

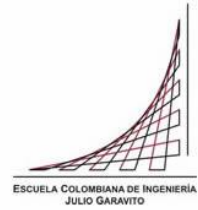
Maestría en Ingeniería Civil

Eficiencia de remoción de materia orgánica mediante carbón activado, en agua residual de la industria lechera

Jenny Paola Chaves Contreras

Marcos Rafael Franceschi Arrieta

Bogotá, D.C., 22 de mayo de 2019

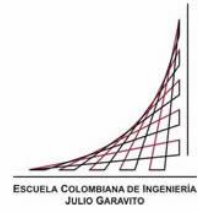


Eficiencia de remoción de materia orgánica mediante carbón activado, en agua residual de la industria lechera

Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente

**María Paulina Villegas De Brigard
Directora**

Bogotá, D.C., 22 de mayo de 2019



La tesis de maestría titulada “Eficiencia de remoción de materia orgánica mediante carbón activado, en agua residual de la industria lechera”, presentada por Jenny Paola Chaves Contreras y Marcos Rafael Franceschi Arrieta, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente

Directora de la tesis

María Paulina Villegas De Brigard

Jurado

Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado

Gladys Rocío González Leal

Bogotá, D.C., 27 de junio de 2019

RESUMEN

El constante deterioro de las fuentes hídricas y su uso como recurso en el abastecimiento de agua para el consumo humano, han llevado a la búsqueda de la optimización de los procesos de tratamiento, para remover o reducir los diferentes contaminantes. Las fuentes de agua son incapaces, por si mismas, de absorber y neutralizar la elevada carga contaminante de las aguas residuales de la industria.

Se planteó el presente proyecto para estudiar a escala de laboratorio el uso de carbón activado en polvo en el tratamiento por cocheda de aguas residuales de la industria láctea, ya que estas aguas presentan un elevado contenido de materia orgánica y el carbón activado presenta una gran capacidad de adsorción de tales compuestos.

Se seleccionaron tres carbones objeto del análisis: dos comerciales de los cuales uno era de origen mineral y el otro de origen vegetal, y un carbón artesanal de tusa de mazorca. Se ensayaron diferentes dosis y tiempos de contacto (6, 10 y 20 g/L de carbón a intervalos de 30 minutos hasta un total de 180 minutos), para estudiar el comportamiento de remoción de color, sólidos, DQO y DBO y la variación en el pH a lo largo del ensayo. Se realizaron ensayos de cocheda, mediante un aparato de jarras manteniendo una agitación constante de 150 rpm durante el tiempo de contacto.

Los mejores resultados se obtuvieron con dosis de 20 g/L de carbón de tusa y 20 g/L de carbón mineral con un tiempo de contacto de 180 minutos. El carbón de leña (vegetal comercial) se descartó debido a que mostró un comportamiento deficiente en la remoción de color.

El carbón artesanal de tusa presentó buenos resultados al igual que los del carbón mineral comercial, presentándose como una alternativa viable de aprovechamiento de este residuo y, aunque habría que evaluar su costo de producción, podría llegar a ser menos costoso que otros carbones.

Los resultados obtenidos demuestran que el carbón mineral y el carbón de tusa son una alternativa para el tratamiento de ARI.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos	11
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	12
1.1. Aguas residuales industriales	14
1.2. Industria láctea en Colombia	15
1.3. Carbón activado	18
1.3.1. Propiedades.....	18
1.3.2. Materiales de partida	19
1.3.3. Procesos de activación	20
1.4. Producción de maíz en Colombia	21
CAPITULO II. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON CARBÓN ACTIVADO	23
2.1 Adsorción con carbón activado.....	23
2.2 Aplicaciones	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	25
3.1 Obtención de carbón activado a partir de tusa de maíz	25
3.2 Muestreo y caracterización fisicoquímica del agua residual industrial lechera	26
3.3 Evaluación de la eficiencia del carbón activado.....	26
3.4 Determinación de la remoción de materia orgánica en términos de DQO y DBO del agua residual de la industria lechera	27
CAPITULO IV. RESULTADOS	28
4.1 Obtención de carbón activado	28
4.2 Absorbancia	29
4.3 pH	35

4.4 DQO.....	36
4.5 DBO	37
4.6 Sólidos	39
4.6.1 Sólidos totales	39
4.6.2 Sólidos suspendidos totales.....	39
4.6.3 Sólidos suspendidos volátiles	40
4.6.4 Sólidos suspendidos fijos.....	41
4.7 Resumen.....	42
CAPITULO V. CONCLUSIONES	43
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES	45
CAPITULO VII. REFERENCIAS	46
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 - Métodos de análisis para caracterización fisicoquímica del AR.....</i>	26
Tabla 2 – Granulometría CT	28
Tabla 3 - Resultados de Absorbancia / m a $\lambda=436$	29
Tabla 4 – Resultados de Absorbancia / m a $\lambda=525$	29
Tabla 5 – Resultados de Absorbancia /m a $\lambda=620$	30
Tabla 6 – Reducción de absorbancia a la longitud de onda de 436 nm	33
Tabla 7 - Reducción de absorbancia a la longitud de onda de 525 nm	34
Tabla 8 - Medidas de absorbancia a la longitud de onda de 620 nm.....	34
Tabla 9 – % Remoción DQO.....	37
<i>Tabla 10 - % Remoción DBO.....</i>	38
Tabla 11 – Resumen resultados para 180 min y dosis de 20g/L	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 –Producción de leche fresca en América Latina –Condorchem Envitech.....	16
Figura 2 – Producción de leche en Colombia- Consumo Aparente - PROexport.....	17
Figura 3- Ventas de lacteos en US\$ Millones en America Latina año 2008 - PROexport	17
Figura 4 – Histórico de producción Maíz (1971-2018A). FENALCE	21
Figura 5 – Consumo aparente Per cápita (2018) FENALCE y DIAN	22
Figura 6 –Modelo de ensayos de laboratorio método cochada	27
Figura 7- Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda=436\text{nm}$	30
Figura 8- Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda=525\text{nm}$	31
Figura 9- Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda=620\text{nm}$	31
Figura 10 - Comportamiento de la absorbancia/m a λ 436 en el agua tratada a los 120 minutos	32
Figura 11- Comportamiento de la absorbancia/m a λ 525 en el agua tratada a los 120 minutos	32
Figura 12- Comportamiento de la absorbancia/m a λ 620 en el agua tratada a los 120 minutos	33
Figura 13 - Comportamiento del pH en el agua tratada.....	35
Figura 14 - Comportamiento de la DQO en el agua tratada	36
Figura 15 - Comportamiento de la DBO en el agua tratada	38
Figura 16 - Comportamiento de sólidos totales durante el ensayo	39
Figura 17 - Comportamiento de sólidos suspendidos totales durante el ensayo	40
Figura 18 - Comportamiento de sólidos suspendidos volátiles durante el ensayo.....	41
Figura 19 - Comportamiento de sólidos suspendidos fijos durante el ensayo	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 - Resultados agua residual tratada	49
Anexo 2 - Resultados pH agua residual tratada	49
Anexo 3 – Resultados color agua tratada longitud de onda 436	49
Anexo 4 - Resultados color agua tratada longitud de onda 525	50
Anexo 5 - Resultados color agua tratada longitud de onda 620	50
Anexo 6 – Resultados sólidos ARI cruda	50
Anexo 7 - Resultados sólidos ARI tratada con carbón mineral.....	50
Anexo 8 - Resultados sólidos ARI tratada con carbón de tusa.....	51
Anexo 9 – Fotografía tusa de maíz	51
Anexo 10 - Fotografía tusa carbonizada	51
Anexo 11 - Fotografía tusa carbonizada y triturada.....	52
Anexo 12 – Fotografía agua residual industrial lechera.....	52
Anexo 13 - Fotografía aparato de jarras en mezcla continua	53
Anexo 14 - Fotografía agua residual tratada con carbones activados	53

INTRODUCCIÓN

El Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (2017), menciona el valor que representan las aguas residuales en el ciclo del agua, pero también la importancia de tratarlas adecuadamente. Las aguas residuales provienen de casi todas las actividades humanas realizadas con agua y sus niveles de contaminación crecen al igual que la demanda de agua en el mundo.

El problema principal de las aguas residuales es su vertimiento en el medio ambiente sin un adecuado tratamiento, un problema que se ve menos reflejado en los países desarrollados que en los países de medio o bajo desarrollo. La falta de manejo de las aguas residuales genera daños en el medio ambiente y en la salud humana, siendo indispensable la búsqueda continua de soluciones para su control.

La industria láctea genera gran cantidad de aguas residuales, concentrando en estas la mayor cantidad de contaminantes originados en sus procesos. En Colombia se estima una generación anual de casi 14.000 millones de litros de aguas residuales industriales solo para la producción de leche procesada (Minagricultura, 2016).

Diversos estudios realizados a nivel mundial demuestran la viabilidad técnica de usar carbón activado como método de tratamiento de aguas residuales, principalmente como tratamiento terciario, al igual que para el tratamiento de otros contaminantes como los lixiviados. Dadas las afirmaciones anteriores, se realizará un estudio para establecer y comparar la eficiencia del proceso de adsorción de tres tipos de carbón activado para la remoción de materia orgánica de un agua residual de la industria lechera.

La ejecución de este proyecto es un aporte novedoso a los estudios de tratamiento de aguas residuales, puesto que contribuye con resultados experimentales al análisis de la viabilidad técnica de usar carbón activado en las aguas residuales de la industria lechera, un campo aun no explorado según la literatura consultada.

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer y comparar la eficiencia del proceso de adsorción de tres tipos de carbón activado en la remoción de materia orgánica de un agua residual de la industria lechera.

Objetivos específicos

- Determinar la remoción de materia orgánica en términos de DQO y DBO de un agua residual de industria lechera usando tres tipos de carbón activado.
- Obtener un carbón activado generado a partir de un residuo vegetal y establecer su capacidad de remoción de materia orgánica.
- Establecer las condiciones de tiempos de contacto y dosis de carbón activado necesarias para la remoción de materia orgánica del agua residual de la industria lechera.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Mendonca 1987).

Las aguas residuales industriales son desechos líquidos de la manufactura de un producto específico, que generalmente son más concentrados y tienen mayores variaciones de caudal y composición que las aguas residuales urbanas, presentando características diversas en los vertidos, tanto de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

Las aguas residuales industriales presentan una contaminación generalmente más difícil de eliminar. Su alta carga, junto con la variabilidad que presentan, hace que su tratamiento sea complejo, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

Las aguas residuales dispuestas en una corriente superficial (lagos, ríos, mar) sin ningún tratamiento, ocasionan graves problemas de contaminación que afectan la flora y la fauna. Las fuentes de agua son incapaces, por sí mismas, de absorber la carga contaminante de las aguas residuales de la industria, es por esto que las corrientes de agua han perdido sus condiciones naturales para regenerarse y preservarse.

La industria láctea genera gran cantidad de aguas residuales, las cuales se caracterizan por poseer un alto contenido de materia orgánica, grasas y aceites, además de sólidos suspendidos y un pH variable entre 2 y 11 que normalmente se sale de los rangos aceptables para vertimientos. (Romero, 2018)

En general la bibliografía toma como valor promedio 2 litros de aguas residuales por litro de leche procesada. Por lo tanto, para nuestro país con una producción estimada para el año 2016 de casi 7.000 millones de litros (Minagricultura, 2016), el caudal de las aguas residuales

ascendería a 14.000 millones de litros por año, con lo que se puede dar una idea de la magnitud del problema para su adecuada disposición y tratamiento.

Las aguas residuales de la industria láctea se someten a diferentes procesos para su tratamiento, los cuales varían según la planta de producción. En general son: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y disposición final de arenas y lodos.

El uso de carbón activado se hace generalmente durante la última etapa, el tratamiento terciario¹. Según un artículo publicado por Carbotecnia, el carbón activado es capaz de retener contaminantes de origen orgánico en cualquier concentración, pero se aplica en el tratamiento terciario puesto que, en términos técnico-económicos, es competitivo respecto a otros procesos (Carbotecnia, 2004).

El carbón activado se presenta como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de adsorción debido a las propiedades físicas del mismo tales como su área superficial específica muy grande y microporosidad elevada. Según Rouquerol, el término “carbón activado” se refiere a carbones muy porosos producidos a partir de materiales ricos en carbono, mediante diversas formas de activación química o física (Jose Carriazo, 2010).

En Penang, Malasia, Foo, K., Lee, L. y Hameed, B. evaluaron la cinética del carbón activado elaborado con semillas de tamarindo y demostraron la viabilidad técnica para el uso de este tipo de carbón en la remoción de materia orgánica. Otro estudio, liderado por Velásquez, J., indicó que se puede obtener carbón activado de las cáscaras de coco llevando a cabo un proceso físico-químico. Estos proyectos demuestran que a partir de residuos orgánicos se puede producir carbón activado mediante procesos físicos y químicos y sus propiedades permiten remover materia orgánica.

Se propone entonces la posibilidad de producir carbón activado a partir de la tusa de maíz siendo esta un residuo orgánico. El maíz es el cereal cuyo cultivo ocupa la segunda mayor extensión en Colombia con 581.751 hectáreas, lo cual corresponde a una producción de

¹ Sin embargo, en este proyecto se utilizó el carbón activado como tratamiento primario.

1.581.096 toneladas anuales, esto sin mencionar que la demanda interna es mayor a esta producción y se hace necesario importar este cereal de otros países como Brasil, Argentina y Estados Unidos. De las 250 mil toneladas de maíz producidas en el departamento de Córdoba, por ejemplo, el 18% corresponde a los residuos de tusa; esto nos dejaría con un aproximado de 285 mil toneladas de tusa de la producción nacional registrada (DANE, 2013).

Víctor Nova Casares, líder del proyecto de investigación Tusa del Maíz: Una fuente de energía renovable, afirma que: “debido a que la tusa se quema a cielo abierto, pues no representa valor alguno para los cultivadores, ésta se convierte en un problema para su manejo y disposición final”. El hecho de no representar valor para los cultivadores hace necesario buscar una solución para el uso de la tusa y evitar la contaminación debida a la quema de este residuo, siendo una alternativa la producción de carbón activado para la remoción de materia orgánica.

1.1. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son nombradas de esa manera por la procedencia de las mismas; son aguas generadas de comercios o industrias las cuales no contienen aguas residuales domésticas ni aguas pluviales.

En las aguas residuales industriales se encuentran presentes compuestos orgánicos e inorgánicos. Los efluentes industriales generalmente contienen compuestos que no se eliminan con los tratamientos convencionales usados en las aguas residuales domésticas, bien sea por las grandes concentraciones de contaminantes, o por su naturaleza química. Varios de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentran presentes en algunas aguas residuales industriales deben ser tratados bajo regulaciones especiales debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo. (Fernández-Alba, García, García, Valiño, Fernández, & García, 2006)

Las aguas residuales industriales pueden presentar una composición constante o variable debido a la diversidad de los procesos de los cuales resultan. Los componentes de estas aguas residuales se pueden clasificar de acuerdo a los métodos de tratamiento, así:

- Elementos insolubles separables físicamente.
- Elementos orgánicos separados por adsorción.
- Elementos separables por precipitación.
- Elementos que pueden precipitar en forma de sales insolubles de hierro o en forma de complejos (Sulfuros, fosfatos, cianuros y sulfocianuros).
- Elementos separables por desgasificación.
- Elementos que necesitan una reacción de oxidación reducción.
- Ácidos y bases
- Elementos que se eliminan mediante tratamiento biológico

De los 562 sistemas de tratamiento de aguas residuales instalados en diferentes municipios del país, se estima que solo un 10% tratan la totalidad de agua residual producida. La tendencia en cuanto a sistemas de tratamiento de aguas en Colombia es la utilización de tratamientos secundarios, como la construcción de lagunas de estabilización (44%), sistemas de aireación extendida (9.4%) y filtros biológicos (7%). (Almudena, 2014)

1.2. Industria láctea en Colombia

La industria láctea en Colombia genera una gran cantidad de agua residual. De acuerdo a un artículo publicado por Condorchem Envitech, se estima que se generan 2 litros de agua residual por cada litro de leche que se produce.

Las aguas residuales de la industria lechera presentan elevados valores de contaminación principalmente de carácter orgánico, y una elevada concentración de grasas y aceites. Los valores de DBO₅ en los vertimientos muestran una gran variabilidad, al igual que el caudal y la composición. La cual depende básicamente del proceso que genera las aguas residuales y del producto que se prepara. Por ejemplo, el suero que se genera en la elaboración de quesos tiene una DBO del orden de 40.000-50.000 mg O₂/L y se considera que una granja que procesa al rededor 100 m³/día de leche para la elaboración de quesos, genera aproximadamente la misma contaminación que una población de 55.000 habitantes. (Condorchem Envitech)

De acuerdo a la figura 1, en 2010 Colombia se posicionó como el cuarto productor de leche en América Latina con un volumen aproximado anual de 6.538 millones de litros, superado sólo por Brasil, México y Argentina.

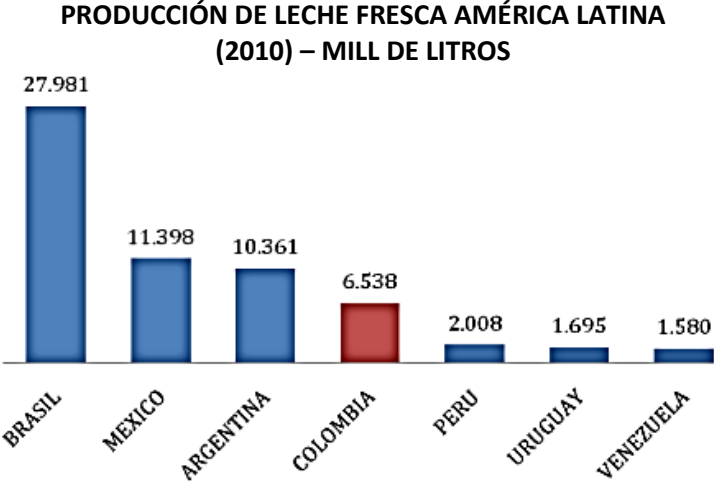


Figura 1 –Producción de leche fresca en América Latina –Condorchem Envitech

El volumen total de producción en Colombia pasó de 2.000 millones de litros en 1979 a 6,500 millones en 2010, con una tasa de crecimiento promedio de 3.5%. En algunos períodos esta tasa ha sido más alta, por ejemplo entre 1979 y 1988 creció al 6%. Este incremento es considerable si se tiene en cuenta que el crecimiento vegetativo de la población colombiana es inferior al 2% anual. (PROEXPORT Colombia, 2011)

De acuerdo al informe publicado por PROexport en 2011, las innovaciones en los sistemas de alimentación y manejo del ganado han permitido que la producción primaria tenga una buena dinámica cada año. En la figura 2 se puede notar que el aumento de la producción de leche se ha dado de forma conjunta con el aumento del consumo aparente del mismo.

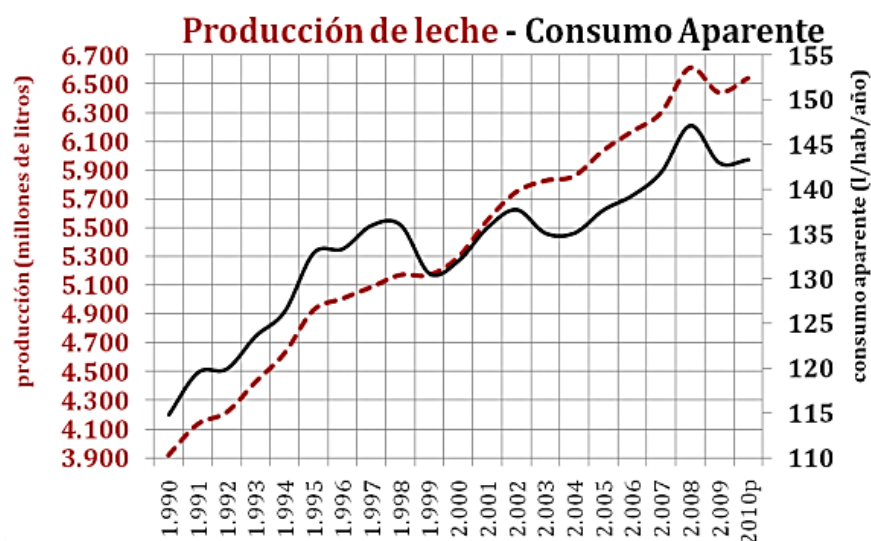


Figura 2 – Producción de leche en Colombia- Consumo Aparente - PROexport

En la figura 3 podemos notar el buen posicionamiento de Colombia en 2008 en el mercado latinoamericano de lácteos, ocupando el tercer lugar en ventas solo por detrás de Brasil y México.

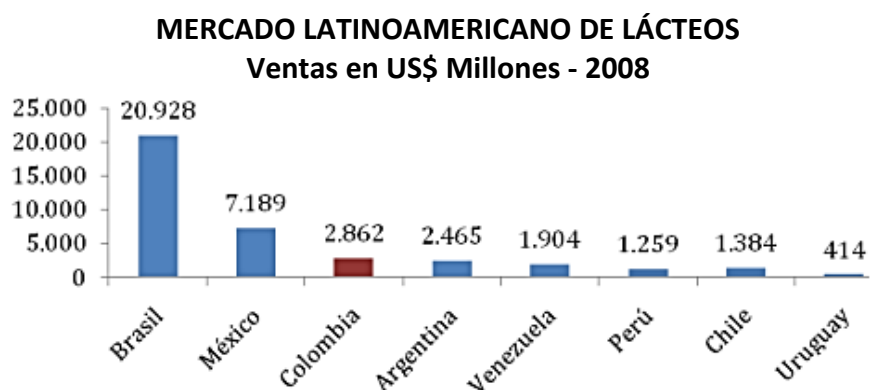


Figura 3- Ventas de lacteos en US\$ Millones en America Latina año 2008 - PROexport

Para el 2017 las cifras no fueron menos desalentadoras. El crecimiento de la producción de leche cruda para 2017 se estimó en 9%, que equivale a 600 millones de litros, alcanzando una producción total de 7.000 millones de litros en el año. (Santana, 2018)

Santana (2018) explica que durante el 2016 el fenómeno del Niño afectó en gran medida la producción anual de leche, y durante el año 2017 se está recuperando la senda de producción.

1.3. Carbón activado

El carbón activado o carbón activo es carbón con un elevado grado de porosidad (microporos y submicroporos) y una alta superficie interna que atrapa compuestos principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. A esta propiedad se le llama adsorción; al sólido se le denomina adsorbente y a la molécula atrapada adsorbato. Todos los carbones activados se caracterizan por un sistema de poros ramificados y el área de superficie interna puede alcanzar entre 800 y 1500 m²/g de carbón. (Niño & Ortiz, 2006)

Por lo anterior, una de las principales aplicaciones del carbón activado es la purificación de líquidos y gases contaminados con alguna molécula orgánica.

1.3.1. Propiedades

Desde la antigüedad los egipcios descubrieron que el carbón de madera podía utilizarse para purificar diferentes productos e incluso podía usarse con fines medicinales. Actualmente, el carbón activado es usado para remover diferentes compuestos de diferentes sustancias, razón por la cual se puede encontrar en variedad de productos como filtros para neveras o peceras y en la industria en plantas de tratamiento.

Un carbón activado está constituido por microcristales en estructuras bidimensionales, donde los planos se encuentran desplazados unos respecto a otros y sobrepuestos entre sí, por lo que presentan un elevado porcentaje de la estructura desordenada. (Dietrich, 1999)

El carbón activado puede adsorber una amplia variedad de sustancias principalmente por interacciones intermoleculares débiles (fuerzas de van der Waals), es decir, que son capaces de atraer moléculas a su superficie interna y por lo tanto actuar como adsorbente.

Una característica común del carbón activado es una estructura amorfa con propiedades de superficie hidrófobas. (Grisales & Rojas, 2016). La disposición irregular de los átomos de carbono se rompe por grietas y fisuras (poros) y el gran número de poros finos da al carbón activado una superficie interior grande, que es la base de sus propiedades de adsorción

La mayoría de compuestos orgánicos tienden a ser no iónicos y poco polares, lo que los convierte en un compuesto particularmente atractivo para los compuestos covalentes, como es el caso del carbón activado. (Niño & Ortiz, 2006)

Las propiedades absorbentes de los carbones activados, aparte de su distribución porosa, también son determinadas por su naturaleza química, ya que en su estructura pueden contener átomos de oxígeno, hidrógeno o nitrógeno, lo que permite que sustancias polares sean retenidas en la superficie del carbón activado.

Por su apariencia el carbón activado se puede clasificar en granular, polvo, pastillas cilíndricas, gránulos esféricos, fibras de carbono activado y coque activado. En la industria, los adsorbentes carbonosos se clasifican a menudo por sus distribuciones de poro y radio en carbón activado, coque activado y tamices moleculares de carbono.

1.3.2. Materiales de partida

Prácticamente cualquier material orgánico con proporciones elevadas de carbono, podría ser apto de ser transformado en carbón activado. Los carbones activados industrialmente pueden provenir de cortezas de almendras, cáscara de coco, turba, petróleo, brea, palmeras u otras maderas, y carbón mineral. Los factores que se deben tener en cuenta para elegir un material de partida adecuado son: buena disponibilidad y bajo costo.

1.3.3. Procesos de activación

La activación del carbón puede ser un proceso independiente de la carbonización o puede realizarse después de ésta. Consiste en aumentar la cantidad de poros de un carbón dando como resultado una estructura considerablemente porosa de gran área superficial. Existen básicamente dos procesos a través de los cuales se puede lograr la activación.

1.3.3.1. Activación física

También llamada activación térmica, consiste en oxidar la materia prima, previamente carbonizada, a altas temperaturas (entre 800 y 1000°C) en presencia de un agente oxidante como el aire, vapor de agua, dióxido de carbono, entre otros. Así se va produciendo la quema de la superficie, lo que genera mayor cantidad de poros y el aumento progresivo de la superficie del carbón. (Grisales & Rojas, 2016)

1.3.3.2. Activación química

La activación química tiene dos etapas, la primera consiste en es deshidratar la materia prima mediante un agente reactivo, como ácido fosfórico, cloruro de zinc, carbonato de potasio, hidróxido de potasio, etc, posteriormente se carboniza el material deshidratado a una temperatura entre 450 y 900° C, obteniéndose una estructura porosa. La siguiente etapa consiste en lavar el producto resultante con el objetivo de eliminar los restos del agente activante utilizado.

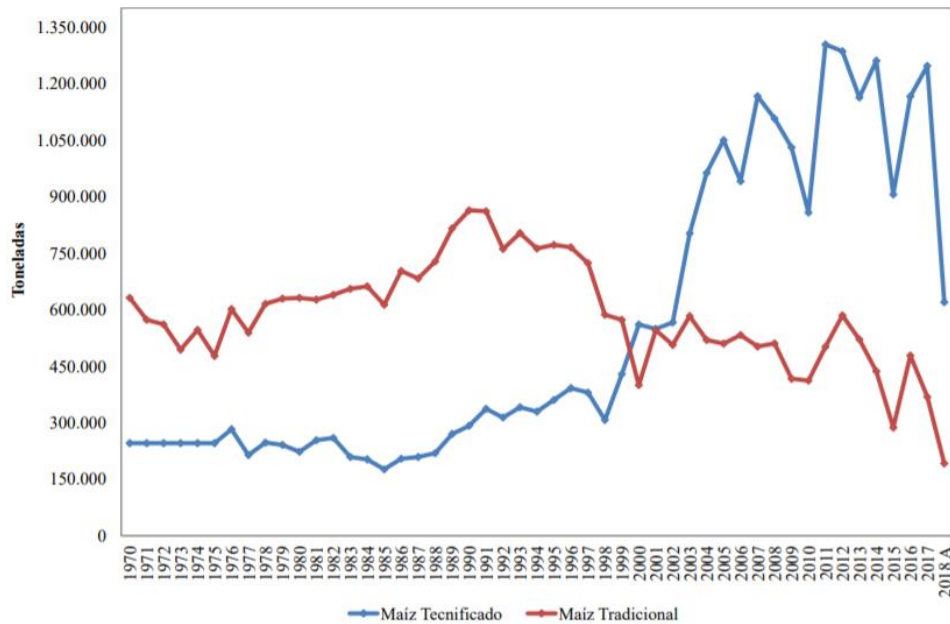
El grado de activación puede variar de acuerdo a la concentración del agente reactivo utilizado. (Niño & Ortíz, 2006)

1.4. Producción de maíz en Colombia

Sobre el origen del cultivo del maíz en Colombia no se tiene referencia histórica, ya que su aparición y consumo van cogidos de la mano desde el momento en que los primeros indígenas poblaron estas tierras.

Las variedades tradicionales de maíces colombianos constituyen un rico patrimonio de tradiciones agrícolas, alimenticias y poco se ha tomado en cuenta que sus residuos como la tusa poseen también un potencial uso desperdiciado.

En Colombia el maíz se encuentra extendido por todas las regiones del país, esto por su adaptación a diversas condiciones agroclimáticas. En el país cultivan dos tipos de maíz, el amarillo y el blanco y su cultivo se maneja de acuerdo con las condiciones de cada zona agroecológica, dentro de las diferentes formas de cultivo que existen en el país, se consideran dos grandes sistemas de producción: el tecnificado y el tradicional.



Fuente: FENALCE

Figura 4 – Histórico de producción Maíz (1971-2018A). FENALCE

La demanda de maíz en Colombia tiene en cuenta dos grandes compradores: los hogares y las industrias. Estos compradores tienen canales de abastecimiento diferentes, los

hogares satisfacen su demanda a través de supermercados o tiendas, mientras que las industrias han creado mecanismos para abastecerse directamente de los agricultores.

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015, el área total de los principales cultivos transitorios fue 802.050 ha y los cultivos que registraron la mayor área sembrada son los de maíz, con un área de 82.088 ha.

Por otro lado, se evidencia un alza en el consumo aparente per cápita de maíz en el periodo 2008 – 2018-1 según los datos reportados en los indicadores cerealistas del primer semestre del 2018

CONSUMO APARENTE PER CAPITA (Kg)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018A
Sorgo	6,30	6,67	5,54	11,76	14,74	11,85	2,69	0,79	1,17	0,21	1,24
Maíz Amarillo	96,07	89,18	94,94	85,30	93,86	101,18	108,08	117,96	119,24	126,92	79,87
Maíz Blanco	14,68	15,93	14,31	18,41	19,93	18,15	18,80	14,60	20,38	19,87	8,97
Trigo	32,09	31,12	30,85	33,99	32,70	32,19	41,42	38,55	47,66	42,69	19,16
Cebada	12,81	9,28	10,95	11,76	11,15	11,45	11,40	11,42	13,37	13,19	7,30
Frijol	2,86	2,96	3,02	3,55	4,16	3,20	3,28	3,05	3,75	3,00	1,98
Arveja	2,72	2,77	2,53	2,80	3,80	3,13	3,90	2,36	3,52	3,53	2,32

Fuente: DIAN y FENALCE

Figura 5 – Consumo aparente Per cápita (2018) FENALCE y DIAN

El maíz es consumido por muchas familias de las zonas que lo cultivan y lo almacenan, al igual que por las familias que lo incluyen en su dieta por ser un alimento tradicional. En Colombia, entre los años 2007 y 2017, el consumo promedio per cápita al año fue de 103.27 Kg para maíz amarillo y 17.51 Kg para maíz blanco, fuente: DIAN y FENALCE. Por lo que se generan grandes cantidades de residuos agrícolas, los cuales constituyen inconvenientes a la hora de recolectarlos y disponerlos.

En función de la existencia de este tipo de desechos agrícolas sólidos, en las diferentes universidades a nivel nacional e internacional, se han realizado diversos proyectos de investigación para hallar posibles soluciones de utilización y aprovechamiento de estos residuos.

Al incrementarse el consumo de maíz, se incrementan sus residuos, por lo tanto se deben buscar alternativas para su aprovechamiento y posterior disposición.

CAPITULO II. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON CARBÓN ACTIVADO

Los carbones activados poseen una gran capacidad de adsorción de contaminantes debido a sus propiedades tales como la porosidad. La cantidad de contaminantes capaces de adsorber son muy diversos, y van desde compuestos aromáticos hasta hidrocarburos. Normalmente el carbón activado es usado en el tratamiento terciario de aguas, y es muy eficaz en la eliminación de compuestos tóxicos.

2.1 Adsorción con carbón activado

El proceso de adsorción consiste en la retención de átomos, iones o moléculas en una superficie. La cantidad de sustancias captadas en la superficie dependen de las características del adsorbente y de la concentración del adsorbato.

En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción. (U. de Sevilla)

En el caso del proceso de adsorción con carbón activado, la materia orgánica atraviesa por una serie de pasos hasta adherirse a los poros que posee el carbón. En un primer paso, la materia orgánica se mueve a través del sistema bien sea de macroporos o microporos del carbón activado, para luego adherirse a ellos.

De acuerdo al Manual de carbón activo publicado por la Universidad de Sevilla, *“el nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (o lo que es lo mismo soluble en agua) no puede ser eliminada o es mal eliminada por el carbón activo.”*

2.2 Aplicaciones

El carbón activado es usado en el tratamiento de aguas residuales, en la etapa denominada tratamiento terciario, el cual por lo general, consiste en eliminar la carga orgánica y sustancias contaminantes que no fueron removidas mediante otros tratamientos como los métodos tradicionales fisicoquímicos y biológicos. La aplicación del tratamiento terciario se suele usar cuando un contaminante específico, como olor o color, no está cumpliendo con lo que se requiere, ya sea de carácter normativo o por preferencias del usuario o consumidor, que puede buscar utilizarla para para riego u otros usos en los que es necesario un mayor nivel de pureza respecto al que se pudo obtener con los tratamientos primario y secundario. (Carbotecnia, 2004)

El carbón activado es capaz de adsorber materia orgánica disuelta, su utilización en el tratamiento terciario de acuerdo al artículo publicado por Carbotecnia, se debe a su nivel competitivo frente a otros procesos aplicados en este tratamiento, pudiendo disminuir el contenido de DQO a valores entre 2 y 10 mg/L. El carbón activado también es capaz de remover color y olor, lo cual es importante para tratamientos en agua potable o agua residual con fines de reutilización.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos establecidos para este proyecto de investigación experimental se llevó a cabo la siguiente metodología. El desarrollo del proyecto inicia con una recopilación de la información secundaria y bibliográfica, la cual debe soportar el procedimiento descrito a continuación.

3.1 Obtención de carbón activado a partir de tusa de maíz

Teniendo en cuenta la posibilidad de producir carbón activado a partir de la tusa de maíz, debido a que este es un residuo orgánico, se pretendió determinar a nivel de laboratorio condiciones favorables para lograr su producción y activación mediante un proceso físico (térmico).

Las tusas de maíz fueron previamente secadas para disminuir su contenido de humedad y posteriormente se sometieron a un proceso de carbonización a más de 500°C. Luego de un tiempo de reposo, el carbón obtenido es activado a una temperatura superior a 900°C en presencia de vapor de agua.

Luego de la activación, las muestras de carbón obtenidas se usaron para la remoción de color en una muestra del lago ubicado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con el fin de evaluar su capacidad de adsorción y conocer con cual tiempo de carbonización se presentan mejores resultados. Simultáneamente se realizaron los mismos ensayos con un carbón activado comercial para comparar los resultados y determinar la viabilidad técnica de usar el obtenido a partir de tusa de maíz para el tratamiento de aguas residuales industriales.

3.2 Muestreo y caracterización fisicoquímica del agua residual industrial lechera

Para ejecutar esta actividad se tomaron muestras del agua residual industrial producida en la planta de Productos Naturales de la Sabana S.A. (Alquería), ubicada en Cajicá, Cundinamarca. La recolección se realizó justo antes de entrar el agua residual a la planta. Los parámetros medidos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1 - Métodos de análisis para caracterización fisicoquímica del AR.

Parámetro	Método	SM
pH	Instrumental de electrodo	4500-H ⁺
DQO	Reflujo Cerrado - Titulométrico	5220 C
DBO	Titulométrico	5210 B
Sólidos totales	Gravimétrico	2540
Color	Espectrofotométrico	2120 D

3.3 Evaluación de la eficiencia del carbón activado

Para realizar la evaluación se usó un aparato de jarras para dosificar diferentes cantidades de carbón activado y mantener una mezcla constante. Las jarras tenían una cantidad de 500 mL de agua residual industrial lechera. Se tomaron muestras de cada jarra a diferentes tiempos para establecer la remoción de materia orgánica de cada carbón.

El manejo de una combinación de tiempo de agitación y cantidad de carbón activado para una muestra constante de agua residual industrial, permite evaluar la eficiencia de los carbonos en distintas condiciones. El modelo para los ensayos es el siguiente:





















	Carbón Tusa	Carbón 1	Carbón 2	Testigo
30 minutos				
60 minutos				
90 minutos				
120 minutos				
180 minutos				

Figura 6 –Modelo de ensayos de laboratorio método cochada

En cada tiempo escogido se extrajo de los vasos una muestra para determinar el color y el pH y con base en estos resultados escoger el tiempo de contacto óptimo del ensayo y el carbón más efectivo entre los evaluados.

3.4 Determinación de la remoción de materia orgánica en términos de DQO y DBO del agua residual de la industria lechera

Habiendo obtenido el carbón más efectivo de los evaluados anteriormente y el tiempo de contacto óptimo entre el carbón y el agua residual industrial lechera, se procedió a determinar la remoción de materia orgánica en términos de DQO y DBO del agua residual. Para ello, se replicó el ensayo anterior con las dosis y tiempos más efectivos de cada carbón. Se determinó la DQO y la DBO tanto del agua cruda como de las aguas tratadas, con el fin de determinar la remoción de materia orgánica.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Obtención de carbón activado

La masa de carbón activado obtenida a partir de la tusa de maíz fue de 120 g de carbón activado por cada 1 kg de tusa de maíz, proporción que pareciera un poco baja en comparación con la masa de la materia prima utilizada, correspondiendo al 12% de la masa total.

Sin embargo, teniendo en cuenta la masa total de tusa de maíz que se genera por año en el país (285.000 ton), se puede observar que es viable la utilización de este residuo para la fabricación de aproximadamente 34.200 toneladas de carbón activo al año.

Para el carbón activado de tusa de maíz se obtuvo la siguiente granulometría.

Tabla 2 – Granulometría CT

Malla No.	% de carbón retenido	% de Carbón que pasa
20	0.0%	100.0%
40	10.9%	89.1%
50	6.1%	83.0%
60	5.7%	77.3%
80	6.6%	70.7%
100	35.7%	35.0%
200	26.5%	8.5%

Para la realización de los ensayos se tomó el tamaño de carbón desde el que pasa tamiz No. 80.

4.2 Absorbancia ²

La medición de la absorbancia se realizó en espectrofotómetro (NANOCOLOR VIS II), en el cual se registraron las absorbancias a las longitudes de onda de 436, 525 y 620 nm. En las tablas 2 a 4 se presentan los resultados obtenidos para los tres tipos de carbón y las diferentes dosis utilizadas.

Tabla 3 - Resultados de Absorbancia / m a $\lambda=436$

Absorbancia a longitud de onda de 436 nm										
Tiempo (min)	Agua cruda	6 g/L CM	6 g/L CL	6 g/L CT	10 g/L CM	10 g/L CL	10 g/L CT	20 g/L CM	20 g/L CL	20 g/L CT
30	49.8	41.7	43.1	46.1	14.1	43.5	36.8	5.4	41.4	1.5
60	49.8	49.9	48.6	41.1	10.1	41.2	57.8	5.1	46.9	5.1
90	49.8	39.4	48.2	37.8	6.4	50.8	35.7	6.9	54.1	3.2
120	49.8	32.3	45.9	42.5	6.7	47.9	33.1	4.1	44.7	10.8
180	49.8	31.1	47.9	40.7	5.6	51.1	43	4	48.7	12.7

Tabla 4 – Resultados de Absorbancia / m a $\lambda=525$

Absorbancia a longitud de onda de 525 nm										
Tiempo (min)	Agua cruda	6 g/L - CM	6 g/L - CL	6 g/L - CT	10 g/L - CM	10 g/L - CL	10 g/L - CT	20 g/L - CM	20 g/L - CL	20 g/L - CT
30	44.9	36.1	35.2	47.2	11.5	39.9	29	5.3	35.2	1.2
60	44.9	35.4	37.7	32.9	8.8	35.5	45.8	5.2	41.2	4.6
90	44.9	35.3	44.2	39.2	5.7	45.4	29	6.7	45.7	2.8
120	44.9	27.3	45.1	37.4	5.9	43.5	27.3	4.2	42.1	9.9
180	44.9	26.8	48.9	34.3	5.1	46.3	37	4	45.6	11.7

² Para facilitar la inclusión de la información en las tablas y las figuras se usará la siguiente convención:
 CM: Carbón Mineral; CL: Carbón de Leña; CT: Carbón de Tusa

Tabla 5 – Resultados de Absorbancia /m a $\lambda=620$

Absorbancia a longitud de onda de 620 nm										
Tiempo (min)	Agua cruda	6 g/L - CM	6 g/L - CL	6 g/L - CT	10 g/L - CM	10 g/L - CL	10 g/L - CT	20 g/L - CM	20 g/L - CL	20 g/L - CT
30	42.3	32.3	30	43.6	9.8	33.7	25.3	5.4	30	0.9
60	42.3	30.6	39.2	27	8.1	29.9	41.5	5.2	35.1	4.4
90	42.3	30.6	39.6	29.1	5.4	40.3	24.5	6.7	35.1	2.5
120	42.3	23.6	38.8	33	5.4	41.5	23	2.4	36.1	9.2
180	42.3	23.3	39.7	29.1	5.1	42.7	32.6	4.1	40.8	10.9

A continuación, se presentan los resultados de la absorbancia de manera gráfica:

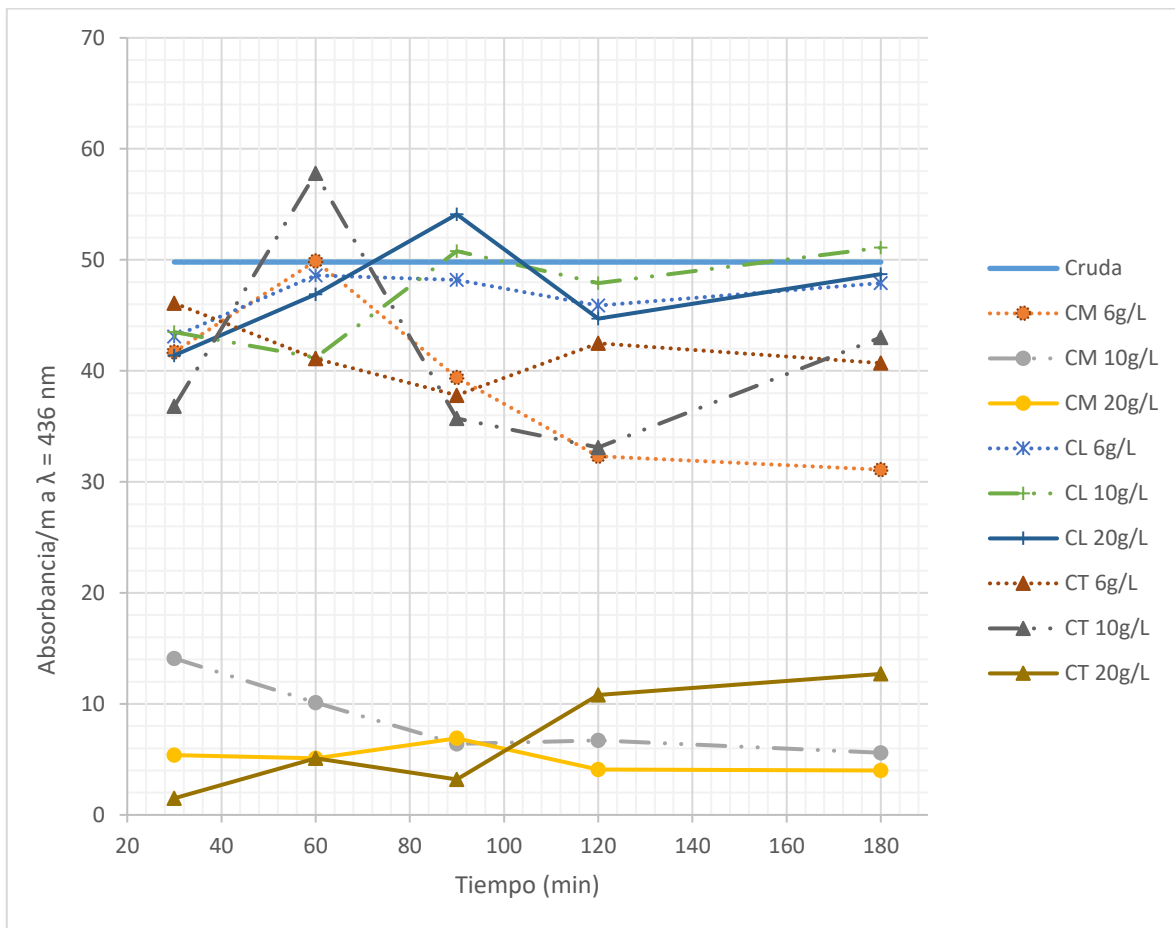


Figura 7- Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda=436nm$

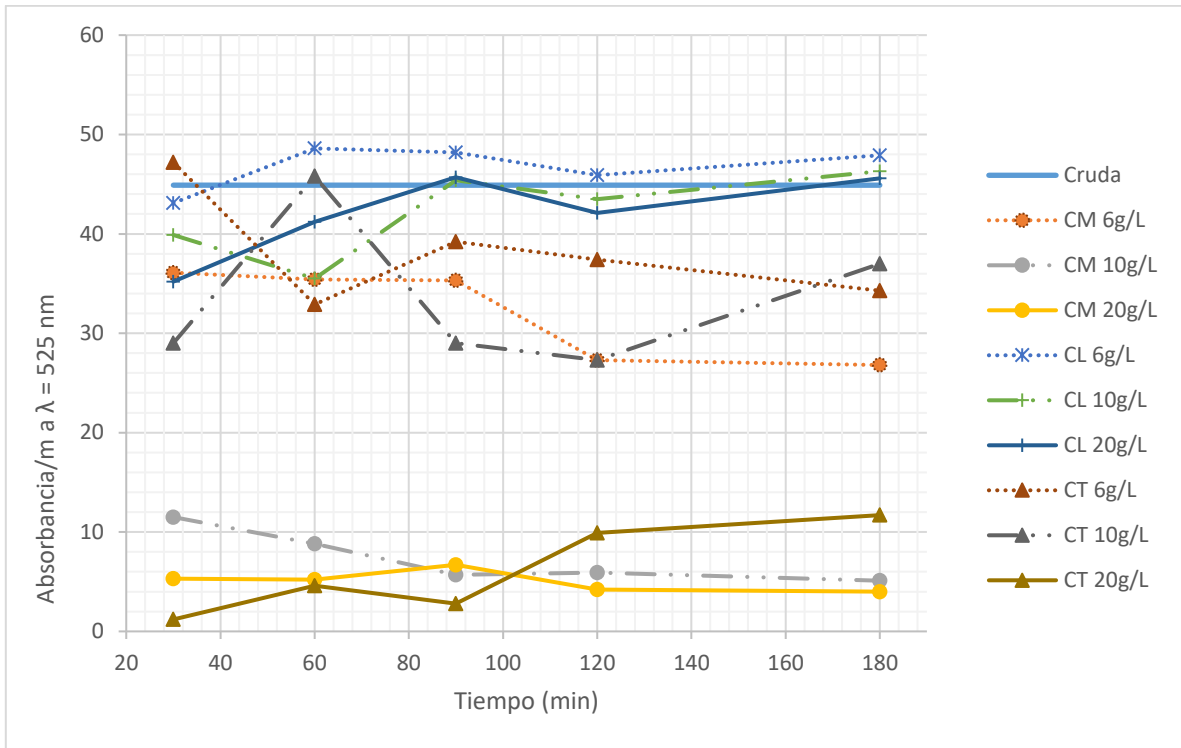


Figura 8- Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda=525\text{nm}$

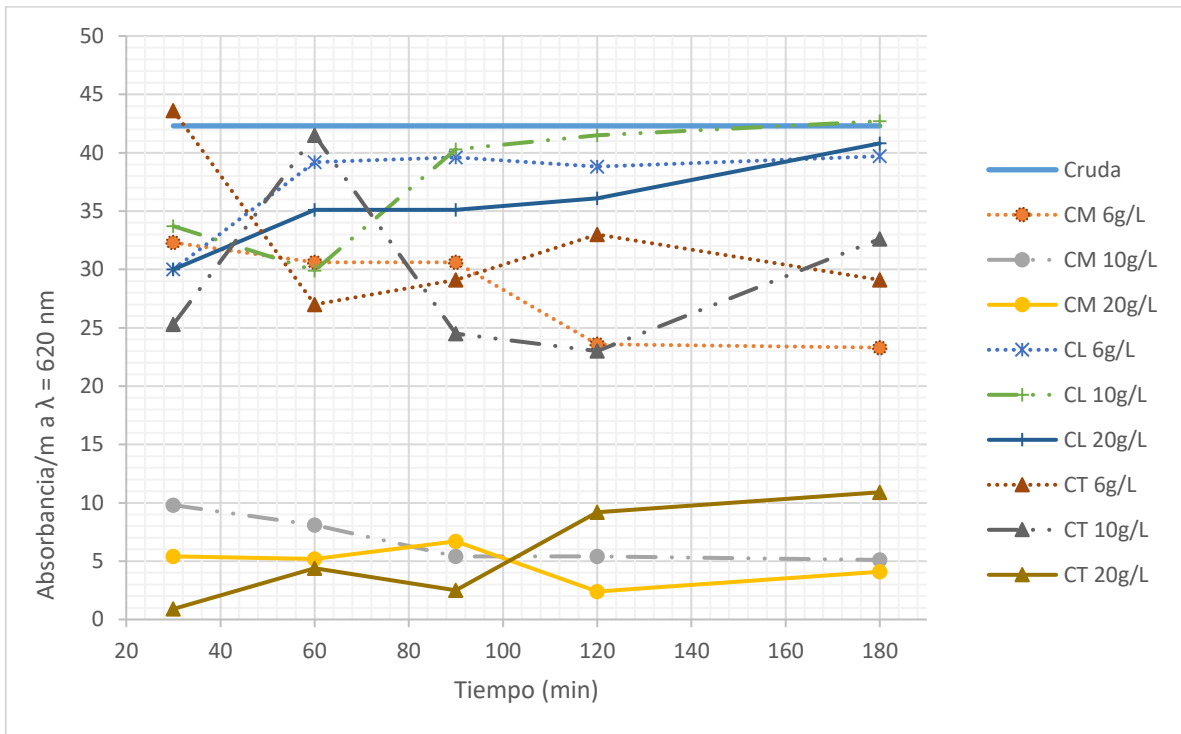


Figura 9- Comportamiento de la absorbancia/m a $\lambda=620\text{nm}$

En las figuras 7, 8 y 9, se puede observar que las dosis de 20 g/L de carbón de tusa, 10 y 20 g/L de carbón mineral presentan un comportamiento similar de reducción significativa en el valor de la absorbancia; adicionalmente se observa que la reducción obtenida después de 120 minutos no es significativa.

El carbón vegetal de leña presenta un comportamiento poco favorable disminuyendo ligeramente después de 30 minutos de tiempo de contacto y aumentando después al aumentar el tiempo. Este crecimiento se puede deber al tamaño de las partículas de carbón, las cuales pasan por la membrana en el proceso de filtrado y aumentan el color del agua.

Teniendo en cuenta el tiempo de contacto de 120 minutos, para el cual se presenta en general la mayor reducción en el color en las 3 longitudes de onda medidas, en las gráficas 10, 11 y 12 se presentan los resultados de los diferentes tipos de carbón y las diferentes dosis en dicho tiempo.

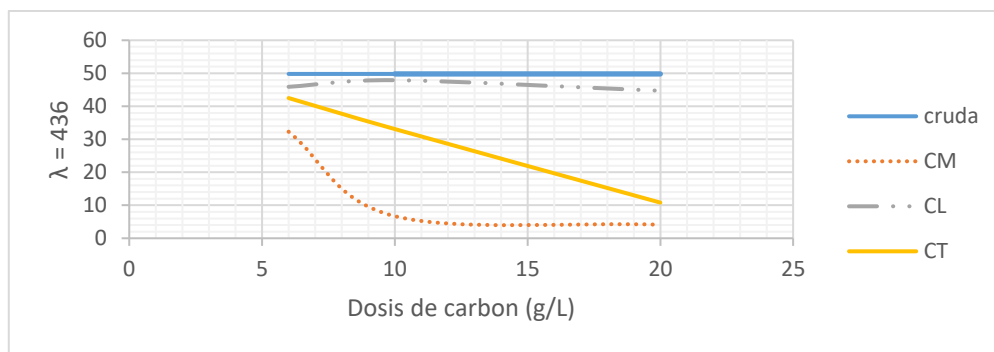


Figura 10 - Comportamiento de la absorbancia/m a λ 436 en el agua tratada a los 120 minutos

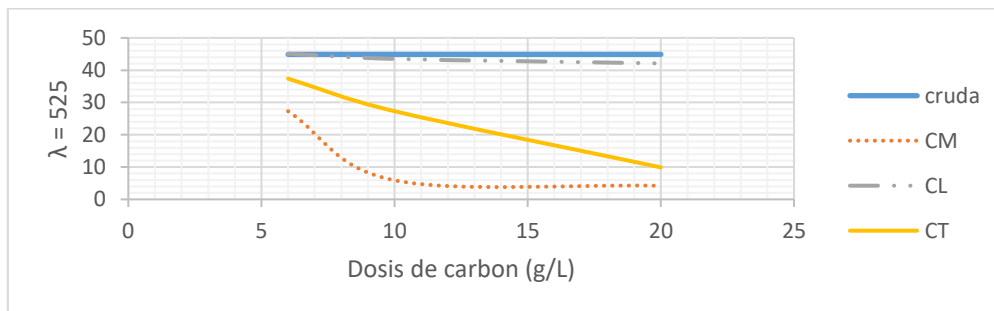


Figura 11- Comportamiento de la absorbancia/m a λ 525 en el agua tratada a los 120 minutos

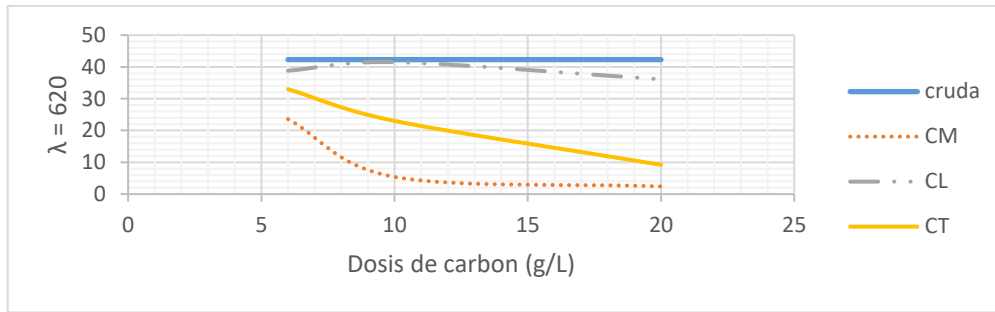


Figura 12- Comportamiento de la absorbancia/m a λ 620 en el agua tratada a los 120 minutos

En las figuras anteriores, se verifica que el comportamiento del carbón de leña es deficiente, dado que no remueve color de manera significativa. También se puede observar que para el carbón mineral las dosis de 10 y 20 g/L presentan comportamientos similares. Sin embargo, con el carbón de tusa se presenta una reducción lineal, siendo la dosis de 20 g/L la más favorable.

Se observa que la dosis de 20 g/L de carbón mineral, fue la que tuvo mejor comportamiento frente a la remoción de color.

En las siguientes tablas se presentan las eficiencias de remoción de color correspondientes a las diferentes longitudes de onda, para el agua tratada con una dosis de 20 g/L de carbón durante el ensayo.

Tabla 6 – Reducción de absorbancia a la longitud de onda de 436 nm

Tiempo (min)	% de Reducción de color en términos de absorbancia a λ 436		
	% CM	% CL	% CT
30	89%	17%	97%
60	90%	6%	90%
90	86%	-9%	94%
120	92%	10%	78%
180	92%	2%	74%

Tabla 7 - Reducción de absorbancia a la longitud de onda de 525 nm

% de Reducción de color en términos de absorbancia a λ 525			
Tiempo (min)	% CM	% CL	% CT
30	88%	22%	97%
60	88%	8%	90%
90	85%	-2%	94%
120	91%	6%	78%
180	91%	-2%	74%

Tabla 8 - Medidas de absorbancia a la longitud de onda de 620 nm

% de Reducción de color en términos de absorbancia a λ 620			
Tiempo (min)	% CM	% CL	% CT
30	87%	29%	98%
60	88%	17%	90%
90	84%	17%	94%
120	94%	15%	78%
180	90%	4%	74%

En las tablas 5 a 7 se puede observar una eficiencia de remoción alta, entre el 74% y 98 %, para el carbón mineral y para el carbón de tusa, mientras para el carbón de leña se evidencian comportamientos incluso negativos.

Para los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, industriales, comerciales, de servicios públicos de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales no hay valores máximos permisibles para el color real, solo se debe realizar el análisis (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) y reportarlo, según lo dispuesto en la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

4.3 pH

La figura 13 presenta el comportamiento del pH durante el ensayo.

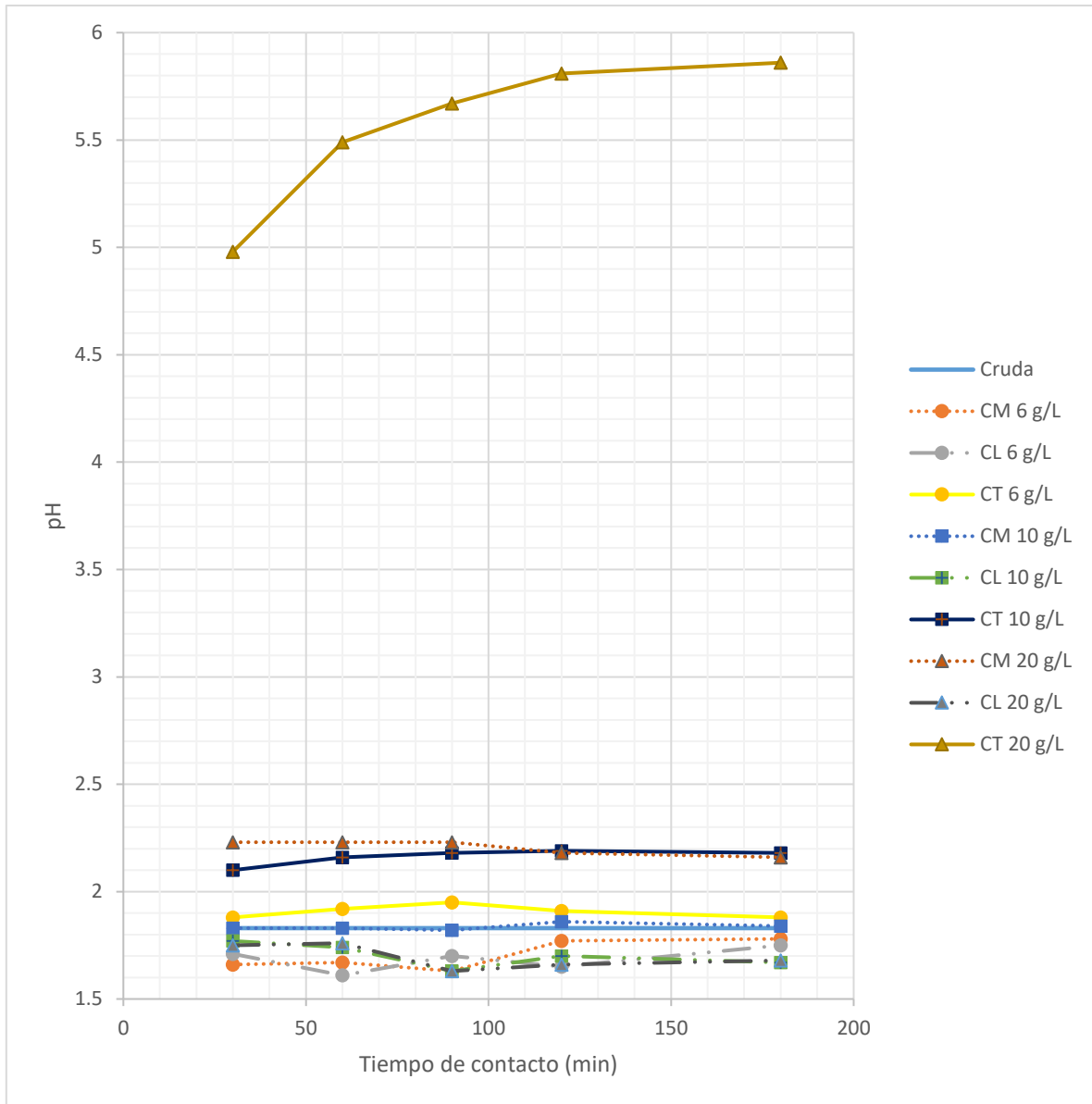


Figura 13 - Comportamiento del pH en el agua tratada.

En la figura 13 se puede observar que todas las dosis presentaron alguna variación en el pH, sin embargo, la mayoría mantuvo un comportamiento similar de poca variación. Es de resaltar el comportamiento del pH con la dosis de 20 g/L de carbón de tusa, el cual aumentó considerablemente.

También se observa que ninguna de las dosis permite alcanzar los valores de pH exigidos por la normatividad colombiana (6.0 – 9.0).

4.4 DQO

De los resultados de color obtenidos, se escogieron las dos mejores dosis para realizar los análisis de remoción de materia orgánica presente en la muestra. Estas correspondieron a 20 g/L de carbón mineral y 20 g/L de carbón de tusa, con tiempos de contacto de 30 y 180 minutos. El carbón de leña se descartó por los resultados desfavorables que presentó.

El agua residual sin tratar contaba con una DQO de 4660 mg/L, luego de estar en contacto por 180 minutos con el carbón activado, presentó una disminución, llegando a valores mínimos de 777 mg/L para el carbón de tusa y de 1553 mg/L para el carbón mineral.

La figura 15 presenta el comportamiento de la DQO en el agua tratada con 30 y 180 minutos de tiempo de contacto, con relación al agua cruda.

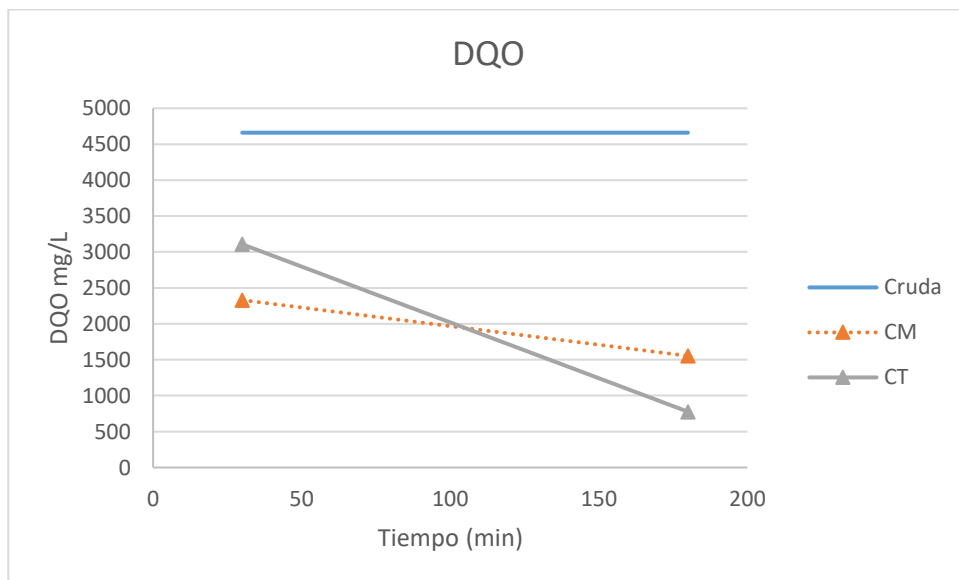


Figura 14 - Comportamiento de la DQO en el agua tratada

De la figura anterior se observa que ambas dosis presentaron reducción en la DQO desde el minuto 30 y siguió la reducción en el transcurso del tiempo, hasta un porcentaje de reducción del 83%. Este comportamiento evidencia una relación directa con la disminución en el color.

En la tabla 9 se presentan los porcentajes de reducción obtenidos con la dosis de 20 g/L a tiempos de contacto de 30 y 180 minutos.

Tabla 9 – % Remoción DQO

Tipo de carbón usado	DQO	% Reducción DQO
CT 30'	3106.8	33.3%
CT 180'	776.7	83.3%
CM 30'	2330.1	50.0%
CM 180'	1553.4	66.7%
ARI cruda	4660.2	-

A mayor tiempo de contacto se obtienen mejores porcentajes de reducción; tanto para el carbón de tusa como con el carbón mineral a los 180 minutos presentaron mejor eficiencia debido a la capacidad de remoción. Ambas dosis presentaron reducción desde el minuto 30, sin embargo, el carbón mineral muestra mejor eficiencia a menor tiempo mientras que el carbón de tusa es más eficiente a largo plazo.

4.5 DBO

El agua residual sin tratar contaba con una DBO de 2039 mg/L, luego de estar en contacto por 180 minutos con el carbón activado presentó una disminución, llegando a valores mínimos de 1654 mg/L para el carbón de tusa y de 792 mg/L para el carbón mineral.

La siguiente figura presenta el comportamiento de la DBO en el agua tratada durante el ensayo con las dosis de 20 g/L de carbón mineral y carbón de tusa en tiempos de 30 y 180 minutos respectivamente.

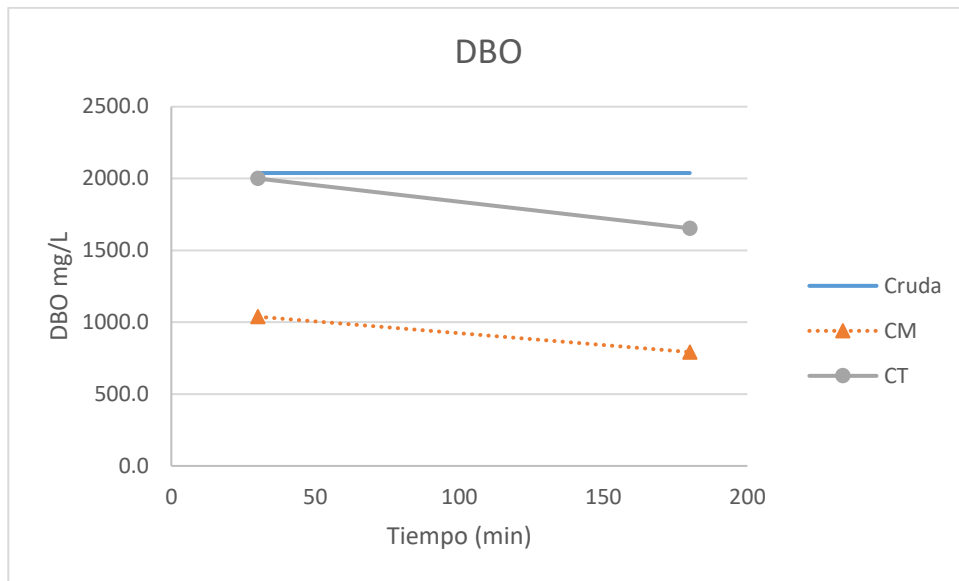


Figura 15 - Comportamiento de la DBO en el agua tratada

El comportamiento de la DBO en el agua tratada con carbón de tusa difiere con relación al comportamiento de la DQO, siendo menor la remoción. Por otro lado, el comportamiento de la DBO en el agua tratada con el carbón mineral se mantiene constante. Esto se puede observar con mayor facilidad en la siguiente tabla.

Tabla 10 - % Remoción DBO

Tipo de carbón usado	DBO mg/L	% Reducción DBO
CT 30'	2000.0	1.9%
CT 180'	1653.8	18.9%
CM 30'	1038.5	49.1%
CM 180'	792.3	61.1%
ARI cruda	2038.5	-

Con remociones de DBO superiores al 50%, se corrobora la importancia de la implementación del carbón activado para la remoción de materia orgánica.

4.6 Sólidos

4.6.1 Sólidos totales

Para el agua residual sin tratar se obtuvo un valor de 1724 mg/L de sólidos totales. Luego de tratarse con los dos tipos de carbón se observó un elevado aumento para el carbón de tusa y un comportamiento casi imperceptible para el carbón mineral. Pasados 180 minutos de contacto se obtuvo como resultado final 5532 mg/L para el carbón de tusa y 1764 mg/L para el carbón mineral.

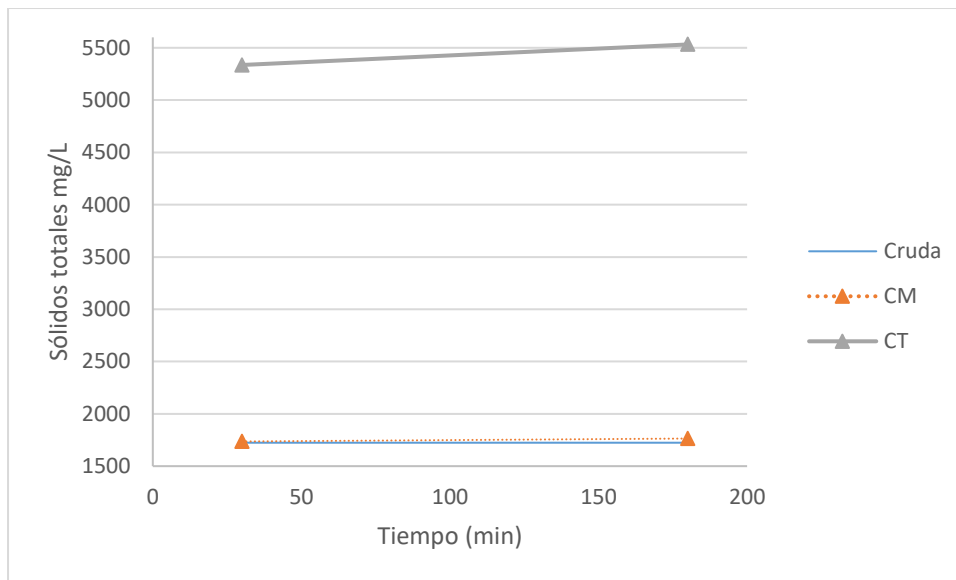


Figura 16 - Comportamiento de sólidos totales durante el ensayo

4.6.2 Sólidos suspendidos totales

Para el agua residual sin tratar se obtuvo un valor de 460 mg/L de sólidos suspendidos totales. Luego de tratarse con los dos tipos de carbón se observó una disminución en ambos casos. Sin embargo, después del minuto 30 se presenta un aumento en ambas dosis sin llegar a sobrepasar el valor inicial. Pasados 180 minutos de contacto se obtuvo como

resultado final 360 mg/L para el carbón de tusa y 280 mg/L para el carbón mineral. En la figura 17 se observan los resultados.

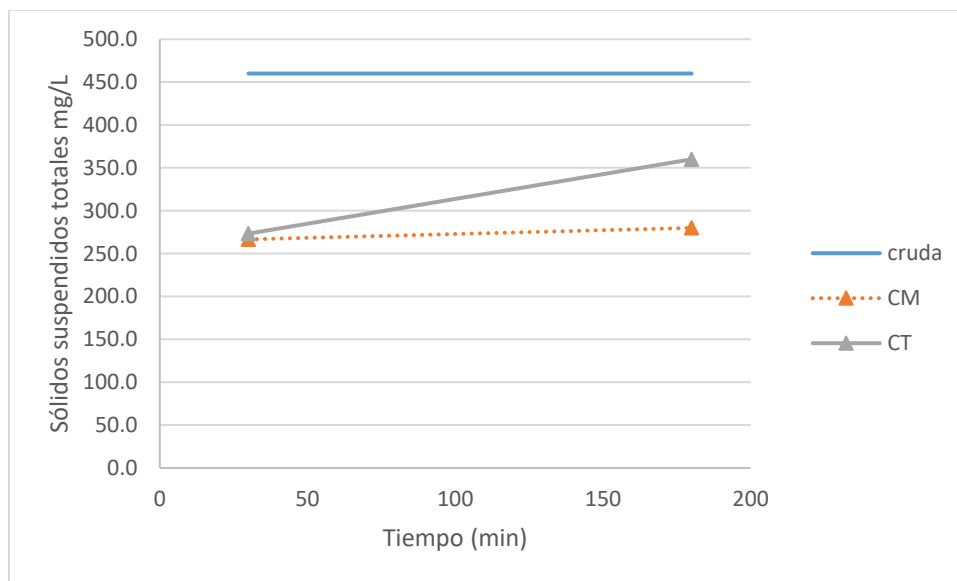


Figura 17 - Comportamiento de sólidos suspendidos totales durante el ensayo

4.6.3 Sólidos suspendidos volátiles

Para el agua residual sin tratar se obtuvo un valor de 213.3 mg/L de sólidos suspendidos volátiles. Luego de tratarse con los dos tipos de carbón se observó una disminución en ambos casos. Sin embargo, después del minuto 30 el carbón de tusa presenta un aumento considerable, mientras que el carbón mineral mantiene una tendencia de disminución. Pasados 180 minutos de contacto se obtuvo como resultado final 140 mg/L para el carbón de tusa y 66.7 mg/L para el carbón mineral.

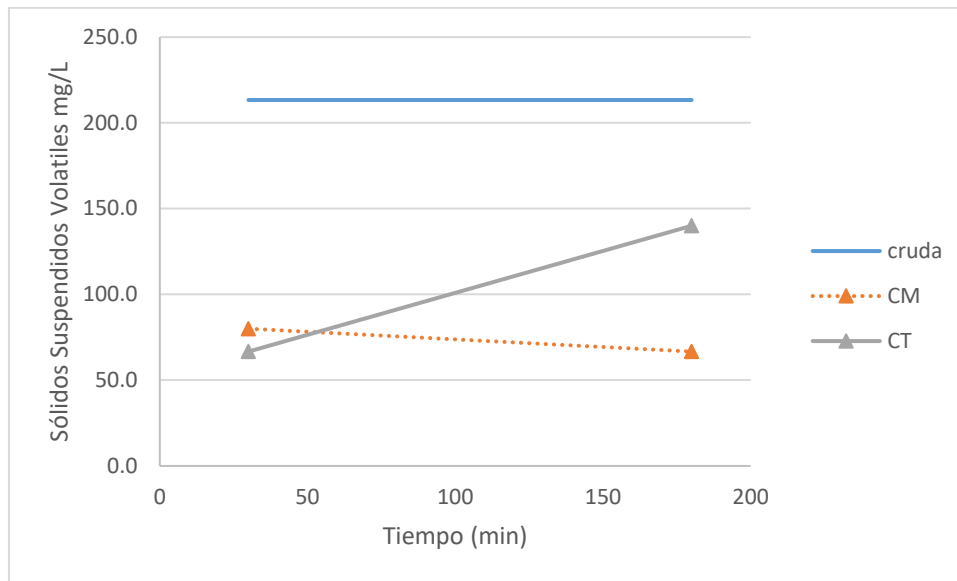


Figura 18 - Comportamiento de sólidos suspendidos volátiles durante el ensayo

4.6.4 Sólidos suspendidos fijos

Para el agua residual sin tratar se obtuvo un valor de 246.7 mg/L de sólidos suspendidos fijos. Luego de tratarse con los dos tipos de carbón se observó una disminución en ambos casos. Sin embargo, después del minuto 30 se presenta un aumento en ambas dosis sin llegar a sobrepasar el valor inicial. Pasados 180 minutos de contacto se obtuvo como resultado final 220 mg/L para el carbón de tusa y 213.3 mg/L para el carbón mineral.

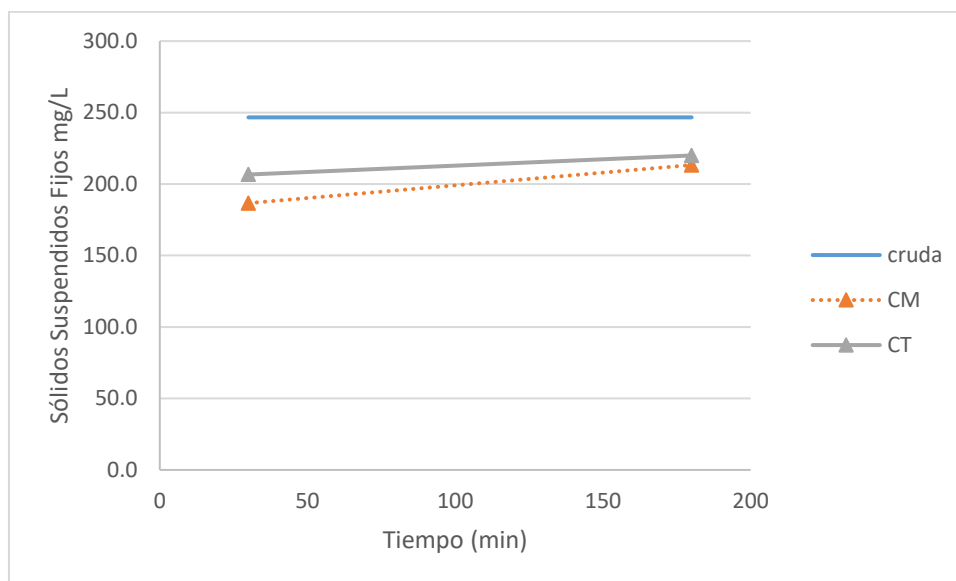


Figura 19 - Comportamiento de sólidos suspendidos fijos durante el ensayo

4.7 Resumen

En la tabla 11 se presentan los resultados obtenidos a un tiempo de contacto de 180 minutos con una dosis de 20g/L

Tabla 11 – Resumen resultados para 180 min y dosis de 20g/L

Parámetro	AR. Cruda	AR. Tratada a 180 min y dosis de 20g/L		Eficiencia	
		CT	CM	CT	CM
DQO (mg/L)	4660	777	1553	83%	67%
DBO (mg/L)	2039	1654	792	19%	61%
ST (mg/L)	1724	5532	1764	-221%	-2%
SS (mg/L)	460	360	280	22%	39%
SSV (mg/L)	213	180	140	16%	34%
SSF (mg/L)	247	220	213	11%	14%
Absorbancia (1/m) a $\lambda=436$	49.8	12.7	4	74%	92%
Absorbancia (1/m) a $\lambda=525$	44.9	11.7	4	74%	91%
Absorbancia (1/m) a $\lambda=620$	42.3	10.9	4.1	74%	90%

CAPITULO V. CONCLUSIONES

- El presente trabajo permitió corroborar algunas ventajas del carbón activado en el tratamiento de aguas residuales de la industria lechera. Esto se refleja en la eficiencia de remoción de materia orgánica medida por la DBO. La dosis que tuvo el mejor desempeño en la remoción de materia orgánica fue 20 g/L de carbón mineral con un tiempo de contacto de 180 minutos.
- La eficiencia de remoción de DQO del carbón de tusa fue de hasta 83% y para el carbón mineral de hasta 67% y la eficiencia de remoción de DBO del carbón de tusa fue de hasta 19% y para el carbón mineral de hasta 61% mostrando en ambos casos una buena capacidad de tratamiento.
- El pH en el agua residual de la fábrica Productos Naturales De La Sabana S.A.S. es un parámetro que por el tipo de proceso varía constantemente en rangos muy amplios. La obtención de valores de pH fuera del rango admisible según la normatividad colombiana y el no presentarse un patrón claro sobre el comportamiento del mismo a lo largo de los ensayos, indica que el carbón activado no tiene un efecto importante sobre este parámetro.
- El comportamiento del carbón de leña empleado en los ensayos fue deficiente, lo cual indica que no es una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales de la industria lechera.
- El carbón de tusa y el carbón mineral, presentan una adsorción favorable de materia orgánica, lo cual los convierte en una alternativa para el tratamiento de ARI.
- La relación obtenida entre la masa de carbón activado y la masa de tusa de mazorca, es de 120 g de carbón por cada Kg de tusa, por lo que de las 285.000 toneladas de tusa anuales, podrían convertirse en 34.200 toneladas de carbón activado.
- La tusa de maíz es considerada un desecho, sin embargo, se evidenció que es una posible fuente para elaboración de carbón activado mediante activación física, siendo este un recurso de bajo costo para la industria que fabrica carbones activados.

- La metodología usada en la elaboración y activación del carbón a partir de tusa de maíz es viable técnica y económicamente

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir ensayando y evaluar la relación entre la remoción de DQO y DBO con el carbón de tusa.
- Se sugiere estudiar el comportamiento del agua residual en el tratamiento con carbón activado, en las diferentes fases del tratamiento regular.
- Se recomienda seguir realizando ensayos con dosis mayores de carbón activado para analizar su comportamiento y posibilidad de tiempos de contacto menores.
- Se recomienda mayor investigación a la influencia del carbón activado en la variación del PH
- Se recomienda hacer un estudio para la recuperación y regeneración del carbón activado utilizado, de tal forma que al ser un proceso viable, se disminuyan los costos de operación del sistema de adsorción empleado, para el tratamiento de aguas residuales industriales.
- Se sugiere estudiar el comportamiento del carbón activado dentro del proceso de tratamiento en aguas residuales de otros tipos de industria y comparar sus resultados.

CAPITULO VII. REFERENCIAS

ALFA LAVAL. (1990). Manual de industrias lácteas. Madrid: 2da Edición.

Almudena. (10 de 4 de 2014). *twenergy*. Recuperado el 27 de 4 de 2019, de El tratamiento de aguas residuales en Colombia: <https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>

Arango, Á., & Garcés, L. (2007). *Tratamiento de aguas residuales de la industria lactea. Producción + Limpia*. Recuperado el 15 de 2 de 2019, de http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/revistalimpia/vol2n2/pl_v2n2_23-30_electrocoagulaci%C3%B3n.pdf

Bañon, H. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa*. Valencia.

Buenaño Dávalos, M. (2016). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental*. Quito.

Carbotecnia. (2004). *El carbón activado en el tratamiento de aguas residuales*. Jalisco, México.

Condorchem Envitech. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales, efluentes, y aire al servicio del medio ambiente*. Recuperado el 13 de 2 de 2019, de Tratamiento de aguas residuales de la industria lactea: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>

DANE. (2013). *Cuenta Satélite Piloto de la Agroindustria (CSPA): Maíz, sorgo y soya y su primer nivel de transformación 2005-2009*.

Dietrich, Z. V. (1999). *Proyecto de café*. Costa Rica.

Fernández-Alba, Garcia, L., García, R., Valiño, D., Fernández, V., & García, S. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Elecé Industria Gráfica.

Foo, K. L. (2013). Preparation of tamarind fruit seed activated carbon by microwave heating for the adsorptive treatment of landfill leachate: A laboratory column evaluation. *Bioresource Technology*, 599-605.

Foo, K., Lee, L., & Hameed, B. (s.f.). Preparation of tamarind fruit seed activated carbon by microwave heating for the adsorptive treatment of landfill leachate: A laboratory column evaluation. Penang, Malasia.

Franceschi, & Guerra. (2015). Estudio de agotamiento de columnas de carbón activado granular usadas para el manejo de un lixiviado previamente tratado mediante procesos de oxidación avanzada. Cartagena, Bolivar, Colombia: Universidad de Cartagena.

García, E., & Lopez, P. (2016). *Curso Interactivo Tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 2 de 4 de 2019, de Aguas residuales. Composición.: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

GEDAR. (s.f.). *Opciones de tratamiento de aguas residuales mediante carbón activo*. Recuperado el 28 de 4 de 2019, de https://www.gedar.com/PDF/Industrial/GEDAR-Carbon_Activo_Aguas_Residuales.pdf

Grisales, A., & Rojas, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*. Pereira.

Jose Carriazo, M. S. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. 224-229.

Lizarazo, J., & Orjuela, M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Recuperado el 15 de 2 de 2019, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Martín Martínez, J. (1999). *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. Alicante, San Vicente del Raspeig, España: Espagrafic.

Niño, I., & Ortiz, D. (2006). *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones.*

PROEXPORT Colombia. (2011). *Sector Lacteo en Colombia*. Recuperado el 12 de 2 de 2019, de <http://portugalcolombia.com/media/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf>

Ramírez, Martínez, & Fernández. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *AVANCES Investigación en Ingeniería Vol. 10*, 42-49.

Rodríguez Pimentel, H. (13 de Marzo de 2017). *iAgua*. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de Las aguas residuales y sus efectos contaminantes: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Santana, A. (19 de 1 de 2018). Perspectivas del sector lácteo para 2018. *CONtextogadero*.

U. de Sevilla. (s.f.). *elaguapotable*. Recuperado el 12 de 2 de 2019, de Manual del carbón activo: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

Velasquez, J. (2007). Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco pretratada con vapor. *Investigaciones Aplicadas*, 1-5.

ANEXOS

Anexo 1 - Resultados agua residual tratada

AR	DQO	% Reducción DQO	DBO	% Reducción DBO
Tusa 30'	3106.8	33.3%	2000.0	1.9%
Tusa 180'	776.7	83.3%	1653.8	18.9%
mandarín 30'	2330.1	50.0%	1038.5	49.1%
mandarín 180'	1553.4	66.7%	792.3	61.1%
cruda	4660.2	0.0%	2038.5	0.0%

Anexo 2 - Resultados pH agua residual tratada

Tiempo (min)	pH				
	Cruda	CM	% Reducción	T	% Reducción
30	12.06	10.07	16.5%	10.43	13.5%
180	12.06	9.84	18.4%	10.49	13.0%

Anexo 3 – Resultados color agua tratada longitud de onda 436

Absorbancia a Longitud de onda 436										
Tiempo (min)	cruda	3g - CM	3g - CL	3g - CT	5g - CM	5g - CL	5g - CT	10g - CM	10g - CL	10g - CT
30	49.8	41.7	43.1	46.1	14.1	43.5	36.8	5.4	41.4	1.5
60	49.8	49.9	48.6	41.1	10.1	41.2	57.8	5.1	46.9	5.1
90	49.8	39.4	48.2	37.8	6.4	50.8	35.7	6.9	54.1	3.2
120	49.8	32.3	45.9	42.5	6.7	47.9	33.1	4.1	44.7	10.8
180	49.8	31.1	47.9	40.7	5.6	51.1	43	4	48.7	12.7

Anexo 4 - Resultados color agua tratada longitud de onda 525

Absorbancia a Longitud de onda 525										
Tiempo (min)	cruda	3g - CM	3g - CL	3g - CT	5g - CM	5g - CL	5g - CT	10g - CM	10g - CL	10g - CT
30	44.9	36.1	35.2	47.2	11.5	39.9	29	5.3	35.2	1.2
60	44.9	35.4	37.7	32.9	8.8	35.5	45.8	5.2	41.2	4.6
90	44.9	35.3	44.2	39.2	5.7	45.4	29	6.7	45.7	2.8
120	44.9	27.3	45.1	37.4	5.9	43.5	27.3	4.2	42.1	9.9
180	44.9	26.8	48.9	34.3	5.1	46.3	37	4	45.6	11.7

Anexo 5 - Resultados color agua tratada longitud de onda 620

Absorbancia a Longitud de onda 620										
Tiempo (min)	cruda	3g - CM	3g - CL	3g - CT	5g - CM	5g - CL	5g - CT	10g - CM	10g - CL	10g - CT
30	42.3	32.3	30	43.6	9.8	33.7	25.3	5.4	30	0.9
60	42.3	30.6	39.2	27	8.1	29.9	41.5	5.2	35.1	4.4
90	42.3	30.6	39.6	29.1	5.4	40.3	24.5	6.7	35.1	2.5
120	42.3	23.6	38.8	33	5.4	41.5	23	2.4	36.1	9.2
180	42.3	23.3	39.7	29.1	5.1	42.7	32.6	4.1	40.8	10.9

Anexo 6 – Resultados sólidos ARI cruda

ARI - cruda				
Tiempo (min)	SOLIDOS TOTALES	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS
30	1724	460.0	213.3	246.7
180	1724	460.0	213.3	246.7

Anexo 7 - Resultados sólidos ARI tratada con carbón mineral

ARI - CM				
Tiempo (min)	SOLIDOS TOTALES	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS
30	1736	266.7	80.0	186.7
180	1764	280.0	66.7	213.3

Anexo 8 - Resultados sólidos ARI tratada con carbón de tusa

ARI - CT				
Tiempo (min)	SOLIDOS TOTALES	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS
30	5336	273.3	66.7	206.7
180	5532	360.0	140.0	220.0

Anexo 9 – Fotografía tusa de maíz



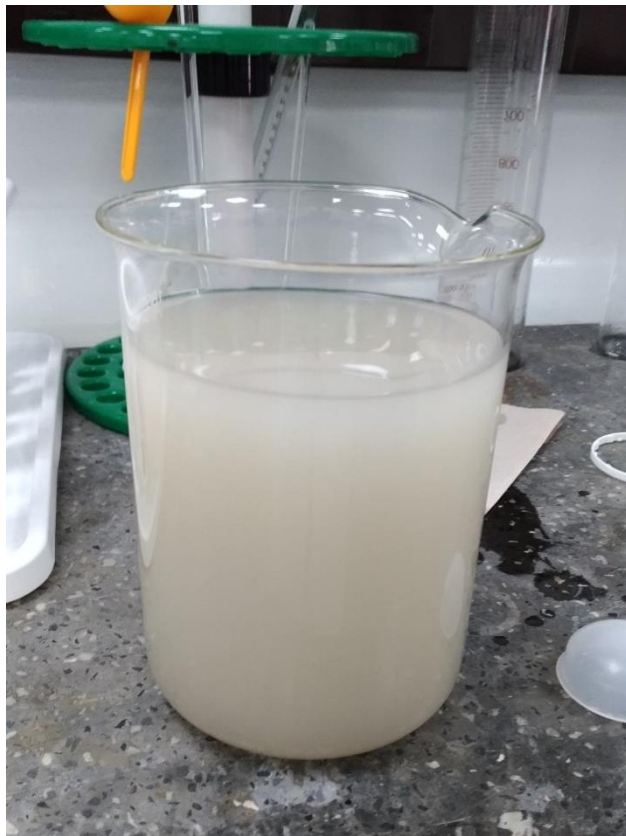
Anexo 10 - Fotografía tusa carbonizada



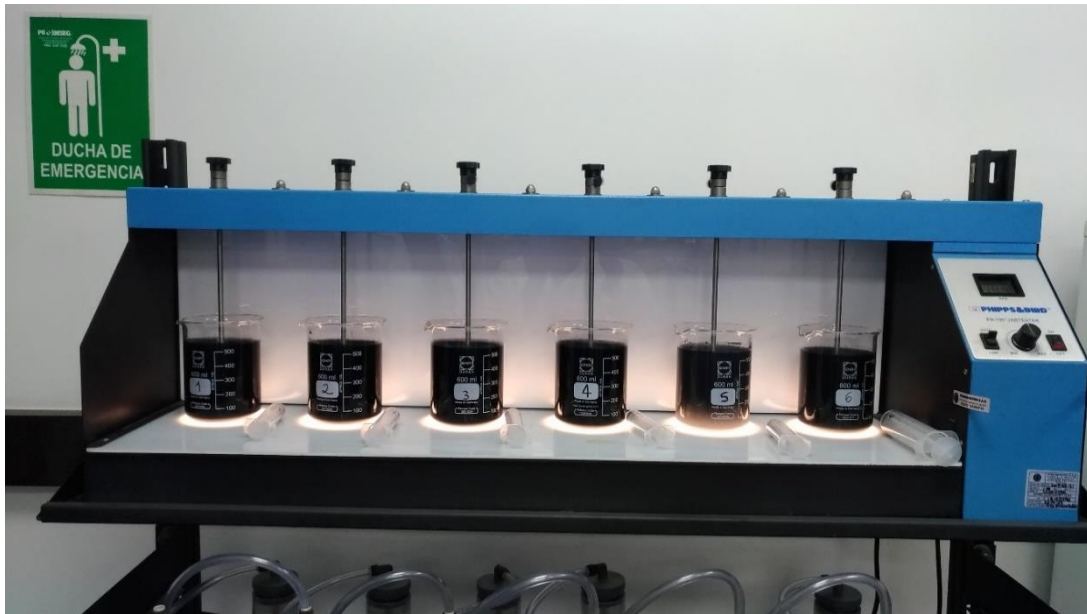
Anexo 11 - Fotografía tusa carbonizada y triturada



Anexo 12 – Fotografía agua residual industrial lechera



Anexo 13 - Fotografía aparato de jarras en mezcla continua



Anexo 14 - Fotografía agua residual tratada con carbones activados

