resultados constantes y confiables. ❖ Genera efluentes libres de bacterias y virus. ❖ Los Sistemas requieren poco espacio. ❖ Sistema automatizado. ❖ Poco uso de reactivos químicos, incluso disminuye el consumo posterior de cloro. ❖ Tratan grandes volúmenes. ❖ Retiene Sólidos muy pequeños 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Personal que este limpiando la membrana cada vez que se satura. ❖ Alto gasto de agua para quitar los sólidos adheridos al filtro. ❖ No son eficientes para el tratamiento de aguas con elevado contenido de elementos. ❖ Altos costos de sostenimiento.
-------------------------------	--	--

En los últimos años, se ha hecho especial hincapié en la preparación de carbones activos a partir de subproductos agrícolas, debido al creciente interés en la preparación de carbón activado de bajo costo a partir de fuentes renovables, especialmente para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales, pero generan un costo por su tratamiento preliminar y no se pueden volver a reutilizar; luego este sistema de filtración no se recomienda.

La ultrafiltración con membrana es una técnica que ha sido utilizada en el proceso de extracción de aceite de palma, para eliminar los antiguos sistemas de tratamientos de las aguas residuales, estos estudios han arrojado buenos resultados en los parámetros que son utilizados para medir el grado de contaminación como la DQO, DBO₅. Su principal inconveniente es el ensuciamiento de la membrana con la carga de los sólidos suspendidos totales

que taponan la membrana e impiden el paso y lleva a retardos en la aplicación de esta técnica en el tratamiento directo. Esto conduce a un aumento en el costo, en la limpieza de la membrana y de tener un personal permanentemente pendiente de su desempeño (Ahmad et al., 2005).

La zeolita natural es el mejor sistema de filtración natural que existe para tratamiento de agua. Ofrece un efecto superior al de los filtros de carbón activado, los resultados del tratamiento de aguas producen aguas más puras con mejor productividad y requieren menos mantenimiento.

La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras, por lo que pueden adsorber cationes, metales pesados y amoníaco. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos, eliminar el color y olores no deseados. Hay que destacar que las zeolitas son reutilizables su mantenimiento es muy simple, no necesita utilizar sustancias químicas y no generan un impacto al medio ambiente. Hasta el momento no se ha encontrado un artículo donde se haya utilizado la zeolita en la salida del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma.

De acuerdo con la bibliografía consultada el sistema de filtración más económico y sencillo de implementar, que no genera un impacto negativo al medio ambiente porque se puede reutilizar es el filtro de Zeolita. El sistema de filtración con Zeolita se considera un medio ideal de filtración para aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma, ya que su estructura extremadamente porosa, la hace más densa y por lo tanto, necesita menos cantidad de zeolita para obtener buenos resultados en comparación con el carbón activado. Dada la capacidad de intercambio iónico, la zeolita tiene una ventaja añadida que es la eliminación de contaminantes que otros filtros no pueden eliminar, como el amoníaco en disolución.

BIBLIOGRAFIA

Achak, M.; Hafidi, A.; Ouazzani, N.; Sayadi, S.; Mandi, L. Low cost biosorbent “ banana peel” for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater; kinetic and equilibrium studies, J. Hazard. Mater, in press, doi:10.1016/j.jhazmat.2008.11.036. 166 (2009) pp: 117-125

Adachi, A.; Lkeda, S. Efficiency of rice bran for removal of organochlorine compounds and benzene from industrial wastewater. J. Agric. Food Chem 49(2001) pp: 1309-1314.

Adachi, A.; Takagi, S. Studies on removal efficiency of rice bran for pesticides. J: Health Sci 47(2001) pp: 94-98

Ahmad, [Abdul Latif](#).; [Suzylawati, Ismail](#).; [Subhash, Bhatia](#). Water recycling from palm oil mill effluent (pome) using membrane technology. Desalination. 157(2003) pp: 87-95

Ahmad, [A. L.](#).; [Ismail](#), S.; [Bhatia](#), S Ultrafiltration behavior in the treatment of agro-industry effluent: Pilot scale studies. [Chemical Engineering Science](#). 60(2005) pp: 87-95

Ahmad, A.A.; Hameed, B.H. Reduction of COD and color of dyeing effluent from a cotton textile mill by adsorption on activated charcoal of bamboo-based. Journal Hazardous Materials., 172(2009) pp: 1538-1543

Ahmad, Al.; Ismail, S.; Bhatia, S. Treatment for palm oil mill effluent: effect of transmembrane pressure and crossflow velocity. 179 (2005) pp: 245-255.

Ahmad, Al.; Ismail, S.; Bhatia, S. Ultrafiltration behavior in the treatment of agro-industry effluent: pilot scale studies. 60 (2005) pp: 5385-5394.

Ahmaruzzaman, M. Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: a review. Adv. Colloid interface Sci. 143(2008) pp: 48-67.

Ahmed, Abu; Hamidi, Abdul; Mohamed, Hasnain. Physico-chemical removal of colour and iron from anaerobic landfill leachate by zeolite and limestone: batch experiments. June 2007. <http://eprints.utp.edu.my/1559/>. Consultada 28 Noviembre 2012.

Ahmed, M.N.; Ram, R.N. Removal of basic dye from waste-water using silica as adsorbent, Environ, Pollut. 77(1992) pp: 79-86.

AKksu, Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review, process Biochem. 40(2005) pp 997-1026

Alfaro, Marcos., Ortiz, Elvin. Procesos de producción de la palma 2006. Ministerio de agricultura. Disponible en: www.galeon.com/subproductospalma/proceso1.pdf. consultado 20 de diciembre de 2013.

Alvarado, Mercedes. Tesis de grado, Evaluación del proceso de clarificación en la planta de beneficio Palmagro S.A. 2010.

Andrade, H.M.C.; Soares, L.F.; Azevedo, R.P. Brazil nut shells as a new biosorbent remove methylene blue and indigo carmine from aqueous solutions. J. Hazard. Mater, in press, doi:10.1016/j.jhazmat.2009.09.020. **174(2010)** pp: 84-92.

Arami, M.; Limaee, N.Y.; Mahmoodi, N. M. Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: equilibrium and kinetic studies, J. colloid interface Sci. **288(2005)** pp: 371-376.

Babel, S.; Kurniawan, T.A. low-cost Adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water a review journal of Hazardous Materials. **97(2003)** pp: 219-243.

Boudrahem, F.; Batch sorption dynamics and equilibrium for the removal of lead ions from aqueous phase using activated carbon developed from coffee residue activated with zinc chloride. J. environ. Manag. **90 (2009)** pp: 3031-3039

Bulut, Y.; Baysal, Z. Removal of Pb(II) from wastewater using wheat bran. J. Environ Manag. **78(2006)** pp: 107-113

Cenipalma, Boletín Técnica N°11 Manejo de Efluentes de plantas extractoras. Cultivopalma.vebcindario.com/lagunas.htm Consultados Diciembre **2013**

Choo, V. M.; Yap, S.C. Carotenes, Vitamin E and Sterols in oils from *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleífera* and their hybrids. Palmas. **19 (1998)** pp: 79-85.

Cincotti, A.; Mameli, A.; Locci, M.A.; Orru, R.; Cao, G. The metal uptake by Sardinia pesados natural zeolites: experiment and modeling. *Ind. Eng Chem. Res.* **45** (2006) pp:1074 -1084

David, Cooney; Andrew, Nagerl; Anthony, Hines. Solvent regeneration of activated carbon. *Water Res.* **17**, (1983) pp: 403-410.

Decreto 3930 de 2010 octubre 25.
www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=40620.

Demirbas, A. Agricultural based activated Carbon for the removal of dyes from aqueous solutions: a review. *J. Hazard. Mater.* **167**(2009) pp: 1-9.

Diao, Y.; Walawender, W.P.; Fan, L.T. activated carbons prepared from phosphoric acid activation sorghum *Bioresour. Technol.* **81**(2002) pp: 45-52.

Dubey, S.; Gopal, K. Adsorption of chromium (VI) on low cost adsorbents derived from agricultural waste material: a comparative study. *J. Hazard. Mater.* **145**(2007) pp: 465-470.

Englert, HÁ.; Rubio, J. Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite. *Int J. Miner.* **75** (2005) PP: 21-29.

Fatma, C.; Dursun, O. low cost-removal of reactive dyes using wheat bran. *J Hazard Mater*, **146**(2007) pp: 408-416.

Gabaldón, G.; Marzal, p.; Seco, A.; Gonzalez, J.A. Cadmium and copper removal by a granular activated carbon in laboratory column systems. *Sep. Sci. Technol.* 35 (2000) pp:1039-1053.

Guizard, C. Clasificación de las membranas y de los procesos que las utilizadas. Universidad de los andes. 2(1999).

Gupta, S. Babu, B.V. utilization of waste product (tamarind seeds) for the removal of cr(VI) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetics, and regeneration studies, *J. Environ Manag.* 90(2009) pp: 3013-3022.

Halbinger, Christian; Ramírez, Rosa; Duran, Alfonso. Eliminación de amoníaco en aguas residuales clarificadas por el proceso de intercambio iónico con zeolitas. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/051.pdf>. Consultada el 28 de Noviembre de 2012.

Hameed, B. H. Spent tea leaves: a new non-conventional and low-cost adsorbent for removal of basic dyes from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.* 161 (2009) pp: 753-759.

Hameed, B.H. Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue, *J. Hazard. Mater.* 162(2009) pp: 939-944.

Hameed, B.H.; Krishni, R.R., Sata, S.A. A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions, *J. Hazard. Mater.* 162(2009) pp: 305-311.

Haneed, B.H.; Ahmad, A.A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass, *J. Hazard. Mater.*, **164(2009)** pp: 870-875.

Hedstrom, A. The exchange of ammonium ions in zeolite; a review of the literature *Journal of environmental Engineering Asce*, **127(2001)**, p.p. 673-681.

Imram, Ali; Jain, C.K. Wastewater Treatment and Recycling Technologies. *Water Encyclopedia*. **2005**.

Iqbal, M.; Saeed, A.; Kalim, I. Characterization of adsorptive capacity and investigation of mechanism of Cu^{+2} , Ni^{+2} and Zn^{+2} adsorption on mango peel waste from constituted metal solution and genuine electroplating effluent, *Sep. Sci. Technol.* **44(2009)** pp: 3770 -3791.

Jain, M.; Garg. V.K.; Kadirvelu, Chromium (VI) removal from aqueous system using *Helianthus annuus* (sunflower) stem waste, *J. Hazard. Mater.* **162(2009)** pp 365-372.

Jain, S.; Jayaram, R.V. Removal of basic dyes from aqueous solution by low-cost adsorbent: wood apple shell (*feronia acidissima*). *Desalination*, in press, doi: 10.1016/j.desal2009.04.005. **250(2010)** pp: 921-927.

Kalló, Denes. Applications of Natural Zeolites in Water and Wastewater Treatment. Disponible en: <http://rimq.geoscienceworld.org/content/45/1/519.short>. Consultada el 28 de Noviembre de 2012.

Kaur, N.; Prasad, Adsorption of dyes on rice husk ash, *Indian J. Chem., Sect a* **40(2001)** pp: 338-391.

Khalid, N.; Ahmad, S.; Kiani, S. N.; Ahmed, J. removal of lead from aqueous solutions using rice husk, *sep. Sci. Technol.* **33 (1998)** pp: 2349-2362.

Khalid, N.; Ahmad, S.; Kiani, S. N.; Ahmed, J. Removal of mercury from aqueous solutions by adsorption to rice husks, *Sep. Sci. Technol.* **34 (1999)** pp: 3139-3153.

Khalid, N.; Ahmad, S.; Toheed, A.; Ahmed, J. Potencial of rice husks for antimony removal, *appl. Radiat. Isot.* **52 (2000)** pp:31-38.

Khalkhali, R.A.; Omidvari, R. Adsorption of mercuric ion from aqueous solutions using activated carbon, *pol. J. Environ Stud* **14(2005)** pp: 185-188.

Kumar, U.; Bandyopadhyay, M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk, *Bioresour . Technol.* **97 (2006)** pp 104-109.

Kunwar, Singh; Dinesh, Mohan; Sarita, Sihna; G.S. Tondon; Devlina, *Gosh. Ind. Eng. Chem. Res.*, **42, (2003)** pp: 1965-1976.

López, Carmen M.; Sazo, Virginia.; Pérez Pedro.; Buhman, Stefan.; Urbina, Caribay.; García, Adriana., Generación de mesoporosidad en zeolitas ZSM-5 sintetizadas en medio inorgánico. *Avances en Química.* **6 (2011)** pp: 29-37.

Mahramanlioglu, M.; Bicer, I.O.; Misirli, T. Removal of uranium by the adsorbents produced from coffee residues J. Radioanal. Nucl. Chem 273(2007) pp:621-624.

Mantell, C.I. Adsorption, 2nd ed., McGraw-hill book company. Inc. New York, **1951**.

Mckay, G. The removal of dye colours from aqueous solutions by adsorption on low – cost materials, Water Air Soil pollut 114(1999) pp: 423-438.

Memon, G.Z.; Bhangar, M.I.; Akhtar, M.; Talpur; F.N.; Memon, J. R. Adsorption of methyl parathion pesticide from water using watermelon peels as a low cost adsorbent, J. Hazard. Mater. 138(2008) pp:616-621.

Mohan, D. Singh, K.P. Single-and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse- an agricultural waste, water res. 36(2002) pp: 2304-2318.

Mohan, D.; Pittman, C.U. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri-and hexavalent chromium from water. J. Hazard. Mater. 137(2006) pp: 762-811.

Murugesan, G:S. Sathish kumar, M. Arsenic removal from groundwater by pretreated waste tea fungal biomass, Bioresour technol. 97(2006) pp:483-487.

Nakajima, S.; Takai, N. Removal of copper (II) and cadmium (II) from water using roasted coffee beans, in: Eric Lichfouse. Jan Schwarzbauer. Didier Robert (Eds).

Environmental Chemistry Green Chemistry and pollutants in Ecosystems. Springer. **(2005)** pp: 259-265.

Namasivayam, C.; Kavitha, D.; Removal of congo red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste. Dyes Pigments. 54 **(2002)** 47-58.

Nasir, K.; Shujaat, A.; Aqidat, T.; Jamil, A. Immobilization of arsenic on rice husk, adsorpt. Sci. Technol. 16 **(1998)** pp: 655-666.

Nassar, M.M.; Ewida, K.T.; Magdy, Y.H. Adsorption of iron and manganese ions using low-cost materials as adsorbents, adsorpt. Sci. Technol. 22**(2004)** pp: 25-37.

New Mexico Environment Department. Disponible en: <http://www.nmenv.state.nm.us/cpb/documents/RecommendedStandardsforWWFacilities.pdf>. Consultada el 29 de Noviembre de 2012.

Nezamzadeh-Ejhieh A.; Kabiri-Samani M. Effective removal of Ni(II) from aqueous solutions by modification of nano particles of clinoptilolite with dimethylsilyoxime. 260**(2013)** pp: 339-349.

Ozasik, A. Single and binary component adsorption of copper(II) and cadmium (II) from aqueous solutions using tea-industry waste. Purify.Technolo 38**(2004)** pp: 273-280.

Pala, A.; Tokat, E. Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives. *Water* **36(2002)** pp: 2920-2925.

Pelekani, C.; Snoeyink, V.I. Competitive adsorption between atrazine and methylene blue on activated carbon: the importance of pore size distribution, *carbon* **38 (2000)** pp:1423-1436.

Perez, G. Claudio. Tema 3 OCU usual. [Ocw.usa.es/ciencias-experimentales/análisis-aplicado-a-la-ingenieria-quimica/contenidos/courses/files/tema3.pdf](http://ocw.usa.es/ciencias-experimentales/análisis-aplicado-a-la-ingenieria-quimica/contenidos/courses/files/tema3.pdf). Consultado Junio **2013**.

Pollard, S.; Fowler, G.; Sollars, C.J.; Perry, R. Low-cost adsorbents for waste and wastewater treatment: a review, *Sci. Total Environ* **116(1992)** pp: 31-52.

Pollard, S.J.T.; Fowler, G.P.; Sollars, E.S.; Perry, R. Low-cost adsorbents for waste and wastewater treatment, an opinion or total environment Science, **116(1992)**, pp. 31-52.

Rafatullah, M.; Sulaiman, O.; Hashim, R.; Ahmad, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *J. Hazard. Mater.*, in press, doi:10.1016/j.jhazmat2009.12047.177 **(2010)** pp:70-80.

Reinosa, Doris. C. Costos Ambientales en el proceso de Extracción de Aceite de palma estudio de un caso. **46(2009)** pp: 228-247
<http://redalyc.vaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?Cue=29011523006>.

Removal of iron and color from industrial wastewater with coal derived fly ash. Disponible en: http://www.cecs.ucf.edu/corporate/seniordesign09/Civil%20Engineering%20Removal%20of%20Iron%20%20Color%20from%20Wastewater%20with%20Coal%20Derived%20Ash_.pdf. Consultada el 29 de Noviembre de 2012.

Revista Venezolana de Gerencia. Universada del Zulia Abril – Junio. **14**, (2009) pp: 228-247.

Rodriguez, Paola. D. “Aislamiento e identificación de cepas microbianas como potenciales agentes para biorremediación de efluentes en una extractora de palma aceitera. Riobamba Ecuador. (2011) pp: 18-21.

Saikaew, W.; Kaewsarn, P.; Saikaew, W.; Peel, Pomelo. Agricultural waste for biosorption of cadmium ions from aqueous solutions, World Acad. Sci Eng. Technol, **56**(2009) pp: 287-291.

Sandoval, C. Juan. Color del agua. www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6155/5/color%20del%20AGUA%20C%20Sandoval.pdf. Consultados 30 Marzo 2013.

[Shaobin, Wang](#); [Yuelian, Peng](#)^b Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. [Chemical Engineering Journal](#). 156(2010) pp: 11-24.

Shen, H.; Wang, T.; Biological reduction of chromium by E. Coli, J. Environ. Eng. ASCE. **120**(1994) pp: 560-571.

Shukla, A.; Zhang, H.; Dubey, J.; The role of wdust in the removal of unwanted materials from water. J. Hazard. Mater. **95(2002)** pp: 137-152.

Singh, K.K.; Singh, A.K. Low cost bio-sorbent "wheat bran for the removal of cadmium from wastewater: Kinetic and equilibrium studies, Bioresour. Technol. **98(2006)** pp: 994-1001.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water environment Federation, 21ed., Washington, **2005**.

Sudaryanto, Y.; Hartono, S.B.; Irawaty, W., Hindarso, H.; Ismadji, S. high surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation Bioresour. Technol. **97(2006)** pp: 734-739.

T.K. Kainulainen; T.A. Tuhkanen; T.K., Vartiainen; P.J., Kalliokoski. Removal of Residual Organics from Drinking Water by Ozonation and Activated Carbon Filtration: A Pilot Plant Study. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*. **17**, (1995) pp: 469-462.

Wang, L-H.; Lin, C.L. Adsorption of lead (II) ion from aqueous solution using rice hull ash, ind. Eng. Chem. Res **47(2008)** pp: 4891-4897.

Water purification systems, Ma frommer I dalven us patente 5,10,479,1992. Disponible en: http://scholar.google.com/scholar?start=40&q=activated+carbon+filters+to+remove+color&hl=en&as_sdt=0,5. Consultada el 29 de Noviembre de 2012.

Williams, R.A. Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. Chem Eng. 132(2004) pp: 299-209.

Yu Shui Li; Lu Yan; Chai Bao Xiang; Liu Jiang Hong [Treatment of oily wastewater by organic-inorganic composite tubular ultrafiltration \(UF\) membranes](#) Original Research Desalination, 196(2006)pp: 76-83.

Zafar, M.N. Biosorption of nickel from protonated rice bran, j. Hazard Mater. 143(2007) pp: 478-485.

*
