



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE MATERIALES NO
CONVENCIONALES, PARA SER USADO COMO MEDIO FILTRANTE ”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Diana Fernanda Navarrete Aguirre

Nadia Rosaura Quijano Arteaga

Cristian Douglas Vélez Sancán

Guayaquil - Ecuador
2014

AGRADECIMIENTO

A mi Ángel de la Guarda, por ser centinela permanente, por la amistad, por el recorrido.

A mis hermanos arquitectos, que me enseñaron que a veces es mejor recomenzar a vivir y sin los cuales hubiera terminado esta tesis cinco meses antes.

A mis amigos del colegio, de la Espol, del trabajo y de la vida, todos ellos tan diferentes y sin duda tan extraordinarios, por confiar en mí y enseñarme a crecer.

A nuestra directora de tesis Alby Aguilar por su apoyo constante.

Diana Fernando Navarrete Aguirre

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a mis queridos maestros, que durante el transcurso de mi vida universitaria me transmitieron sus amplios conocimientos y sus consejos; siento un agradecimiento en especial a nuestra directora de tesis M.Sc. Alby Aguilar Pezantes.

Nadia Rosaura Quijano Arteaga

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme instruido en el camino correcto y permitirme finalizar lo que empecé, dándole la gloria tan solo a EL; Luego a cada uno de los que son parte de mi familia, por siempre haberme dado su fuerza y apoyo absoluto. Finalmente a mis compañeras y directora de tesis por haber sido incondicionales en todo el tiempo de formación profesional, dejado sembrado una gran amistad en estos años de mi vida.

Cristian Douglas Vélez Sancán

DEDICATORIA

A Juanita Benita, la persona más fuerte que conozco, por siempre creer en mí incluso en los momentos en los que yo había perdido la esperanza, gracias por todo.

A Dios, Jesús, María y mi abuelo, sin ellos no podría haber empezado mi camino.

A Gus, por haberme inculcado hacer las cosas correctamente, por criarme y cuidarme.

A mi familia, los Aguirre, mis tíos y mis primos que siempre me enseñaron a seguir adelante.

A Byron Erazo y Alexander Uguña por guiarme en mi etapa profesional con tanto cariño.

Diana Fernando Navarrete Aguirre

DEDICATORIA

A Dios, porque él me ha guiado para cumplir mi sueño de ser una Ingeniera.

A Ivan y Soraya, quienes me apoyaron durante todos estos años con su cariño, sus consejos, comprensión y amor. Son los mejores padres que Dios me pudo dar.

A Vania, mi hermana querida que supo estar junto a mi todo este tiempo.

A Cristóbal, el amor de mi vida quien tuvo mucha paciencia conmigo y que me supo apoyar en cada momento.

Nadia Rosaura Quijano Arteaga

DEDICATORIA

En primer lugar a mis padres por su amor, respaldo y motivación durante toda las partes de mi formación universitaria.

A mis maestros y compañeros politécnicos por haber compartido de sus conocimientos, enseñanzas, consejos y experiencias que en su momento fueron tan edificantes para mi vida.

Cristian Douglas Vélez Sancán

TRIBUNAL DE GRADUACION



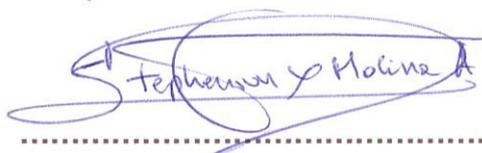
Dra. Paola Romero

Presidente



MSc. Alby Aguilar

Director de Tesis



MSc. Xavier Molina

Vocal

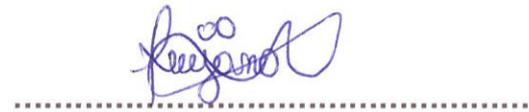
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

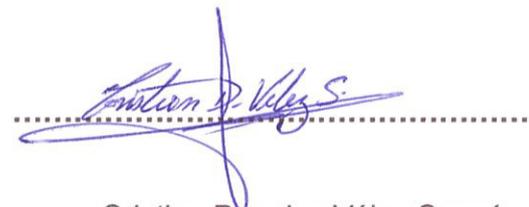
(Reglamento de graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in blue ink, reading "Diana Navarrete", written over a horizontal dotted line.

Diana Fernanda Navarrete Aguirre

A handwritten signature in blue ink, reading "Nadia Quijano", written over a horizontal dotted line.

Nadia Rosaura Quijano Arteaga

A handwritten signature in blue ink, reading "Cristian Vélez", written over a horizontal dotted line.

Cristian Douglas Vélez Sancán

RESUMEN

El carbón activado es un poderoso absorbente creado a base de materiales carbonosos, muy utilizado en el sector industrial en la recuperación de solventes, control de olores, descontaminación de aguas, decoloración de licores, jugos, vinagres, respiradores de cartucho, purificación de aire, etc. La filtración es un proceso físico unitario destinado a la remoción de partículas del agua, y como tal es parte integral del proceso de potabilización por membranas, correspondiendo a la ultrafiltración (mesoporos: 0.005-0.2 μ m) y nanofiltración (microporos: 0.001-0.1 μ m). Por tanto dicho estudio es necesario para la formación y conocimiento de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

El presente proyecto de graduación engloba la elaboración de Carbón Activado a partir de tres materiales precursores no convencionales: cascarilla de arroz, pepa de zapote y cáscara de plátano. Su preparación, activación y carbonización, así como los correspondientes ensayos del carbón fueron realizados en los laboratorios de mecánica de suelos y de ensayos de materiales de la facultad de ciencia de la tierra y de Mecánica respectivamente.

El dispositivo, empleado para medir las propiedades adsorbentes y la eficacia de los tres tipos de carbón activado desarrollados, se encuentra

instalado actualmente en el Laboratorio de Mecánica de suelos de la carrera de Ingeniería Civil de la ESPOL.

Debido a que estos medios filtrantes son experimentales y su creación es con fines pedagógicos, se escogió ponerlos a prueba con aguas contaminadas naturalmente del río Tenguel y del río Daule.

El carbón de la pepa de zapote fue la que mejor resultado tuvo de los tres carbonos elaborados, teniendo en su segundo lugar a la cascarilla de arroz que por no remover los coliformes totales no se la pudo considerar como la más óptima.

INDICE GENERAL

1.	CAPÍTULO 1	20
1.1	Antecedentes	20
1.2	Generalidades.....	22
1.3	Objetivos del proyecto	24
1.3.1	Objetivos General.....	24
1.3.2	Objetivos Específicos	25
1.4	Justificación.....	25
1.5	Alcance	26
1.6	Hipótesis	26
2.	CAPITULO II	27
2.1	Composición y estructura del carbón activado	27
2.1.1	Composición química	35
2.1.2	Composición física	35
2.2	Propiedades del carbón activado	36
2.3	Tipos de carbón activado	39
2.4	Importancia y uso del carbón activado	42
2.5	Fuentes convencionales de carbón activado.....	45
3.	CAPITULO III	47
3.1	Procedimiento para obtener carbón activado	47
3.1.1	Carbón activado obtenido de cáscara de plátano.....	49
3.1.2	Carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz.....	54
3.1.3	Carbón activado obtenido de zapote	56
3.2	Metodología para Ensayos de experimentación	58
3.2.1	Elaboración del Filtro	58
3.2.2	Selección de la muestra de agua a tratar.....	61
3.2.3	Análisis de muestra sin tratar y muestra tratada	62
3.3	Capacidad de adsorción	63
3.4	Medición de Remoción	67
3.5	Procesos de Regeneración	70

3.5.1	Reactivación o regeneración	70
3.5.2	Propiedades químicas y físicas de las sustancias absorbibles	72
3.5.3	Metodología de posibles procesos de regeneración	73
3.5.4	Reactivación térmica.....	74
3.5.5	Reactivación Química.....	76
3.5.6	Otras técnicas de regeneración	77
3.6	Saturación	77
4.	CAPITULO IV.....	81
4.1	Análisis de Resultados	81
4.1.1	Carbón activado de cáscara de plátano	82
4.1.2	Carbón activado de la cascarilla de arroz	88
4.1.3	Carbón Activado de zapote	93
4.1.4	Carbón convencional comercial.....	98
4.2	Comparación de resultados.....	100
4.2.1	Porcentajes de remoción.	104
4.2.2	Capacidades de Adsorción.....	120
5.	CAPITULO V.....	126
5.1	Conclusiones.....	126
5.2	Recomendaciones	129
	ANEXOS.....	130
	Bibliografía	172

INDICE DE FIGURAS

Figura 2–1 Sorción y adsorción	28
Figura 2–2. Representación de los poros de un carbón y clasificación de poros según el tamaño de su partícula.....	39
Figura 2–3 Microporos de carbón activado.....	40
Figura 2–4 Tipos de carbón activado.....	41
Figura 3–1. Diagrama de la activación química	49
Figura 3–2 Cáscara de plátano molida.....	49
Figura 3–3. Superficie cosechada (ha.) 2012.....	53
Figura 3–4. . Producción (TM) 2012.....	53
Figura 3–5 Cascarilla de arroz.....	54
Figura 3–6 Superficie cosechada (ha.) 2012.....	55
Figura 3–7 Producción (TM) 2012.....	56
Figura 3–8 Pepa de zapote molida	56
Figura 3–9 Materiales del filtro.....	58
Figura 3–10 Soporte del filtro.....	58

Figura 3–11 Filtro armado.....	59
Figura 3–12 Filtro para carbón activado	60
Figura 3–13 Irving Langmuir.....	65
Figura 3–14. Forma general de la Isoterma de Lagmuir.....	67
Figura 3–15. La temperatura vs PH	80
Figura 4–1. Curva granulométrica cáscara de plátano	83
Figura 4–2. Azul de metileno en cáscara de plátano	87
Figura 4–3. Curva granulométrica cascarilla de arroz.....	89
Figura 4–4. Azul de metileno en cascarilla de arroz.....	92
Figura 4–5. Curva granulométrica pepa de zapote	94
Figura 4–6. Azul de metileno en pepa de zapote.....	97
Figura 4–7. Isoterma de adsorción de Langmuir-Cáscara de plátano.....	121
Figura 4–8. Isoterma de adsorción de Langmuir-Cascarilla de arroz.....	122
Figura 4–9. Isoterma de adsorción de Langmuir-Pepa de zapote	123
Figura 4–10. Isoterma de adsorción de Langmuir-Carbón Convencional	125

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Facilidad de adsorción de algunos hidrocarburos	32
Tabla II. Ventajas y Desventajas del carbón activado.....	43
Tabla III. Clasificación de Metales y Compuestos Inorgánicos, según su potencial de adsorción sobre carbón activado.....	73
Tabla IV. Rendimiento cáscara de plátano	82
Tabla V. Granulometría cáscara de plátano	83
Tabla VI. Contenido de humedad cáscara de plátano	84
Tabla VII. Densidad aparente cáscara de plátano.....	84
Tabla VIII. Número de yodo cáscara de plátano.....	85
Tabla IX. Contenido de material volátil cáscara de plátano	85
Tabla X. Contenido de cenizas cáscara de plátano	86
Tabla XI. Rendimiento cascarilla de arroz.....	88
Tabla XII. Granulometría cascarilla de arroz	88
Tabla XIII. Contenido de humedad cascarilla de arroz	89
Tabla XIV. Densidad aparente cascarilla de arroz.....	90

Tabla XV. Número de yodo cascarilla de arroz.....	90
Tabla XVI. Contenido de material volátil cascarilla de arroz.....	91
Tabla XVII. Contenido de cenizas cascarilla de arroz.....	91
Tabla XVIII. Rendimiento pepa de zapote.....	93
Tabla XIX. Granulometría pepa de zapote.....	93
Tabla XX. Contenido de humedad pepa de zapote.....	94
Tabla XXI. Densidad aparente pepa de zapote	95
Tabla XXII. Número de yodo pepa de zapote.....	95
Tabla XXIII. Contenido de material volátil pepa de zapote.....	96
Tabla XXIV. Contenido de cenizas pepa de zapote	96
Tabla XXV. Propiedades del carbón NORIT GAC 830	99
Tabla XXVI. Principales parámetros con los que se especifica un carbón activado granular para el tratamiento de agua y normas de análisis.	100
Tabla XXVII. Resumen de parámetros del carbón activado ensayado	101
Tabla XXVIII. Parámetros analizados del agua al correr por el Carbón A de cáscara de plátano.....	104

Tabla XXIX. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón A.....	105
Tabla XXX. Parámetros Analizados del agua al correr por el Carbón B de cascarilla de arroz.....	106
Tabla XXXI. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón B.....	108
Tabla XXXII. Parámetros Analizados del agua al correr por el Carbón C de pepa de zapote	109
Tabla XXXIII. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón C.....	110
Tabla XXXIV. Parámetros Analizados del agua al correr por el Carbón D de convencional comercial.....	111
Tabla XXXV. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón D.....	113
Tabla XXXVI. Resumen de Parámetros Analizados del agua filtrada por varios tipos de Carbón Activado	115
Tabla XXXVII. Resumen de Parámetros Analizados del agua filtrada por varios tipos de Carbón Activado	118
Tabla XXXVIII. Datos Isotherma cáscara de plátano	120

Tabla XXXIX. Datos para realizar la Isoterma de Langmuir.....	120
Tabla XL. Datos Isoterma cascarilla de arroz.....	121
Tabla XLI. Datos para realizar la Isoterma de Langmuir	122
Tabla XLII. Datos Isoterma pepa de zapote	123
Tabla XLIII. Datos para realizar la Isoterma de Langmuir	123
Tabla XLIV. Datos	124
Tabla XLV. Datos para realizar la Isoterma de Langmuir	124

1. CAPÍTULO 1

1.1 Antecedentes

El carbón activado es considerado un absorbente creado a base de materiales carbonosos que tienen como características principales poseer una alta superficie interna, una excelente distribución de poros y una diversidad de grupos funcionales. Esto da como resultado la propiedad de poder atrapar una gran cantidad de moléculas.

El carbón activado es utilizado generalmente en la recuperación de solventes, control de olores, descontaminación de aguas, de coloración de licores, jugos, vinagres, respiradores de cartucho, purificación de aire comprimido (tanques de buceo y hospitales) etc. (SEVILLA, 2002)

En cuanto a su producción los carbones activados deben obtenerse de una materia prima con propiedades bien definidas como pueden ser la abundancia del material, la dureza, el alto contenido de carbono y el bajo contenido de ceniza. Esto se puede obtener de materiales orgánicos tales como la madera, huesos, endocarpio, cáscaras de semillas de frutos, breas, turba, etc. En la industria se ha incursionado con la generación del carbón activado a base de la corteza de cocos, pino seco, cáscaras de nuez, etc. Sin embargo, se puede llegar a obtener el carbón activado mediante otro medio no convencional, teniendo como ventaja que en nuestro país contamos con una diversidad de materia prima, que muchas veces es desechada y no se utiliza. (Bastidas, Buelvas, & Márquez, 2009)

La industria ecuatoriana no ha realizado una inclusión activa en la generación de carbón activado, pero con las nuevas políticas del gobierno en el desarrollo de la industria ecuatoriana, este tipo de investigaciones ayudaría en gran medida a mejorar la calidad de agua que la población consume. En la actualidad los hogares de nuestro país están implementando este tipo de filtros de agua para el consumo diario, teniendo en cuenta esta necesidad es nuestro deber como futuros Ingenieros de la República del Ecuador colaborar con el estudio de esta tecnología para el desarrollo de nuestra comunidad. (CORZO, 2004)

El tema de la contaminación, en general, nos permite indagar en los métodos más eficientes para contrarrestarla, en este caso la purificación del agua se vuelve un argumento indispensable en la vida cotidiana de los ciudadanos, por lo tanto la observación nos conlleva a pensar que en pocos años será común en cada hogar de nuestro país el uso de purificadores de diversos componentes, y entre ellos el principal es el carbón activado. (CORZO, 2004)

Todo esto nos lleva a visualizar la importancia del carbón activado en el futuro, por lo cual en esta tesis vamos a realizar el estudio de tres materiales diferentes, para obtener como resultado una fuente que nos permita obtener un carbón activado de buena calidad y que exista en abundancia en nuestro medio.

1.2 Generalidades

Con dificultad se puede saber cuándo se empezó a usar el carbón activado, pero el ser humano se dio cuenta que el carbón vegetal era un absorbente natural de malos olores y al pasar del tiempo el hombre descubrió que al quemar madera u otros materiales el carbón residual después de la combustión iba aumentando su capacidad de absorción, llegando al punto de convertirse en un excelente purificador de agua. (Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013)

Siguiendo la historia se dice que los hombres empezaron el uso de carbón activo generado de madera quemada para aplicaciones médicas y de purificadores de olores. Es así, como se encuentra en la ciudad de Tebas-Grecia un papiro del año 1550 antes de Cristo, en el cual se anota como una aplicación en la medicina. Después, en el año 400 antes de Cristo, Hipócrates se da cuenta que al filtrar el agua con el carbón activado se tiene como resultado la eliminación de malos olores, sabores y que era bueno para prevenir enfermedades. En los barcos Fenicios en el año 450 antes de Cristo se procedía a elaborar los barriles de madera que en su interior estaban un poco carbonizados los cuales contenían el suministro de agua para se mantuviese pura durante sus largas travesías marinas. Con el avanzar del tiempo se siguió investigando y en el siglo XVIII se descubrió que en los viajes transoceánicos el uso del carbón activado prolonga el suministro del agua ya que permite oxigenarla. Pero no fue hasta el año 1793 que el Doctor D.M. Kehl utilizó el carbón activo en fase gas para eliminar los olores procedentes por la gangrena y es el mismo doctor que recomendó usar el carbón activo en el proceso de filtración del agua. En el año de 1794 se efectúa la primera aplicación del carbón activo en la industria, en Inglaterra, usándolo como un agente desodorizante para la industria del azúcar. Pero esta metodología estuvo en secreto durante 18 años hasta que en 1812 se realizó la primera patente. (SEVILLA, 2002) (Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013)

La primera aplicación en mayor cantidad del carbón activo en fase gas fue en 1854, cuando se dio la ordenanza de instalar filtros de carbón activo fase gas en la ventilación de las cloacas de Londres. En 1872 se fabrican las primeras máscaras protectoras de olores con filtros de carbón activo, las cuales fueron inventadas para evitar que el personal inhalara vapores de mercurio.

En 1881 el físico Gustav Kayser dio a conocer el término adsorción para describir como el carbón activo podía atrapar los gases. Fue R. Von Ostrejko que realiza un estudio más detenido para los métodos de fabricación del carbón activo, el cual es muy parecido a los de la actualidad, entonces fue en 1901 que patentó dos métodos. El primero fue la activación química usando una sustancia deshidratante como es un ácido y el segundo fue la activación física usando vapor de agua para que active el carbón.

En la Primera Guerra Mundial por el uso de agentes químicos se vieron en la necesidad de usar el carbón activado como filtro en la creación de máscaras de gas. Con esto se dio inicio al estudio arduo de los beneficios del carbón activado en la industria de la actualidad. (SEVILLA, 2002).

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivos General

- Elaborar carbón activado a partir de tres materiales por el método de activación química.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar la obtención de carbón activo a partir de los desechos vegetales.
- Comparar y analizar las propiedades del carbón activado obtenido de los materiales: cáscara de plátano, cascarilla de arroz y pepa de zapote.
- Comparar los resultados de los análisis de capacidad de adsorción y porcentaje de remoción en muestras de agua del Río Daule y Río Tenguel.

1.4 Justificación

En el estudio de los diferentes métodos de purificación del agua potable se han determinado que los purificadores de agua que utilizan como materia prima el carbón activado son muy eficaces ya que su porosidad permite una mejor adsorción de las impurezas. Sus propiedades fisicoquímicas dependen de la materia prima y del proceso de activación que se utilice. Es así como su proceso de activación y la obtención de la materia prima sustentable se vuelve un estudio innovador que llega a satisfacer la necesidad primordial del ser humano, el cual es ingerir agua de buena calidad.

En la actualidad contamos con un proceso de abastecimiento de agua potable en todas las ciudades de nuestro país, la cual cumple con todas las normas requeridas por los organismos gubernamentales del estado.

A pesar de esto, en nuestra sociedad las familias ecuatorianas empiezan a generar una conciencia en el cuidado extra de la calidad del agua que está ingresando para las actividades cotidianas a sus hogares, y esto lo pueden obtener con la ayuda de purificadores que sean instalados en cada hogar, evitando de esta manera problemas medioambientales y mejoraron la salud de las personas.

Por lo cual es de gran ayuda que se realicen este tipo de investigaciones para encontrar materiales propios de la zona, novedosos, abundantes y económicos para la creación de carbón activado.

1.5 Alcance

El trabajo que se realizará a continuación corresponde a una investigación aplicada a la mejor remoción de contaminantes utilizando carbón activado. Dicho estudio requiere el análisis en laboratorio de los resultados de las muestras de agua potable y gasolina utilizadas para la comprobación de la remoción de las impurezas, sólidos totales.

Además el análisis de las propiedades del carbón activado en los tres materiales usados para compararlos con un carbón activado de la industria.

1.6 Hipótesis

El uso de materiales poco convencionales para la elaboración del carbón activado tendrá un buen desempeño en la purificación del agua que se tratará en el estudio.

2. CAPITULO II

2.1 Composición y estructura del carbón activado

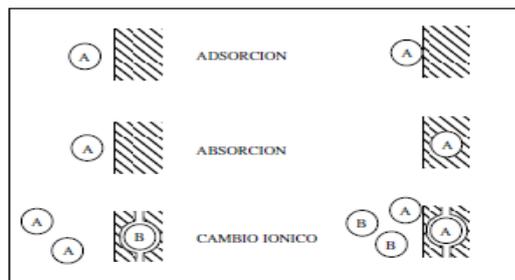
Para comprender porque el carbón activado es un medio filtrante tan útil en el empleo e incorporación de los procesos de descontaminación de líquidos y gases es preciso estudiar la composición y estructura del mismo, y es aquí donde tiene importancia el proceso de sorción que el carbón activado realiza.

La sorción es un proceso que incluye la adsorción y la absorción. Se refiere al movimiento de un componente de una fase para acumularse en otra mediante adsorción y la absorción. La sorción se puede definir como la concentración o movimiento de contaminantes de una fase a otra (Jairo Alberto Romero Rojas, 2006). Los procesos de sorción son muy importantes en el tratamiento de aguas por su aplicación a la remoción de diferentes contaminantes,

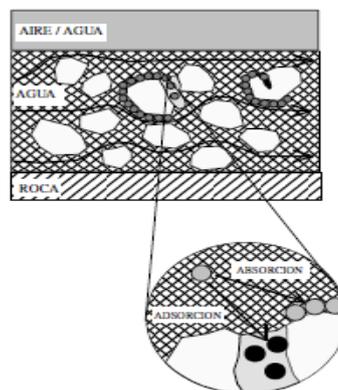
La absorción es un proceso en el cual las moléculas de un fluido penetran entre las de otro material absorbente, líquido o sólido, para acumularse dentro de éste. La absorción supone la partición de un contaminante de una fase en otra,

como sucede cuando el oxígeno atmosférico se disuelve en el agua o como las grasas y aceites se disuelven o absorben en el hexano o freón.

La adsorción, fenómeno que ocurre cuando moléculas en solución golpean la superficie de un sólido adsorbente y son adheridas a su superficie, es el proceso por el cual moléculas de un fluido son concentradas sobre la superficie de otra fase mediante fuerzas químicas o físicas o por ambas (Excellence, 2010). El material concentrado constituye el adsorbato y el material que adsorbe es el adsorbente.



Diferentes procesos de sorción (Appelo and Postma, 1993)



Representación esquemática de los procesos de adsorción

Figura 2-1 Sorción y adsorción
Fuente: Appelo and Postma, 2011

La adsorción supone la acumulación del adsorbato sobre una superficie o interfaz. El proceso puede ocurrir en la interfaz entre materiales de tipo líquido – líquido, gas – líquido, gas – sólido o líquido – sólido (Gunt Hamburg). El descubrimiento del fenómeno de adsorción sobre carbón lo hizo Scheele en 1773. La adsorción de contaminantes, sobre carbón activado, se usa mucho en el tratamiento de aguas y en la purificación del aire, con aplicación rutinaria en los últimos 65 años.

En general, existen tres tipos de adsorción: física, química y de intercambio. La adsorción física no es específica y se debe a la acción de fuerzas débiles de atracción entre moléculas como las de fuerzas de Van der Waals; en tal caso, la molécula adsorbida tiene movimiento libre sobre la superficie del sólido adsorbente y no está unida a un sitio específico; puede condensarse y formar varias capas superpuestas sobre la superficie del adsorbente; generalmente es reversible. La adsorción química se debe a fuerzas mucho más fuertes, como las que conducen a la formación de compuestos químicos; el compuesto adsorbido forma una capa mono molecular sobre la superficie del adsorbente y las moléculas no son libres de moverse de un sitio a otro; cuando la superficie está prácticamente agotada (Jairo Alberto Romero Rojas, 2006). La adsorción química no es, generalmente, reversible y para remover el material adsorbido se debe calentar el adsorbente.

La adsorción de intercambio se usa para describir la adsorción debida a la atracción eléctrica entre el adsorbato y la superficie del adsorbente, como

ocurre en el intercambio iónico. Los iones de un contaminante se concentran sobre sitios de carga eléctrica opuesta sobre la superficie del adsorbente. A mayor carga eléctrica del ion, mayor atracción; así mismo, a menor tamaño del ion, mayor atracción.

La mayoría de los fenómenos de adsorción se deben a una combinación de las fuerzas mencionadas previamente. Sin embargo, como la adsorción es un fenómeno superficial, su tasa y magnitud son función del área superficial de los sólidos usados como adsorbentes (Appelo and Postma, 2011). El sólido adsorbente debe ser de tamaño muy pequeño y con gran porosidad; mientras más pequeña sea una partícula, más grande es su área superficial; sin embargo, la configuración también es importante por su efecto sobre el área superficial. Otros factores de influencia son la naturaleza y composición del adsorbato, el pH, la temperatura y la forma y período de contacto.

Al ser el carbón activado un material con propiedades adsorptivas; este remueve contaminantes orgánicos del agua por el proceso de adsorción, atrayendo y acumulando el adsorbato sobre su superficie. El carbón activado es un material carbonáceo sujeto a oxidación selectiva para producir una estructura altamente porosa y para proveer una inmensa área superficial.

El carbón activado presenta una red o estructura interna de poros, con diámetro de poros entre 10^{-7} y 10^{-5} cm. (M. Simón, 2006). Por tanto poseen áreas superficiales de 500 a 1.500 metros cuadrados por cada gramo de carbón (72), granular.

El área superficial es el área total calculada por la ecuación de Brunauer, Emmett y Teller, a partir de datos de adsorción de nitrógeno obtenidos en un ensayo estándar.

Por esta razón, el carbón activado tiene un área superficial muy grande; por ejemplo, 500g de carbón tienen un área superficial de aproximadamente 0.6km², 60 hectáreas, la cual puede atrapar 0.25kg de tetracloruro de carbono.

En general todos los átomos de carbón, en la superficie de un cristal, son capaces de atraer moléculas de diferentes compuestos que producen color, olor o sabor indeseables; ahora la distinción entre un carbón activado y otro es en cuanto a la cantidad de átomos disponibles en su superficie para ejecutar la adsorción (Bansal, 1988). En resumen, la activación de cualquier carbón consiste en multiplicar el área superficial, instituyendo una estructura porosa de gran envergadura.

Para tener más clara la magnitud de la misma, empléese un gramo de carbón sólido, que al ser molido finamente presenta una superficie de alrededor de 4 metros cuadrados, valor que se logra al multiplicar de 200 a 300 veces al activar dicho carbón. (SEVILLA, 2002)

Por tanto, cuando se desea remover algún contaminante orgánico que cause color, olor o sabor desagradable, habitualmente la adsorción que nos brinda el carbón activado es la técnica más práctica, sencilla y económica.

De acuerdo con su forma física, el carbón activado se clasifica como carbón en polvo y carbón granular. El análisis granulométrico, expresado como

el porcentaje que pasa diferentes tamices, es importante porque la tasa de adsorción se incrementa a medida que el tamaño de partículas disminuye. Algunos resultados de adsorción de diferentes compuestos orgánicos sobre carbón activado se incluyen en el siguiente cuadro.

Compuestos	Masa Molecular	Adsorbilidad, g. compuesto g. carbón	Observaciones
ALCOHOLES			
Metanol	32.0	0.007	Compuestos altamente polares, muy solubles y, por tanto, difíciles de adsorber. La polaridad disminuye con el aumento de masa molecular; por ende, la adsorbilidad aumenta con el incremento en masa molecular.
Etanol	46.1	0.020	
Propanol	60.1	0.038	
Butanol	74.1	0.107	
n-amil-alcohol	88.2	0.155	
n-hexanol	102.2	0.191	
ALDEHIDOS			
Formaldehído	30.0	0.018	Compuestos de polaridad alta. La polaridad disminuye con el aumento de masa molecular; por tanto, la adsorbilidad aumenta con el incremento en masa molecular.
Acetaldehídos	44.1	0.022	
Propionaldehido	58.1	0.057	
Butinaldehído	72.1	0.106	
AMINAS			
Di-N-propilamina	101.2	0.174	La adsorbilidad está limitada por la polaridad y la solubilidad.
Butilamina	73.1	0.103	
Di-N-butilamina	129.3	0.174	
Alilamina	57.1	0.063	
Etilenodiamina	60.1	0.021	
Dietilenotriamina	103.2	0.062	
AROMATICOS			
Benceno	78.1	0.080	Su baja polaridad y baja solubilidad los hace fácilmente removibles por adsorción sobre carbón activado.
Tolueno	92.1	0.050	
Etilbenceno	106.2	0.019	
Fenol	94.0	0.161	
Hidroquinona	110.1	0.167	
Anilina	93.1	0.150	
GLICOLES			
Glicol etileno	62.1	0.014	Son de naturaleza hidrofílica y, por esto, difícilmente de adsorber.
Glicol dietileno	106.1	0.053	
Glicol trietileno	150.2	0.105	
Glicol tetraetileno	194.2	0.116	
Glicol propileno	76.1	0.024	

Tabla I. Facilidad de adsorción de algunos hidrocarburos
Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2006

Ciertos compuestos orgánicos de efecto adverso sobre la salud pueden removerse mediante adsorción sobre carbón activado, mientras que metales como el mercurio, el arsénico y el plomo pueden removerse con carbón activado granular (CAG). (Jairo Alberto Romero Rojas, 2006)

La eficacia del carbón activado, en los procesos de adsorción, es dada principalmente por:

- La procedencia de la materia prima y el proceso de activación empleado en la generación del carbón activado; también hay dos características principales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: su alta capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención (Obtención de Carbón Activado a partir de desechos agroindustriales como es el zuro de maíz, 2006).
- La alta capacidad de eliminación de sustancias se fundamenta en la gran superficie interna que posee, ya que su porosidad y distribución de tamaños les concede dicha facultad. En detalle, los microporos les dan una gran superficie y son capaces de retener sustancias, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser coloides o colorantes, y favorecer el pronto acceso de las moléculas a la superficie interna del sólido.

Sin embargo, el carbón activado posee una escasa área superficial ante un proceso de retención, por ser un adsorbente universal. Por otra parte, por las fuerzas implícitas en el proceso de adsorción, retendrá particularmente moléculas apolares y con alto volumen molecular como lo son los hidrocarburos, colorantes, etc. A diferencia de moléculas como nitrógeno, oxígeno y agua que prácticamente no son retenidas a temperatura ambiente. Por ello que más de 190.000 toneladas al año (de las 375.000 producidas) se emplean en la eliminación de contaminantes procedentes de diversas zonas, tanto en fase gaseosa (como el dióxido de azufre y los vapores de gasolina), como la fase líquida (agua potable, tintorerías, industriales y residuales) (Reinoso, 2002).

Las propiedades de adsorción de estos carbonos dependen del tipo de activación y cuántos y cómo son los poros. Debido a que los elementos polares se detienen débilmente en la superficie (apolar) del carbón. En estos procesos se eleva la afinidad de las sustancias polares con la fijación al carbono de "heteroátomos", especialmente oxígeno e hidrógeno; formando grupos funcionales tipo ácido carboxílico, lactosas, carbonilo, etc., imprimiéndose un carácter ácido-base al carbón.

En este punto es importante aclarar la diferencia entre los tipos de carbón, debiéndose esta a la estructura o arreglo de sus átomos. En particular la estructura del carbón activado se encuentra arreglada en forma de placas graníticas, cuyas separaciones y orientaciones son diversas. (SEVILLA, 2002)

2.1.1 Composición química

La idea de carbón activado otorga un amplio rango de materiales que se diferencian particularmente en las dimensiones granulométricas y en su estructura interna (poros y superficie específica).

La composición química del carbón activado es aproximadamente de un 70-80% de C, del 5 al 10% de cenizas, del 60% de oxígeno y 0,5% en hidrógeno. Dicha composición química del carbón activo es prácticamente pura, al igual que lo es el grafito, el diamante y los diversos carbones minerales o de leña.). (Perdomo, 2011)

Todos ellos tienen la propiedad de adsorber, la misma que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que se encuentran contenidas en un medio líquido o gaseoso.

2.1.2 Composición física

El carbón activado posee una estructura microcristalina que es en gran medida similar a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbono activado da razón a una distribución de poros de tamaños bien determinados. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio: macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm). (Perdomo, 2011)

2.2 Propiedades del carbón activado

Las propiedades más notables en el carbón activado son su eficacia de purificación de líquidos y gases. Desde el inicio de los tiempos los pobladores egipcios descubrieron que el carbón de madera, preparado a partir de madera carbonizada (carbón vegetal), podía emplearse para procesos de purificación o con fines medicinales. En la actualidad se encuentran presentes varias aplicaciones de este material, desde tan sencillas como filtros de refrigerador o peceras, hasta sistemas industriales íntegros como recientes plantas de tratamiento de aguas residuales o sofisticados sistemas de elaboración de antibióticos.

Las características principales del carbón activado son básicamente dos: elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención.

Su alta capacidad de absorción se debe a la gran superficie interna que posee, aunque la porosidad y el tamaño de los poros también son relevantes. Lo más común es que los poros le dan al material una gran superficie y una muy alta capacidad para retener, además son muy necesarios para filtrar moléculas de un elevado tamaño. (Reinoso, 2002)

El carbón activado es un alto y muy eficaz adsorbente, no obstante por su naturaleza retendrá con más facilidad moléculas con alto volumen como colorante e hidrocarburos.

Las propiedades de un carbón activado no dependen exclusivamente de la superficie y de la porosidad.

Cuando el producto a eliminar tiene una alta polaridad, tiene bajo volumen molecular y está muy disuelta en el aire, la retención por el carbón activado solo tiene efectividad si se asocia con reactivos específicos o se pueden aprovechar las propiedades catalíticas del mismo carbón. De esta forma, después de la adsorción ocurren reacciones químicas que transforman los productos tóxicos que luego quedan retenidos en los poros del carbón. (Reinoso, 2002)

Entre las propiedades del carbón activado que vamos a utilizar para caracterizar y medir el mejor desempeño del mismo podemos citar:

- **Número de Yodo:** El número de Yodo es un parámetro esencial que se utiliza para identificar el desempeño del carbón activado. Este cuantifica la porosidad por la absorción del yodo en disolución si el número es más alto el grado de activación del carbón es más alto. (Quisertec, 2002)
- **Azul de metileno:** Es un parámetro rápido para conocer la capacidad de absorción del carbón activado frente a moléculas grandes.
- **Área de superficie:** Es la extensión de la superficie de los poros desarrollada dentro de la matriz del carbón activado y mide la capacidad de absorción. Se mide usando nitrógeno (N₂). Es el indicador primario del nivel de actividad, asumiendo que a mayor área superficial, mayor número de puntos de adsorción disponibles.

- **Densidad Aparente:** Entre mayor sea la densidad indica generalmente mejor calidad del carbón activado.
- **Tamaño de partícula:** Entre más pequeño, proporciona una tasa más rápida de absorción que reduce la cantidad de tiempo de contacto requerido. Entre más pequeña, tiende a caer más rápido la presión.
- **Dureza y Abrasión:** Se refiere a la resistencia que tiene el material al desgaste.
- **Valor de decolorización:** Es la eficiencia que tiene el carbón activado para decolorar.
- **Contenido de Cenizas:** El contenido de cenizas corresponde al porcentaje de residuo que queda al terminar con el análisis. Este reduce la activación general del Carbón activado Reduce la eficiencia de reactivación (Quisertec, 2002)
Parámetros de absorción del carbón activado
- **Capacidad:** Los parámetros de la capacidad, determinan características de carga del carbón activado.
- **Tamaño del poro:** La distribución correcta del tamaño de poro, es necesaria para facilitar el proceso de absorción proporcionando absorción a los sitios y canales apropiados para transportar el absorbente.
- **Temperatura:** Las temperaturas más elevadas, disminuyen la capacidad de absorción del material.
- **Ph:** La capacidad de Absorción aumenta bajo condiciones de pH, que disminuye la solubilidad del absorbente (pH normalmente más bajo).

- **Tiempo de contacto:** El tiempo suficiente de contacto se requiere para alcanzar el equilibrio de absorción y para llevar al máximo la eficiencia de absorción. (Quisertec, 2002)

2.3 Tipos de carbón activado

El carbón activado tiene una estructura molecular parecida a la del grafito. Esto da una distribución de poros bien determinada. De acuerdo a su tamaño los poros del carbón activado se divide en tres:

- Microporos
- Poros medios o mesoporos
- Macroporos

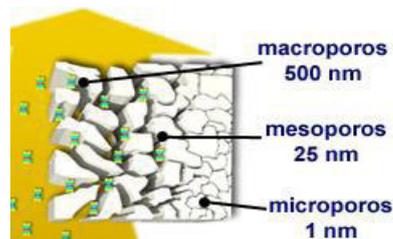


Figura 2–2. Representación de los poros de un carbón y clasificación de poros según el tamaño de su partícula.

Fuente: Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013

La distribución del tamaño de los poros en el carbón activado depende de 3 factores fundamentales los cuales son:

La materia prima, el proceso de activación y la duración del proceso.

(Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013)

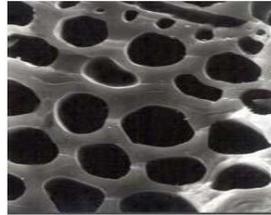


Figura 2–3 Microporos de carbón activado.
Fuente: Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013

Los carbones activados según el tamaño de sus partículas pueden clasificarse en Carbón Activado en polvo (CAP) y carbón activado granular (CAG). Los CAP tienen tamaños menores a 100 μm , los tamaños típicos fluctúan entre 15 y 25 μm . Los CAG tienen un tamaño entre 1 y 5 mm. Los CAG se dividen en dos clases:

- (1) carbón activado sin forma y
- (2) carbón activado con forma específica.

Los carbones sin forma se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de trozos más grandes. Los carbones conformados se pueden obtener por extrusión de carbón en polvo luego de ser mezclado con diferentes tipos de aglomerantes. Existen otras formas de carbón, como las fibras, las telas y los filtros de carbón activado, las membranas de carbón, etc. (Menéndez Díaz, 2006)



Figura 2-4 Tipos de carbón activado.
Fuente: Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013

La forma de un carbón activado puede ser en forma de gránulos o forma de polvo. El carbón activado en polvo se utiliza en la purificación de líquidos, el carbón se prepara de manera de disolución y luego se agita, al final se prepara el líquido por medio de un filtro adecuado para retener partículas pequeñas. Para el carbón granular depende de los diferentes rangos de partículas que se puede tamizar según el número de la malla. La malla 4 se aplica en la purificación de líquidos y de gases. Los pellets se aplican en el tratamiento de gases ya que su forma cilíndrica hace que haya una menor pérdida de presión.

En el caso de que se desee un carbón de forma granular o si la materia de origen no es dura, se podría aglomerar o juntar con un agente ligante que le

proporciona dureza para evitar que se corte el paso del fluido. (Carbotecnia, 2010)

2.4 Importancia y uso del carbón activado

El carbón activado se denomina un absorbente debido a su gran capacidad de absorción de sólidos, vapores y gases. Por tal motivo puede usarse en tecnologías actuales o futuras para satisfacer cualquier necesidad según lo demandado por las industrias alimenticias, químicas, petroquímicas, azucarera y farmacéutica, etc. (Luna, González, Gordo, & Martín, 2007)

Siendo una tecnología implementada en la actualidad en las diferencias industrias su importancia radica en ser un proceso eficaz y eficiente en remoción de contaminantes que puede ser llevado a cualquier parte sólo utilizando una correcta instalación en la red de agua, gas o vapor que se la desee ubicar. (Zibettia, Beniteza, & Calandri)

La utilización de carbón activo ya sea granular o polvo, es dependiente de la operación a realizar. A continuación se muestra una tabla que nos da a conocer las ventajas y desventajas según el tipo de carbón activado

CARBÓN ACTIVADO GRANULAR		CARBÓN ACTIVADO PULVERIZADO	
VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
Es empleado para la eliminación entre el 80 y 98 % de la contaminación inicial. Quiere decir que puede remover en mayor porcentaje al carbón activado en polvo.	Depende de la variación en la concentración del contaminante para su correcta absorción. Unos contaminantes pueden fijarse en mayores cantidades que otros y otros contaminantes pueden desplazar a otros ya adsorbidos esto es llamado desorción.	Según el contaminante a remover se puede escoger la dosis a usar para la eliminación de dicho contaminante.	La dosis de carbono depende la concentración de equilibrio del contaminante residual en el agua. Está involucrada con la pendiente de la isoterma y el porcentaje de remoción del contaminante.
Se puede aprovechar el producto por su propiedad de regeneración	Puede ser posible la formación de microorganismos en los lechos de carbón activo,	La instalación del carbón activo en polvo es simple, y similar a otros productos que se emplean en el tratamiento del agua.	Puede ser posible la formación de microorganismos en los lechos de carbón activo,
	Necesita instalaciones con estructuras más complejas y de mayor costo inicial.	Mayor Disponibilidad.	La regeneración es más compleja-

Tabla II. Ventajas y Desventajas del carbón activado
Fuente: Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013

Las aplicaciones más relevantes del carbón activado se basan en sus buenas propiedades absorbentes, su alta superficie y porosidad.

Tales características da como resultado que el carbón activado sea utilizado principalmente para eliminar contaminantes del agua aire y otros líquidos, los contaminantes presentes que son retenidos por el carbón activado de manera más eficaz son: (Rodríguez Vidal, 2003)

- Contaminantes orgánicos: colorantes y compuestos coloreados, gran cantidad de compuestos aromáticos (derivados bencénicos, fenoles,

compuestos aromáticos nitrados, etc.), pesticidas, diversos macromoléculas orgánicas (sustancias húmicas, etc.).

- Contaminantes inorgánicos: ácido hipocloroso y cloro, amoníaco, cloruro de mercurio (II), cianuros, dicromatos, yodo, permanganatos, etc.

Como se puede apreciar el carbón activado puede eliminar una gran cantidad de contaminantes presentes en los medios mencionados las aplicaciones que se le da son variadas: recuperación de disolventes, desodorización del aire, mascarillas de protección, eliminación de cianuro y cromo , tratamiento de agua potable, tratamiento de aguas residuales sobre todo en la etapa de limpieza final cuando los demás procesos no han demostrado la eficacia requerida en los tratamientos, etc. (Rodríguez Vidal, 2003)

Todos los sólidos tienen propiedades, a la propiedad de adherir una molécula que fluye a sus paredes se le llama “adsorción”. Es llamado “adsorbente” el sólido y la molécula, “adsorbato”.

Después de la filtración el proceso más utilizado es el uso del carbón activado en la purificación. Entre las utilidades del carbón activado están:

- Potabilización de agua (retiene plaguicidas, sustancias aceitosas o grasosas, detergentes, productos de desinfección, toxinas, colorantes, sustancias producidas por la descomposición productos alimenticios o de desechos de animales.

- Purificación de aire y deodorización (recirculación de aire en lugares públicos, ventilación en drenajes y plantas de tratamiento de agua, lugares de aplicación de pinturas, lugares que almacenan y aplican solventes...
- Tratamiento de personas con intoxicación (el carbón activado se considera el “antídoto más universal”, y se aplica en hospitales).
- Refinación de azúcar (el objetivo es evitar que el azúcar se fermente)
- Decoloración de aceites vegetales.
- Decoloración y deodorización de bebidas alcohólicas (como vinos de uva y destilados de cualquier origen).
- Recuperación de oro (el oro que no se puede separar de los minerales por los procesos de flotación, se disuelve en cianuro de sodio y se adsorbe en carbón activado). (Carbotecnia, 2010)

2.5 Fuentes convencionales de carbón activado

Generalmente, podría obtenerse carbón activado de cualquier partícula que está conformada de carbón. Aunque si las partículas de carbón están muy ordenadas como es el caso del diamante, es más difícil eliminar algunos átomos de carbono para generar espacios vacíos y poros. (Carbotecnia, 2010)

Es una manera de clasificar los carbones según el ordenamiento de sus átomos. A medida de que el carbón es menos ordenado, el carbón es menos duro y puede activarse con mayor efectividad y facilidad. (Carbotecnia, 2010)

Entre las materias primas más utilizadas para fabricar el carbón activado tenemos las maderas poco duras como las maderas de pino, los carbones minerales y cáscaras de vegetales o semillas de frutas, cáscara de coco, semillas de aceitunas, cáscara de nuez, etc. (Carbotecnia, 2010)

Los carbones activados que se fabrican teniendo como materia residuos de frutas, maderas semi-duras, etc. (Carbotecnia, 2010)

Los carbones activado generados a partir de carbones minerales tiene en su distribución de poros una amplia gama, esto ayuda para retener compuestos de distintos tamaños moleculares. La materia prima proveniente de cáscaras o huesos duros, forman poros pequeños, y se los pueden aplicar en el tratamiento potabilización de aguas que provienen de pozos y de gases. (Carbotecnia, 2010)

Hay diferentes tipos de materias primas utilizadas tales como los desechos agroindustriales, tales como carozos de frutas, cáscaras de nueces, aserrín, bagazo de caña de azúcar, y cortezas de algunas especies de crecimiento rápido. (Bahrton, A. , 1998)

3. CAPITULO III

3.1 Procedimiento para obtener carbón activado

El proceso de activación es desarrollado en una sola etapa, calentando la materia prima junto al agente químico a temperatura atmosférica inerte. La sustancia activadora que se empleará en esta investigación es ácido fosfórico al 40% (H₃PO₄). (Luna, González, Gordo, & Martín, 2007)

La aparición de la porosidad en el carbón activado es conseguida mediante la generación de la deshidratación química, la cual tiene lugar con bajas temperaturas. (Luna, González, Gordo, & Martín, 2007)

En esta fase el carbón absorbe el agente químico (ácido fosfórico) y después de su absorción se lo calienta en una mufla a 500 °C. El ácido fosfórico

reduce la formación de materia volátil y alquitranes. Luego lava el carbón resultante para eliminar los restos del agente químico usado.

A continuación se describe el procedimiento para la obtención del carbón activado.

Molienda y clasificación de la materia prima.

1. La proporción de ácido fosfórico puede ser en razón de 1:2. Se adiciona 300gr de la materia prima con 600ml de ácido fosfórico al 40%.
2. Se deja en contacto 24 horas.
3. Se lleva el material a una mufla a 500°C por 1 hora.
4. Se deja enfriar el material hasta que llegue a temperatura ambiente.
5. Se lava varias veces con agua destilada caliente a 70 u 80 °C y 0.1 mol/L de hidróxido de sodio NaOH.
6. Con esto se debe ajustar el pH entre 4.
7. Después se debe colocar el carbón activado a 110°C en una estufa por un lapso de 48horas, para remover toda la humedad.
8. Se procede a pulverizar el material y se lo almacena. (Solís, Morales, & Ayala, 2012)

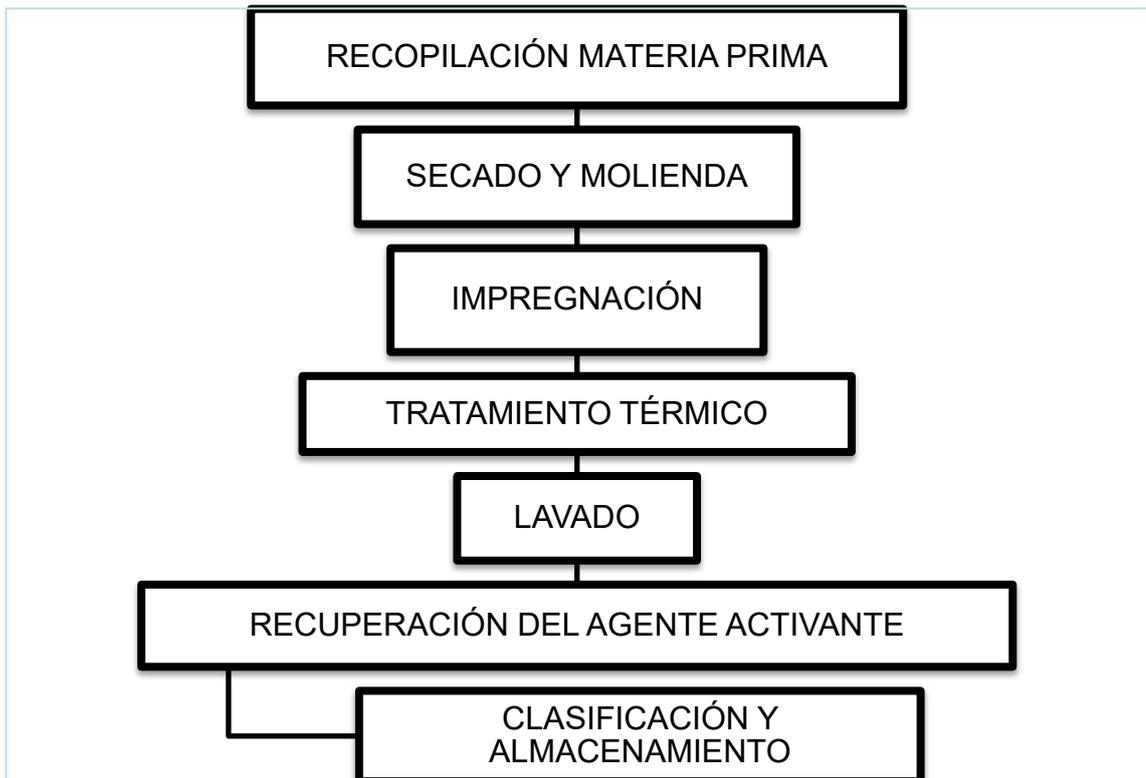


Figura 3–1. Diagrama de la activación química

Fuente: Autores

3.1.1 Carbón activado obtenido de cáscara de plátano



Figura 3–2 Cáscara de plátano molida

Fuente: Autores

La cáscara de plátano es una de las frutas más cultivadas en el Ecuador. Es fácil de transportar, de almacenar, de comer y de desechar además de ser una fruta barata; no necesita refrigerarse ni se necesita usar utensilios. Su nombre científico es Musaceae y también es conocido como banana, banano, guineo, topocho y cambur. Existen 41 especies distintas de plátanos. (INEC, 2012)

Además cada parte de la planta de plátano tiene diferentes aplicaciones. Las hojas, por ejemplo, pueden servir en recetas de cocina, así como para hacer infusiones.

Las propiedades del plátano son diversas, contiene diversas vitaminas como vitamina C, A, B6 y B9 (ácido fólico), minerales como potasio, fósforo, magnesio, calcio, zinc y hierro.

Entre los beneficios del plátano se puede mencionar que es un relajante estomacal, y favorece la digestión por su contenido de fibra.

El plátano fortalece la salud de los riñones y los huesos. Puede curar úlceras gástricas, ayudar a regular la presión arterial y también el estado de ánimo.

Algunas de las propiedades de la cáscara del plátano mejoran la apariencia de la piel.

Según los medios brasileños cuando se secan y se muelen en un polvo, las cáscaras de plátano tienen la capacidad de limpiar las aguas contaminadas con metales pesados de una manera eficaz y barata.

El método brasileño se aprovecha para la limpieza de uno de los principios básicos de la química: los opuestos se atraen. En la cáscara de plátano existen un gran número de moléculas con carga negativa. Estas moléculas tienen un gran poder de atracción sobre la carga positiva de los metales pesados.

La preparación del producto también es muy sencilla: las cáscaras de plátano se colocan en bandejas y se secan al sol durante casi una semana. Este material es luego triturado y se pasa por un tamiz especial para asegurar que las partículas son uniformes. El resultado es un polvo fino que se añade al agua contaminada en una proporción de 5 mg de polvo de plátano por cada 100 ml de agua contaminada. (INEC, 2012)

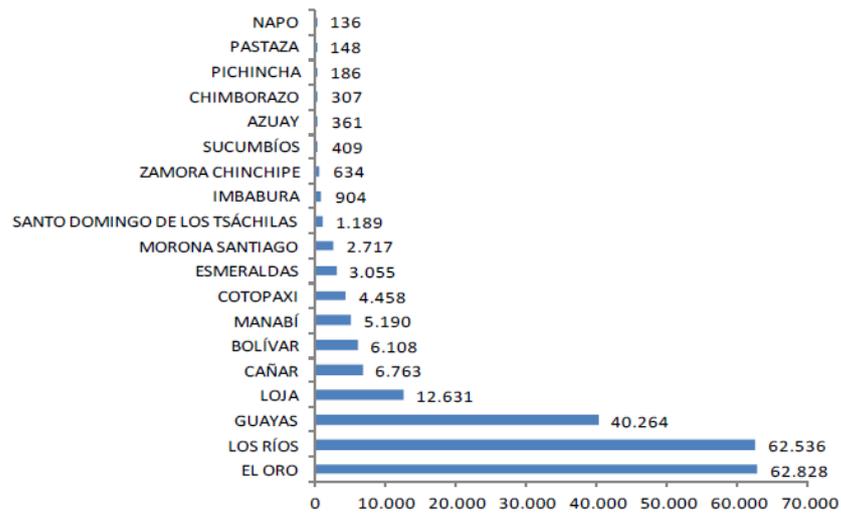
En el laboratorio, la tasa de descontaminación que han conseguido es de por lo menos el 65% y con una sola vez que el agua se pasó por el proceso. Es decir, si se pudiera pasar esta agua varias veces más sería posible purificar el agua casi por completo. Los investigadores utilizaron uranio para las pruebas, pero afirman que el método también es eficaz con otros metales utilizados ampliamente en la industria como el cadmio, el plomo o el níquel.

Según la doctora en Química que realizó el descubrimiento, como parte de su tesis doctoral, sólo en el Gran Sao Paulo se tiran a la basura cerca de cuatro toneladas de cáscaras de plátano a la semana. Y eso es sólo en los restaurantes. Conociendo que este producto tiene un alto potencial como

descontaminante, sería muy sencillo convencer tanto a las empresas de alimentos como a los restaurantes para que donaran sus sobras de plátanos.

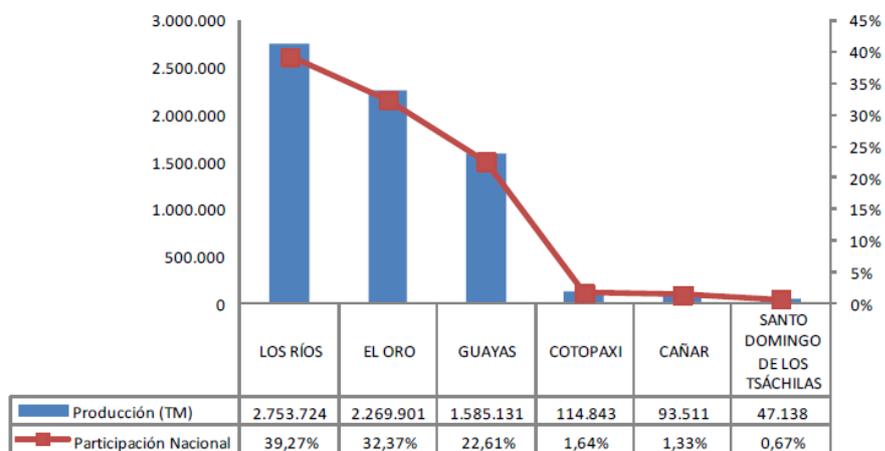
Así podrían participar activamente en descontaminar el agua que luego beberán sus clientes y que luego llegará a los productos que presentan en sus mesas.

En el Ecuador la superficie cosechada de banano ha mantenido una tendencia a la baja con una tasa media de crecimiento de -0,66% entre el 2005 y 2012. Durante el 2012 se observa un crecimiento de 9,86%, es decir, aproximadamente 18.921 ha; a pesar de lo anterior, la producción presenta una tasa promedio de crecimiento de 1,92% entre 2005 y 2012. En 2012 se produjo una reducción de 5,59% respecto del año anterior. El rendimiento promedio anual de producción por hectáreas es de 32,81 toneladas durante el periodo 2005-2012. El banano de exportación está localizado principalmente en la Región Costa. En 2012 las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas sumaron el 78,54% de la superficie total cosechada de éste producto. Se observa que la provincia de El Oro, es la que más se dedica al cultivo de banano, con una participación del 29,79% y una producción de 32,37% de las toneladas métricas de banano cosechadas en 2012 a nivel nacional. Las siguientes provincias en importancia son Los Ríos y Guayas con el 29,65% y 19,09% de la superficie cosechada respectivamente. Estas a su vez, concentran el 39,27% y 22,61% del total toneladas métricas de banano producido. (INEC, 2012)



Fuente: ESPAC 2012
 Elaborado por: INEC – Unidad de Estadísticas Agropecuarias

Figura 3–3. Superficie cosechada (ha.) 2012



Fuente: ESPAC 2012
 Elaborado por: INEC – Unidad de Estadísticas Agropecuarias

Figura 3–4. . Producción (TM) 2012

3.1.2 Carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz



Figura 3–5 Cascarilla de arroz

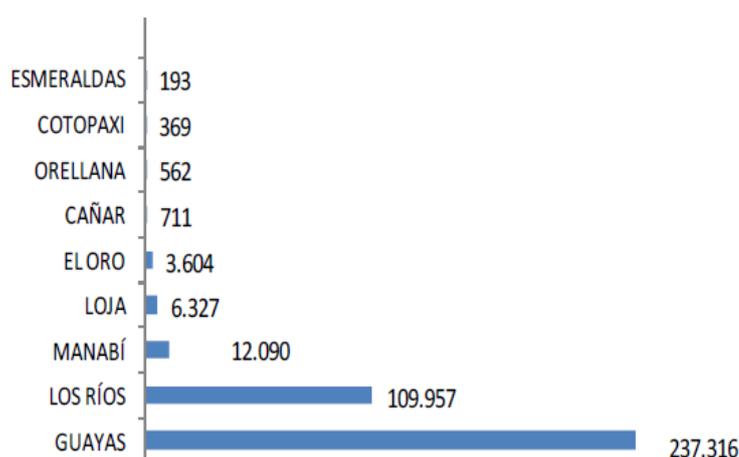
Fuente: Autores

La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial, el cual ha encontrado diversas aplicaciones en diferentes campos para generar materiales adsorbentes que pueden ser usados en efluentes industriales. En el presente estudio se preparó carbón activado en base a la cascarilla de arroz activada con ácido fosfórico al 40%. (RODRÍGUEZ, SALINAS, RÍOS, & VARGAS, 2012)

La cascarilla de arroz se la puede encontrar en abundancia en nuestro país ya que es un sub-producto de la industria molinera ecuatoriana. Se ha demostrado que por cada unidad de grano seco de arroz se produce una cantidad igual de tamo o residuo. Además este sub-producto tiene como propiedades físico – químicas ser un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, puede ser usado como sustrato hidropónico y tiene buena aireación. (INEC, 2012)

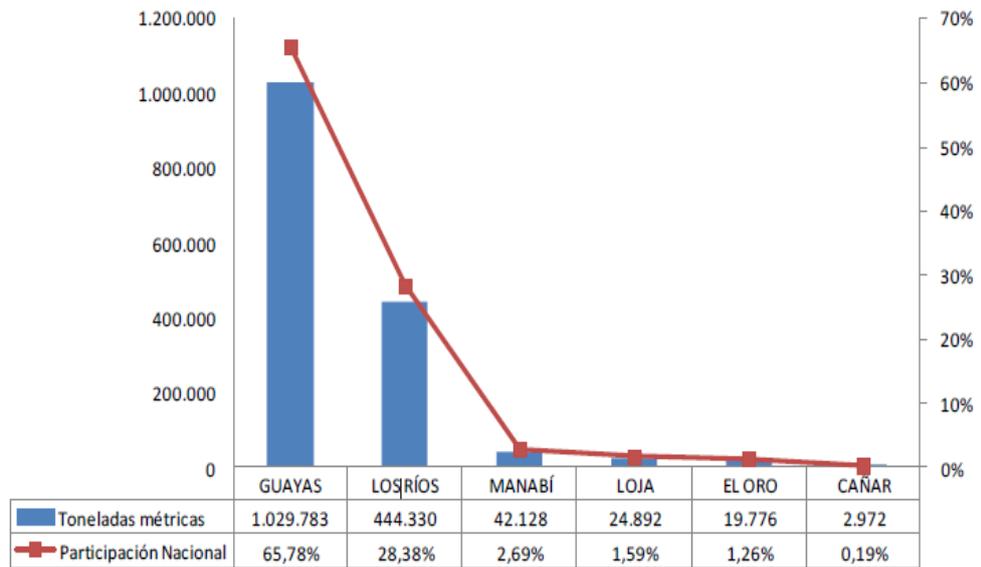
En el presente trabajo se describe un procedimiento que sirve para generar carbón activado a base de la cascarilla del arroz.

Según las estadísticas del INEC la superficie cosechada de arroz ha sido variable entre 2005 y 2012, en promedio su tasa de crecimiento fue de -1,00%. En el 2012 se observa un crecimiento de 12,49%. El cultivo de arroz está localizado principalmente en la Región Costa. En el 2012 las provincias del Guayas y Los Ríos sumaron el 93,56% de la superficie total cosechada de este producto. Se observa que la provincia del Guayas, es la que más se dedica al cultivo de arroz, con una participación del 63,94% a nivel nacional en superficie cosechada, de igual forma su producción es superior representando el 65,78% de las toneladas métricas del grano. Los Ríos, por su parte concentran el 29,62% de la superficie total cosechada y el 28,38% de lo producido. (INEC, 2012)



Fuente: ESPAC 2012
Elaborado por: INEC – Unidad de Estadísticas Agropecuarias

Figura 3–6 Superficie cosechada (ha.) 2012



Fuente: ESPAC 2012
Elaborado por: INEC – Unidad de Estadísticas Agropecuarias

Figura 3–7 Producción (TM) 2012

3.1.3 Carbón activado obtenido de zapote



Figura 3–8 Pepa de zapote molida

Fuente: Autores

El zapote (*Pouteria sapota*), originario de las partes bajas de América Central y cuyo cultivo se está extendiéndose desde el sur de Florida (Estados Unidos) hasta Ecuador y Brasil, y desde el nivel del mar hasta los 600m de altitud. (Valera, 2012)

Es un frutal de polinización libre, multiplicándose generalmente por semilla, Quizás por su aspecto, no tan llamativo, el zapote es una fruta poco apreciada en nuestro país, pese a que tiene un sin número de bondades nutricionales. (Morena, 2009)

El zapote es la fruta que posee la mayor cantidad de fibra sobre el resto, manifiesta la Dra. Y nutricionista Ana Chávez. (Comercio, 2014)

En algunos lugares de Mesoamérica las semillas molidas se utilizan para dar al chocolate un sabor amargo y aroma característico; en Costa Rica, se han empleado para planchar ropa. En Guatemala y El Salvador el aceite contenido en la semilla se utiliza como tónico para la piel, para evitar la calvicie y reducir dolores musculares y afecciones reumáticas (Morena, 2009)

A pesar de haber consumo y demanda en Latinoamérica. Por causas climáticas, ya que el zapote no soporta temperaturas bajas, su producción es promedio en nuestro entorno (Valera, 2012). Es por estos motivos que se ha considerado este fruto en nuestra investigación, con objeto de estimular su producción por los diversos beneficios que su semilla también genera en cuanto a salud y economía nos referimos.

Según cifras reportadas por el Sistema de Información de Precios para el Sector Agropecuario (SIPSA) del Ministerio de Agricultura, la producción anual reportada en el 2001 para este fruto ascendió a 1.682 toneladas, siendo los principales productores. (JORDAN JAIR ALEGRÍA, 2007)

3.2 Metodología para Ensayos de experimentación

3.2.1 Elaboración del Filtro

Los filtros de carbón activado son utilizados principalmente para el tratamiento del agua, es decir para potabilizarla. (Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013)



Figura 3–9 Materiales del filtro
Fuente: Autores



Figura 3–10 Soporte del filtro
Fuente: Autores

1.1.1.1. Materiales

- 1) 50 cm de tubería de policarbonato de 1 ½"
- 2) 1 codos de 90° de 20mm
- 3) 80 cm de manguera de color transparente de 20mm
- 4) 1 embudo
- 5) 2 tapones de polimex de pvc de 1 ½"
- 6) 1 rejilla metálica
- 7) 1 malla de nylon
- 8) 1 soporte metálico
- 9) carbón activado
- 10) llave de manguera.

1.1.1.2. Procedimiento



Figura 3-11 Filtro armado



Figura 3–12 Filtro para carbón activado

- 1) Tomar la tubería de policarbonato de 1 ½" diámetro colocar el tapón polimex en la parte inferior y el otro en la parte superior creando una tapa que se pueda abrir y cerrar.
- 2) Colocar la llave de manguera en la parte inferior del tubo como se muestra en la figura.
- 3) Colocar con la ayuda de un codo, la manguera que luego se conecte al embudo que va a recoger el agua sin tratar.
- 4) Colocar en el fondo del envase la rejilla metálica y la malla de nylon, luego una capa de carbón activado obtenido de las tres materias primas que se han estudiado.
- 5) Abrir la llave del envase y deje que el agua ya filtrada se deposite en un vaso de precipitación graduado.

- 6) Tomar el tiempo que se demore el agua en atravesar el filtro. (Carrillo & Sanchez Muñoz, 2013)

3.2.2 Selección de la muestra de agua a tratar.

Para el análisis de la eficiencia de los carbones creados se procedió a tomar como muestras del agua proveniente del Río Daule y del Río Tenguel.

1) Río Daule

El Daule es un río de la provincia de Guayas el cual se junta con el río Babahoyo, y forman el río Guayas.

La Cuenca del Río Daule con una superficie de casi 12 mil kilómetros cuadrados que equivalen al 5% de la superficie del Ecuador, es una de las principales del país.

Su área de influencia abarca 31 cantones de 5 provincias (Guayas, Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Santo Domingo) cubriendo a una población de más de cuatro millones y medio de personas (3 de cada 10 del país).

La longitud del Río Daule es de 331 km y atraviesa 8 centros poblados: Pichincha, Balzar, Colimes, Santa Lucía, Palestina, Daule, Nobol y Guayaquil. (BallenitaSi, 2014)

Coordenadas:

Latitud: 2,00419410132058S

Longitud: 79,9587001931667W

2) Río Tenguel

El río Tenguel corre paralelo al río Gala, desagua en las laderas del norte de la montaña Bella Rica. El flujo del caudal promedio en la parte central de este río es relativamente constante, aproximadamente de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ durante la época seca, mientras que en la temporada abundante el promedio del caudal es de $7 \text{ m}^3/\text{s}$. El río Tenguel se ve afectado por la contaminación de metales provenientes de las actividades mineras, siendo el principal contaminante el cobre (Cu), y también se observan ligeros aumentos de Pb, Cd, As, Zn y Sb, esto en las quebradas Caña Quemada y Quebrada Muyuyacu, donde se originan la mayoría de descargas. (SENPLADES, 2009)

3.2.3 Análisis de muestra sin tratar y muestra tratada

Para el agua proveniente del Río Daule por contener un alto contenido de sólidos suspendidos se procedió a realizar un proceso de sedimentación antes de pasar al filtrado con el carbón activado.

Para la muestra proveniente del Río Daule se realizaron los siguientes ensayos:

- Turbidez
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Sólidos totales

- Coliformes totales

Se escogió el agua proveniente del Río Tenguel por su alto contenido de metales pesados.

Para la muestra proveniente del Río Tenguel se realizó los siguientes ensayos:

- Arsénico
- Cobre
- Nitrógeno Kjeldahl
- Dureza Total

3.3 Capacidad de adsorción

De forma general se puede definir la adsorción como un fenómeno superficial que implica a un adsorbato y un adsorbente debido a la aparición de fuerzas de interacción entre ambos. En el proceso de descontaminación de aguas con carbón activado el mecanismo de adsorción implicado es de tipo físico fundamentalmente, lo cual permite disolver el contaminante una vez que se ha agotado la capacidad del adsorbente gracias al carácter reversible de este tipo de adsorción. (Adamson, 1979)

Un parámetro de especial importancia en el diseño de sistemas de eliminación de contaminantes mediante adsorción es la capacidad del

adsorbente, la cual depende de muchos factores. En primer lugar se encuentran las propiedades del adsorbato tales como su geometría, tamaño molecular, polaridad, hidrofobicidad, grupos funcionales que contiene y su solubilidad en agua. En segundo lugar se pueden citar las condiciones de la disolución tales como su pH, temperatura, concentración del contaminante, fuerza iónica y solutos competitivos. Por último se pueden citar las características del carbón, que incluyen el área superficial, la distribución de tamaños de poro, la distribución de grupos funcionales en la superficie y el contenido en cenizas. (Adamson, 1979)

Otro aspecto importante para describir el proceso de adsorción es la proposición de modelos que expliquen el comportamiento de las fases involucradas en el equilibrio, el cual está relacionado con la capacidad de adsorción descrita anteriormente. El estado de equilibrio puede describirse como el resultado de un proceso dinámico de adsorción-desorción. La representación más habitual del equilibrio desde el punto de vista práctico es mediante la isoterma de adsorción que es la función que relaciona la concentración en el adsorbente frente a la concentración en la fase acuosa, manteniendo constante el resto de variables involucradas (P, T, pH, etc.). A continuación se presentan, como ejemplos de ecuaciones para describir las isotermas de equilibrio para un solo componente. (Adamson, 1979)

La isoterma de Langmuir describe mejor los procesos de adsorción química.

Irving Langmuir fue galardonado con el Premio Nobel en 1932 por sus investigaciones sobre la química de superficies. La Isoterma de Langmuir que describe la adsorción del Adsorbato (A) sobre la superficie del Adsorbente (S) requiere de tres supuestos:

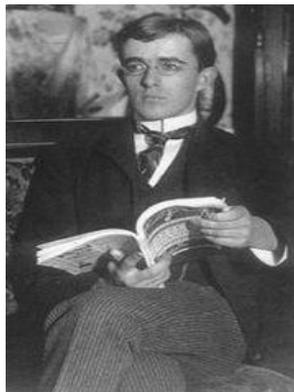
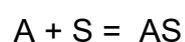


Figura 3–13 Irving Langmuir

Fuente: (Adamson, 1979)

- La superficie del adsorbente está en contacto con una solución que contiene un adsorbato que está fuertemente atraída a la superficie.
- La superficie tiene un número específico de lugares donde las moléculas de soluto pueden ser adsorbidos.
- La adsorción implica la unión de una sola capa de moléculas a la superficie, i. e. adsorción monocapa.

La reacción química para la adsorción monocapa se puede representar de la siguiente manera:



Donde AS representa una molécula de soluto unido a un sitio de la superficie en S. La constante de equilibrio para esta reacción K_{ads} está dada por:

$$K_{ads} = \frac{[AS]}{[A][S]}, \text{ (Eq. 1)}$$

[A] denota la concentración de A, mientras que los otros dos términos [S] y [AS] son análogos bidimensionales de concentración y se expresan en unidades como mol/cm². El principio de equilibrio químico mantiene con estos términos. La forma completa de la isoterma de Langmuir considera (Ecuación 1) en términos de θ cobertura de la superficie que se define como la fracción de los sitios de adsorción a la que una molécula de soluto se ha convertido en adjunto. Por lo tanto, una expresión para la fracción de la superficie con los sitios no unidos es $(1 - \theta)$. Dadas estas definiciones, podemos reescribir el término $[AS] / [S]$ como: (Adamson, 1979)

$$\frac{[AS]}{[S]} = \frac{\theta}{1 - \theta}, \text{ (Eq. 2)}$$

Ahora expresamos [A] y [C] rescritas (Ecuación 1) como:

$$K_{ads} = \frac{\theta}{C(1 - \theta)}, \text{ (Eq. 3)}$$

Reordenando, se obtiene la forma final de la isoterma de adsorción de Langmuir:

$$\theta = \frac{K_{ads}C}{1 + K_{ads}C}, \quad (\text{Eq. 4})$$

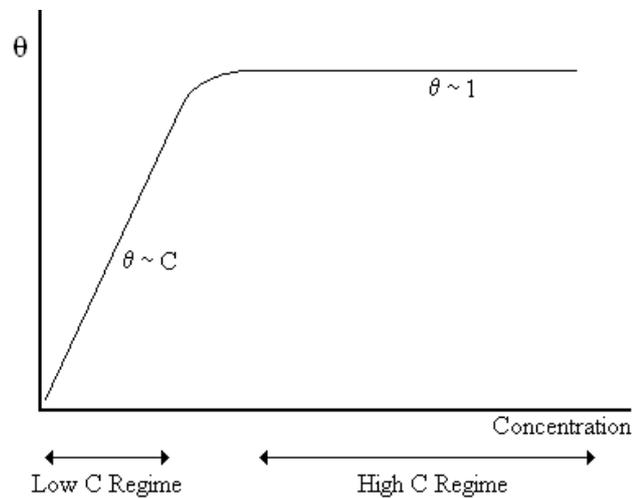


Figura 3–14. Forma general de la Isoterma de Lagmuir
Fuente: Adamson, 1979

Si definimos Y como la cantidad de adsorción en unidades de adsorbato moles por masa adsorbente, e Y_{max} y la adsorción máxima, entonces:

$$\theta = \frac{Y}{Y_{max}}, \quad (\text{Eq. 5})$$

y la isoterma se puede expresar como:

$$\frac{C}{Y} = \frac{1}{K_{ads}Y_{max}} + \frac{C}{Y_{max}}, \quad (\text{Eq. 6})$$

Esta es la forma de la isoterma que usaremos para nuestro sistema de carbón-ácido acético. (Adamson, 1979)

3.4 Medición de Remoción

Existe una diversidad de métodos para la remoción de agentes contaminantes en el agua, los cuales pueden presentar ventajas y

desventajas. Para el estudio de esta tesis se ha escogido la utilización del carbón activado a base de tres materiales diferentes, teniendo en cuenta que para una correcta remoción se debe tener en cuenta los parámetros fisicoquímicos del agua. (Solís, Morales, & Ayala, 2012)

La filtración es un proceso de separación basado en el paso de una mezcla sólido – líquido a través de un medio poroso (filtro) que permite la retención de material sólido y permite el paso de líquido filtrado.

En el caso de este estudio utilizaremos 3 medios porosos diferentes para la formación del filtro.

Donde la eficiencia de remoción de concentración contaminante viene dada por:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{[S_i - S_f]}{S_i} \times 100$$

Dónde:

% de remoción: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes[%]

S_f : Concentración contaminante de salida

S_i : Concentración contaminante de entrada

El porcentaje de remoción del carbón activado será medido por los siguientes indicadores:

- a) Turbidez

- b) Demanda Bioquímica de Oxígeno
- c) Nitrógeno Total Kjeldahl
- d) Dureza Total
- e) Sólidos Totales
- f) Coliformes Totales
- g) Arsénico
- h) Cobre

Procedimiento para el cálculo del porcentaje de remoción

- 1) En primer lugar se debe determinar el tipo de contaminante y su concentración contaminante (concentración) presente en la muestra a analizada. (puede ser cualquiera de los parámetros considerados para el agua, por ejemplo.- DBO_5).
- 2) Se determinan los valores de la concentración inicial (agua sin tratar) y la final (agua ya pasada por el filtro de carbón activado); en unidades correspondiente al parámetro en mención, $mg\ O_2/L$.
- 3) Para el cálculo del porcentaje de remoción se resta el valor de la concentración inicial menos la concentración final, ésta dividida para la concentración inicial y multiplicada por cien.
- 4) El valor obtenido corresponde al porcentaje de remoción (porcentaje del total de contaminante inicial, retirado del agua y retenido en otra sustancia).

3.5 Procesos de Regeneración

3.5.1 Reactivación o regeneración

Antes de desarrollar el tema de la regeneración se debe conocer de forma breve los factores que afectan la adsorción de los compuestos presentes en el fluido, tales como:

- Las sustancias que tengamos que eliminar. (las sustancias que tengan un alto peso molecular y disminución en su solubilidad se absorben de manera más efectiva). (B.V., 2014)
- El grado de concentración de la sustancia que se desea eliminar. (En cuanto el grado de concentración sea más alto, se necesitará más carbón para que sea efectivo el proceso).
- La precedencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otras sustancias por los lugares de adsorción disponibles.
- Los compuestos ácidos se eliminarán más fácilmente que los compuestos básicos.

Es debido a estos factores que se presenta la desactivación de los catalizadores (puntos de la superficie del adsorbente con energía disponible para efectuar la adsorción), diferenciando los siguientes casos:

- **Desactivación por quimisorción (envenenamiento).** Esta desactivación ocurre cuando las moléculas se envenenan y se

quimisorben irreversiblemente en los sitios activos, reduciendo así el número de sitios disponibles para la reacción principal. La molécula envenenadora, podría ser un reactivo y/o producto de la reacción principal o podría ser una impureza de la corriente. (B.V., 2014)

- **Desactivación por selectividad.** Algunos materiales presentes en las corrientes de reactantes se adsorberán en la superficie, catalizando después otras reacciones no deseables, con lo cual se disminuye la selectividad.
- **Desactivación por sinterización (envejecimiento).** Se presentan sinterizaciones y fusiones localizadas. La sinterización es la pérdida de actividad catalítica debido a la pérdida del área superficial activa como resultado de la exposición prolongada a temperaturas elevadas de fase gaseosa. (B.V., 2014)
- **Desactivación por ensuciamiento.** Esta desactivación se debe a la deposición de carbón en los catalizadores, obstruyendo las entradas de los poros e impidiendo que los reactantes se difundan a la superficie interna, formando sólidos al reaccionar con el catalizador; dando lugar a este tipo de desactivación. (B.V., 2014)

Cuando se llega a la desactivación o saturación del carbón activado, se lo puede regenerar para volverlo a emplear en algunas de sus diversas aplicaciones. Existen varias maneras de regenerar las diferentes

presentaciones del carbón activado; en la presente investigación nuestro interés está en el carbón activado granular (CAG) que es utilizado para la purificación y/o separación de sustancias. En otras circunstancias, como es el caso de cuando se lo ha usado en la separación de gases, a éste se lo puede regenerar por un método que consiste en barrer la capa del carbón con vapor de agua. (B.V., 2014)

Las sustancias adsorbidas en operación con líquidos se separan con menos facilidad y suele ser necesaria nueva carbonización; Aunque la reactivación envuelve algunas dificultades y por lo tanto solo es conveniente hacerlo cuando se manejan grandes cantidades de carbón. (B.V., 2014)

3.5.2 Propiedades químicas y físicas de las sustancias absorbibles

Son muchas las sustancias que pueden ser adsorbidas de un medio por el carbón activado, pero el grado de adsorción es el que varía; Por ejemplo el yodo puede ser adsorbido en cantidad igual al peso del carbón empleado, y muchas sales inorgánicas no son adsorbidas de manera apreciable en ninguna condición. (B.V., 2014)

El número de yodo a más de servir para correlacionar la habilidad del carbón activado para adsorber sustancias de masa molecular baja, también es útil para determinar la recuperación de la capacidad adsorptiva con la regeneración.

A causa de la diversidad del poder adsorbente de los diversos carbones no es posible indicar la adsorbilidad relativa de diferentes solutos con alguna exactitud, sino únicamente una tendencia que presentamos a continuación:

En moléculas de estructura semejante:

Compuesto	Potencial de adsorción
Antimonio, arsénico, bismuto, cromo, estaño.	Alto
Plata, mercurio, cobalto, zirconio.	Bueno
Plomo, níquel, titanio, vanadio, hierro.	Regular
Cobre, cadmio, zinc, bario, selenio, molibdeno, manganeso, tungsteno, radio.	Bajo
Cloro, bromo, yodo, fluoruro.	Alto
Nitrato, fosfato, cloruro, bromuro, yoduro.	Bajo

Tabla III. Clasificación de Metales y Compuestos Inorgánicos, según su potencial de adsorción sobre carbón activado

Fuente: (Jairo Alberto Romero Rojas, 2006)

3.5.3 Metodología de posibles procesos de regeneración

El carbón activo es un producto relativamente costoso. En muchas circunstancias el precio de sustituir el carbón saturado sería prohibido, por lo tanto debe ser regenerado. Este proceso ha sido investigado y se han desarrollado cuatro métodos para este propósito de volver a emplear el carbón activado: (Michel de Montaigne, 2012)

- Regeneración por vapor. Este método se restringe para la regeneración al carbón que únicamente ha retenido algunos productos muy volátiles. (Lenntech, 1998)
- Regeneración térmica. El carbón primero es calentado sobre unos 800 grados centígrados con una atmósfera que se pueda controlar luego con un soplete se quitan los compuestos orgánicos que se han adsorbido. Tiene dos decadencias: requiere la inversión de mucho calor y demanda la pérdida de carbón.
- Regeneración química. Es un proceso que se basa en la acción de un solvente que se eleva a una temperatura de aproximadamente 100 grados centígrados y con elevado PH.
- Regeneración biológica. Este método de regeneración es poco utilizado y todavía no se ha aplicado a escala industrial.
- En nuestra investigación desarrollamos un poco más el tópico de la Regeneración térmica, por ser la más utilizada en los procesos de regeneración de carbón activado granular o en polvo que es nuestro caso. (Lenntech, 1998)

3.5.4 Reactivación térmica

La técnica de generación o reactivación que se utiliza con más frecuencia es en los procesos industriales es la reactivación térmica. Estos procesos tienen tres pasos:

- Secado adsorbente a aproximadamente 105 °C.
- Desorción de alta temperatura y la descomposición en una atmósfera inerte.
- Gasificación orgánica residual por un gas oxidante a temperaturas elevadas.

Las dos primeras etapas del tratamiento térmico se fundamentan en la naturaleza exotérmica de adsorción y desorción en los productos, así como del desperdicio parcial y polimerización de los compuestos orgánicos adsorbidos.

El paso final tiene como objetivo excluir el residuo orgánico carbonizado acumulado en la estructura porosa, del paso anterior, y volver a brindar a la estructura de la regeneración sus características superficiales iniciales de carbono poroso. Después de este tratamiento de la columna de adsorción, ya se puede reutilizar. Se conoce que por cada ciclo de adsorción-regeneración térmica se consume entre un 5-15% del peso del medio carbonoso, dejando como consecuencia una pérdida significativa de la capacidad de adsorción. (Michel de Montaigne, 2012)

La reactivación térmica es un proceso de alto consumo energético debido a las altas temperaturas que se necesitan, por tanto el proceso se considera muy costoso en términos energéticos y comerciales. Las plantas de regeneración térmica que dependen de esta actividad requieren de ciertos volúmenes y tamaño antes de que sean económicamente viables para tener

instalaciones de regeneración in situ. Por lo indicado, es común para los lugares de tratamiento de residuos de menor volumen, que se le envíen los núcleos de carbón activado para una instalación especializada en la reactivación.

3.5.5 Reactivación Química

Existe otra técnica menos convencional y es la regeneración química esta se basa en la activación química con agentes oxidantes y deshidratantes como Ácido fosfórico, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico. Cada uno resultando en carbones con propiedades específicas (Sotelo, 2011). Debido a la creciente utilización de carbón activado se ha destinado recursos para la investigación de la regeneración del carbón activado y estas en la actualidad están registradas en la oficina de patentes Europeas, como ejemplo tenemos:

Un método para la reactivación de lechos de carbón, que es aplicable a camas de carbono utilizado en la purificación de residuos industriales, tales como filtración de agua recuperado de las aguas residuales. El método implica la primera adición ya sea ácido clorhídrico o un hidróxido de un metal alcalino a la cama que contiene un poco de agua. El agua y el ácido clorhídrico o hidróxido de metal alcalino se mezclan a fondo para distribuir el ácido o hidróxido de todo el lecho del carbón. La mezcla de ácido o hidróxido y el agua es retenida en el lecho de carbono durante un tiempo suficiente para reactivar el carbono. A partir de entonces el ácido o hidróxido y el agua se eliminan del lecho de carbón. (Mañay, 2013)

3.5.6 Otras técnicas de regeneración

Las actuales gestiones ambientales y el índice alto de energía/costo de la regeneración térmica del carbón activado han fomentado la investigación de métodos de regeneración alternativos para reducir el impacto ambiental de los procesos convencionales. (Sotelo, 2011)

Aunque varias de las citadas técnicas de regeneración se han mantenido en áreas de la investigación puramente académicas; algunas de éstas alternativas ya se han empleado a los sistemas de regeneración térmica a escala industrial. (Michel de Montaigne, 2012)

Existen otros métodos alternativos de activación, son:

- Reactivación con vapor agua
- Química y regeneración del disolvente
- Reactivación microbiana
- Reactivación electroquímica
- Reactivación ultrasónica
- Oxidación con aire húmedo

3.6 Saturación

En general en el carbón activado la cantidad de poros es limitada, por esto las cavidades se van saturando de tal manera que en su momento el filtro dejara de ser efectivo, por lo que las partículas quedan retenidas en la

superficie del carbón y en el interior de sus poros; es posible su reversibilidad, normalmente aplicando calor y presión. (B.V., 2014)

Podemos decir que el filtro que utilizamos está saturado cuando su efectividad es nula, de tal modo que podemos percibir una mejor calidad del agua en cuanto a sabor sin haber sido filtrada. Antes de que este evento ocurra el filtro debía haber sido cambiado. (B.V., 2014)

Se conviene tener presente que en función del agua potable que se recibe se tiene que cambiar el filtro antes de lo que se recomienda para no tener problemas de salud. (B.V., 2014)

Una de las maneras más efectivas de saber si un carbón activado ha dejado de cumplir su función es hacer un análisis al agua que sale del filtro, pues ni el sabor ni el olor pueden ser un efectivo referente. Cuando el carbón activado este saturada el agua que pasa por el filtro está mucho más contaminada que la que entra por él. (B.V., 2014)

Como el tiempo y el grado de saturación del carbón activado dependen particularmente de la actividad del mismo; Se considera, en esta investigación, los factores que afectan la adsorción del carbón activado.

Estos factores que afecta la adsorción, y por tanto la saturación del carbón activado son los siguientes. (B.V., 2014)

El tipo del compuesto.- Las sustancias con alto peso molecular y menos solubilidad tienen mayor absorción, así mismo con las sustancias no polares.

Ocurre lo contrario con una sustancia polar (soluble en agua) no puede ser eliminada por el carbón activo. Sustancias no polares (no solubles en el agua) como:

- Aceite mineral
- Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs)
- Fenoles (compuestos orgánicos)
- Cloruros
- Sustancias halogenadas: I, Br, Cl, H y F
- Olor
- Sabor
- Varios productos de fermentación
- Moléculas de azúcar, etanol y dióxido de carbono (B.V., 2014)

Otros compuestos fácilmente absorbibles: Pesticidas, Tintes, Gasolinas, Ácidos húmicos y Benzenos. (B.V., 2014)

Otros compuestos difícilmente adsorbibles: Azucares, ácido y almidones de bajo peso molecular. (B.V., 2014)

La concentración de las sustancias en el agua.- Entre mayor sea la proporción de los contaminantes en el agua a tratar, menos tiempo de vida útil tendrá el carbón activado. (B.V., 2014)

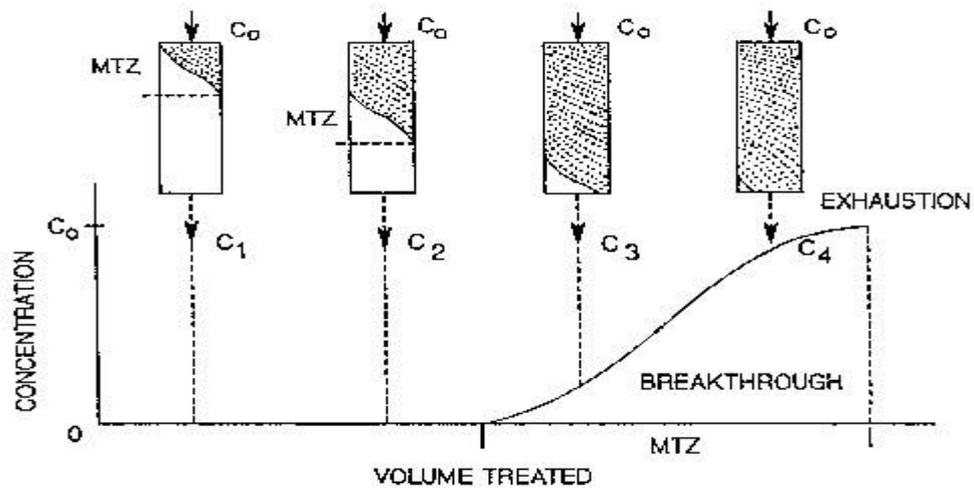


Figura 3-15. La temperatura vs PH

Fuente: B.V., 2014

Debilitación mientras la columna es usada.

En el punto C3 la columna empieza en su punto más bajo a debilitar su proceso de purificación y en C4 la columna dejo de purificar.

En los dos últimos puntos ya se necesita regenerar el material. (B.V., 2014)

4. CAPITULO IV

4.1 Análisis de Resultados

Para comprobar la eficiencia del carbón activado se realizaron 2 pruebas diferentes, primero se le realizaron ensayos específicos a cada tipo de carbón activado y luego se procedió a filtrar una cierta cantidad de agua proveniente del Río Daule y del Río Tenguel para su respectivo análisis, a continuación se citaran los ensayos realizados al carbón activado.

- a) Rendimiento
- b) Granulometría
- c) Contenido de humedad
- d) Densidad aparente
- e) Número de yodo
- f) Contenido de material volátil
- g) Contenido de cenizas

h) Azul de metileno

Y los ensayos realizados en las muestras de agua:

i) Turbidez

j) Demanda Bioquímica de Oxígeno

k) Nitrógeno Total Kjeldahl

l) Dureza Total

m) Sólidos totales

n) Coliformes totales

o) Arsénico

p) Cobre

4.1.1 Carbón activado de cáscara de plátano

Para la cáscara de plátano se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Rendimiento

RENDIMIENTO			
MUESTRA	PESO INICIAL gr	PESO FINAL gr	RENDIMIENTO %
CASCARA DE PLATANO	300	137,05	46%

Tabla IV. Rendimiento cáscara de plátano

$$\%Rendimiento = 100 * \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \quad Ec. (1)$$

b) Granulometría

GRANULOMETRIA					
N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	4,75	43,40	48,22	48,22	51,78
6	3,35	17,00	18,89	67,11	32,89
8	2,36	11,20	12,44	79,56	20,44
10	2,00	4,20	4,67	84,22	15,78
12	1,70	3,60	4,00	88,22	11,78
16	1,18	4,50	5,00	93,22	6,78
18	1,00	1,40	1,56	94,78	5,22
20	0,85	1,00	1,11	95,89	4,11
30	0,60	1,10	1,22	97,11	2,89
35	0,50	0,20	0,22	97,33	2,67
40	0,43	1,20	1,33	98,67	1,33
FONDO		1,20	1,33	100,00	0,00
TOTAL		90,00	100,00		

Tabla V. Granulometría cáscara de plátano

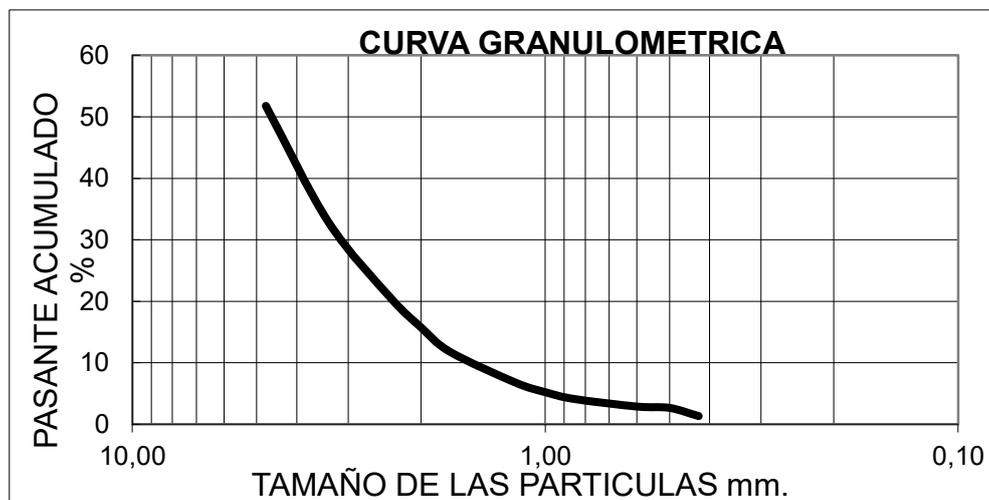


Figura 4-1. Curva granulométrica cáscara de plátano

Tamaño efectivo de la cáscara de Plátano $D_{10} = 1.6\text{mm}$

c) Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD				
MUESTRA	B	F	G	MC %
CÁSCARA DE PLÁTANO	394,30	394,05	392,32	12,63 %

Tabla VI. Contenido de humedad cáscara de plátano

Dónde:

Mc= Contenido de humedad

B= Masa del recipiente + muestra en gr.

F= Masa del recipiente + muestra a 150°C en gr.

G= Masa del recipiente en gr.

$$M_c = 100 * \frac{B - F}{B - G} \quad \text{Ec. (2)}$$

d) Densidad aparente

DENSIDAD APARENTE				
MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA gr	% HUMEDAD	VOLUMEN DE LA MUESTRA	DENSIDAD APARENTE
CÁSCARA DE PLÁTANO	3,128	12,630%	10,000	0,313
	3,244			0,324
	2,971			0,297
	2,849			0,285
	3,167			0,317
	PROMEDIO			

Tabla VII. Densidad aparente cáscara de plátano

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra en gr} * 100 - \% \text{humedad}}{\text{Volumen de la muestra en cm}^3 * 100} \quad \text{Ec. (3)}$$

e) Número de yodo

NUMERO DE YODO						
MUESTRA	B	M	N	W	Constante	I.I. mg/gr
CÁSCARA DE PLÁTANO	67,85	14,00	0,1	0,20	12,69	341,68

Tabla VIII. Número de yodo cáscara de plátano

Dónde:

I.I.= Índice de yodo

B= Gato del blanco

M= Gasto de la muestra

W= Gramos de muestra

N=0.1

$$I.I. = \frac{(W - S)12,69 * 01}{W} \quad \text{Ec. (4)}$$

f) Contenido de material volátil

CONTENIDO DE MATERIAL VOLATIL					
MUESTRA	Mc	M (150°C)	M' (650°C)	V	Mv
CÁSCARA DE PLÁTANO	392,32	394,05	393,30	6,51	11,52

Tabla IX. Contenido de material volátil cáscara de plátano

Dónde:

Mv= Contenido de material volátil

Mc= Mases del crisol

M= Masa a 150°C

M' = Masa a 650°C

V = Volumen

$$Mv = \frac{(Mc + M) - (Mc + M')}{V} \quad \text{Ec. (5)}$$

g) Contenido de cenizas

CONTENIDO DE CENIZAS				
MUESTRA	G	B (150°C)	F (650°C)	Ac
CÁSCARA DE PLÁTANO	392,32	394,05	392,60	16,18

Tabla X. Contenido de cenizas cáscara de plátano

Dónde:

Ac = Contenido de ceniza

G = Masa de recipiente

B = Masa de recipiente + muestra a 150°C

F = Masa del recipiente + muestra incinerada a 650°C

$$Ac = 100 \frac{F - G}{B - G} \quad \text{Ec. (6)}$$

h) PH

El valor del PH obtenido fue de 3,5

i) Azul de metileno

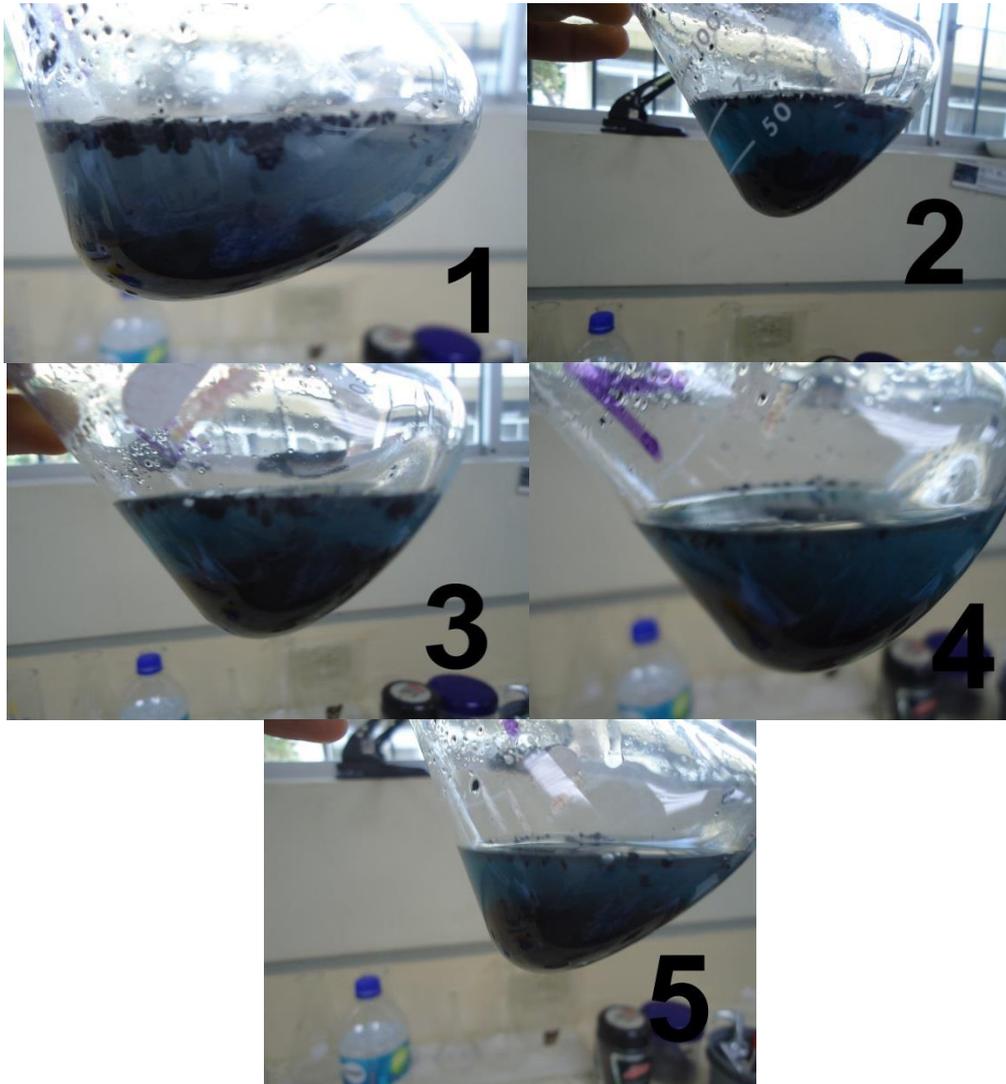


Figura 4-2. Azul de metileno en cáscara de plátano

Se puede observar el cambio de coloración en cada muestra, teniendo en cuenta que en la muestra número 1 se introdujo 5ml de azul de metileno y la muestra número 5 tiene 25ml de azul de metileno.

4.1.2 Carbón activado de la cascarilla de arroz

Para la cascarilla de arroz se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Rendimiento

RENDIMIENTO			
MUESTRA	PESO INICIAL gr	PESO FINAL gr	RENDIMIENTO %
CASCARILLA DE ARROZ	300	253,34	84%

Tabla XI. Rendimiento cascarilla de arroz

$$\%Rendimiento = 100 * \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \quad Ec. (1)$$

b) Granulometría

GRANULOMETRIA					
N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	4,75	3,20	3,56	3,56	96,44
6	3,35	1,40	1,56	5,11	94,89
8	2,36	4,70	5,22	10,33	89,67
10	2,00	1,70	1,89	12,22	87,78
12	1,70	7,00	7,78	20,00	80,00
16	1,18	7,60	8,44	28,44	71,56
18	1,00	4,70	5,22	33,67	66,33
20	0,85	7,80	8,67	42,33	57,67
30	0,60	33,70	37,44	79,78	20,22
35	0,50	8,60	9,56	89,33	10,67
40	0,43	4,30	4,78	94,11	5,89
FONDO		5,30	5,89	100,00	0,00
TOTAL		90,00	100,00		

Tabla XII. Granulometría cascarilla de arroz

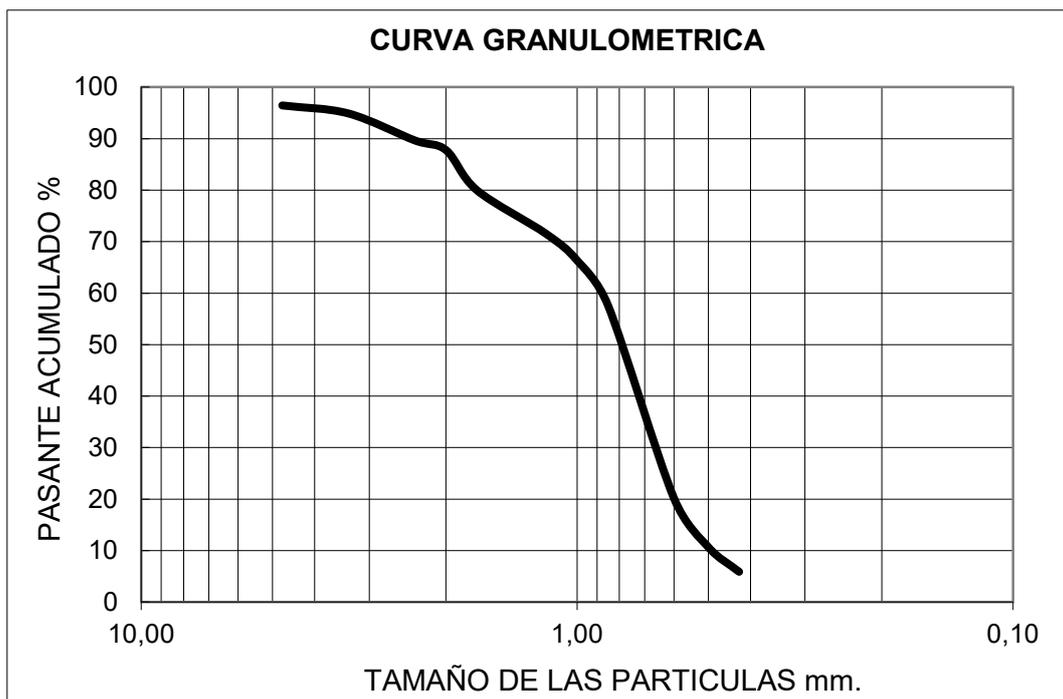


Figura 4-3. Curva granulométrica cascarilla de arroz

Tamaño efectivo de la cascarilla de arroz $D_{10} = 0.5\text{mm}$

c) Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD				
MUESTRA	B	F	G	MC %
CASCARILLA DE ARROZ	387,90	387,74	385,97	8,29 %

Tabla XIII. Contenido de humedad cascarilla de arroz

Dónde:

Mc= Contenido de humedad

B= Masa del recipiente + muestra en gr.

F= Masa del recipiente + muestra a 150°C en gr.

G= Masa del recipiente en gr.

$$M_c = 100 * \frac{B - F}{B - G} \quad \text{Ec. (2)}$$

d) Densidad aparente

DENSIDAD APARENTE				
MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA gr	% HUMEDAD	VOLUMEN DE LA MUESTRA	DENSIDAD APARENTE
CASCARILLA DEL ARROZ	2,693	8,290%	10,000	0,269
	2,554			0,255
	2,821			0,282
	2,580			0,258
	2,689			0,269
	PROMEDIO			0,267

Tabla XIV. Densidad aparente cascarilla de arroz

$$Densidad\ aparente = \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ gr * 100 - \%humedad}{Volumen\ de\ la\ muestra\ en\ cm^3 * 100} \quad Ec. (3)$$

e) Número de yodo

NUMERO DE YODO						
MUESTRA	B	M	N	W	Constante	I.I. mg/gr
CASCARILLA DE ARROZ	80,40	35,00	0,1	0,20	12,69	288,06

Tabla XV. Número de yodo cascarilla de arroz

Dónde:

I.I.= Índice de yodo

B= Gato del blanco

M= Gasto de la muestra

W= Gramos de muestra

N=0.1

$$I.I. = \frac{(W - S)12,69 * 01}{W} \quad Ec. (4)$$

f) Contenido de material volátil

CONTENIDO DE MATERIAL VOLATIL					
MUESTRA	Mc	M (150C°)	M' (650°C)	V	Mv
CASCARILLA DE ARROZ	385,97	387,74	386,80	7,50	12,54

Tabla XVI. Contenido de material volátil cascarilla de arroz

Dónde:

Mv= Contenido de material volátil

Mc= Mases del crisol

M= Masa a 150°C

M'= Masa a 650°C

V= Volumen

$$Mv = \frac{(Mc + M) - (Mc + M')}{V} \quad \text{Ec. (5)}$$

g) Contenido de cenizas

CONTENIDO DE CENIZAS				
MUESTRA	G	B (150C°)	F (650°C)	Ac
CASCARILLA DE ARROZ	385,97	387,74	386,21	13,56

Tabla XVII. Contenido de cenizas cascarilla de arroz

Dónde:

Ac= Contenido de ceniza

G= Masa de recipiente

B= Masa de recipiente + muestra a 150°C

F= Masa del recipiente + muestra incinerada a 650°C

$$Ac = 100 \frac{F - G}{B - G} \quad \text{Ec. (6)}$$

i) PH

El valor del PH obtenido fue de 3,8

j) Azul de metileno

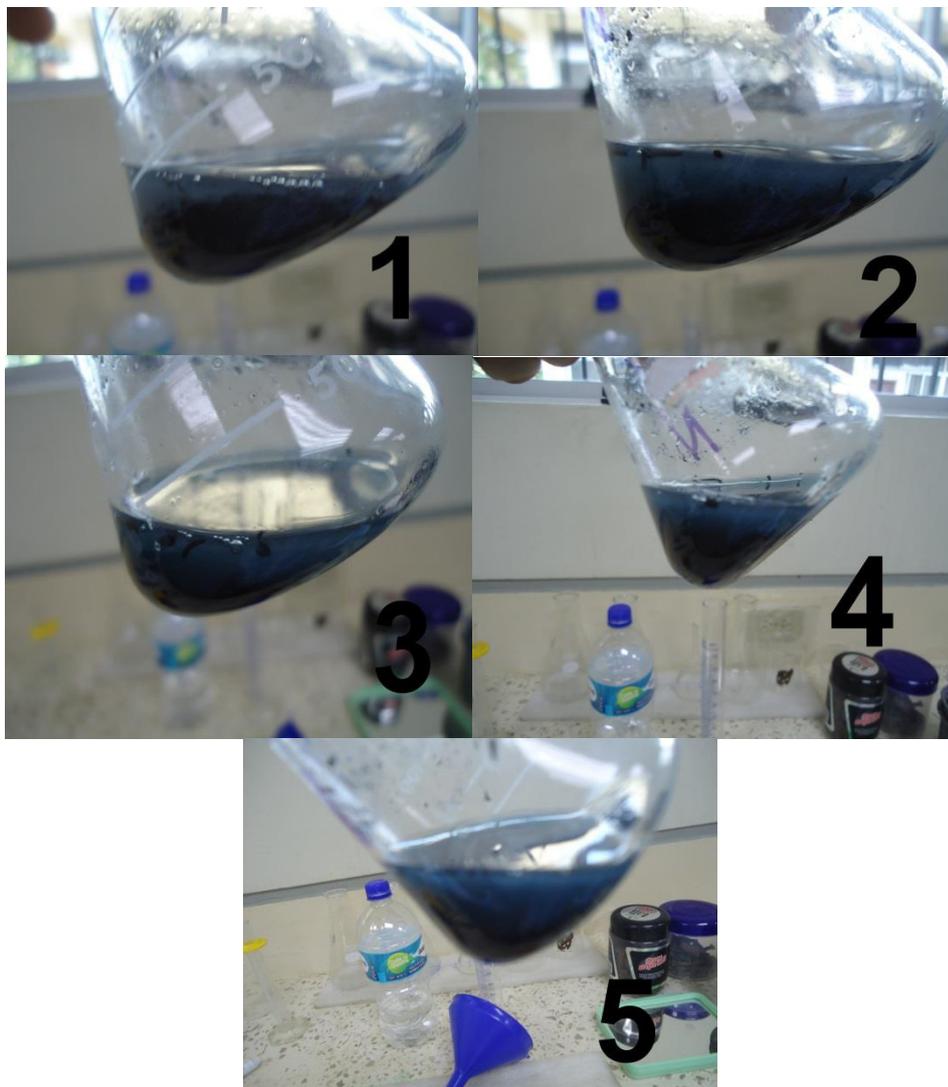


Figura 4-4. Azul de metileno en cascarilla de arroz

Se puede observar el cambio de coloración en cada muestra, teniendo en cuenta que en la muestra número 1 se introdujo 5ml de azul de metileno y la muestra numero 5 tiene 25ml de azul de metileno.

4.1.3 Carbón Activado de zapote

Para la pepa de zapote se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Rendimiento

RENDIMIENTO			
MUESTRA	PESO INICIAL gr	PESO FINAL gr	RENDIMIENTO %
PEPA DE ZAPOTE	300	94,7	32%

Tabla XVIII. Rendimiento pepa de zapote

$$\%Rendimiento = 100 * \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \quad Ec. (1)$$

b) Granulometría

GRANULOMETRIA					
N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	4,750	45,20	50,2222	50,2222	49,7778
6	3,350	8,00	8,8889	59,1111	40,8889
8	2,360	6,80	7,5556	66,6667	33,3333
10	2,000	2,70	3,0000	69,6667	30,3333
12	1,700	3,30	3,6667	73,3333	26,6667
16	1,180	6,40	7,1111	80,4444	19,5556
18	1,000	2,60	2,8889	83,3333	16,6667
20	0,850	0,60	0,6667	84,0000	16,0000
30	0,600	6,20	6,8889	90,8889	9,1111
35	0,500	2,00	2,2222	93,1111	6,8889
40	0,425	2,00	2,2222	95,3333	4,6667
FONDO		4,20	4,6667	100,0000	0,0000
TOTAL		90,00	100,0000		

Tabla XIX. Granulometría pepa de zapote

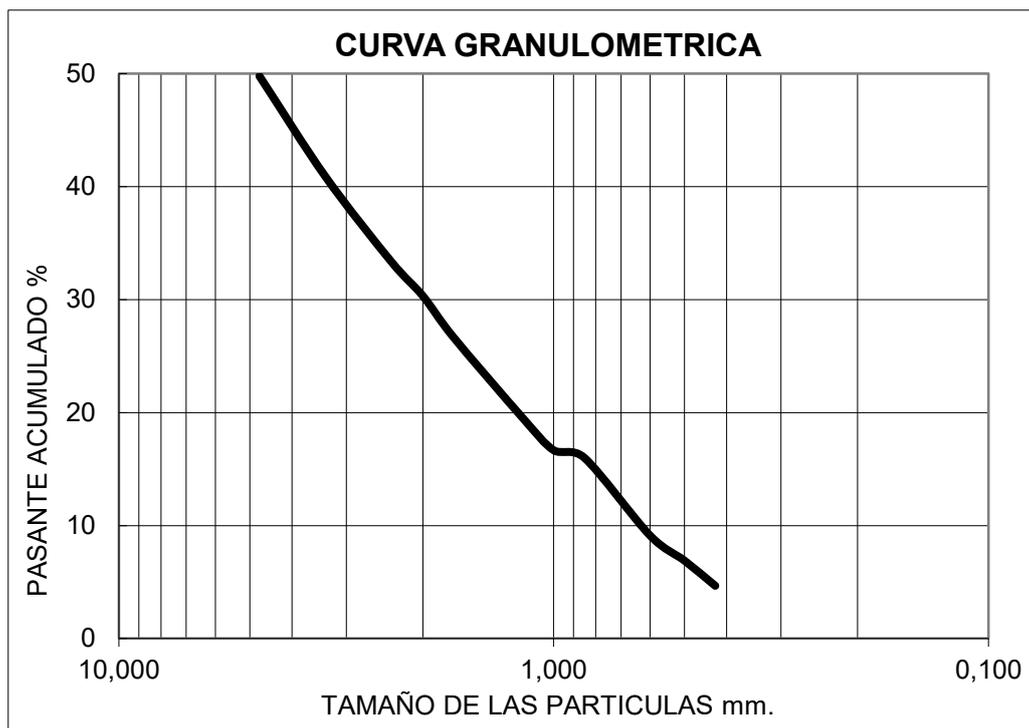


Figura 4-5. Curva granulométrica pepa de zapote

Tamaño efectivo de la pepa de zapote $D_{10} = 0.65\text{mm}$

c) Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD				
MUESTRA	B	F	G	MC %
PEPA DE ZAPOTE	422,10	421,91	420,13	9,64 %

Tabla XX. Contenido de humedad pepa de zapote

Dónde:

Mc= Contenido de humedad

B= Masa del recipiente + muestra en gr.

F= Masa del recipiente + muestra a 150°C en gr.

G= Masa del recipiente en gr.

$$M_c = 100 * \frac{B - F}{B - G} \quad \text{Ec. (2)}$$

d) Densidad aparente

DENSIDAD APARENTE				
MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA gr	% HUMEDAD	VOLUMEN DE LA MUESTRA	DENSIDAD APARENTE
PEPA DE ZAPOTE	2,086	9,640%	10,000	0,209
	2,139			0,214
	2,007			0,201
	2,507			0,251
	2,128			0,213
	PROMEDIO			0,217

Tabla XXI. Densidad aparente pepa de zapote

$$Densidad\ aparente = \frac{Peso\ de\ la\ muestra\ en\ gr * 100 - \%humedad}{Volumen\ de\ la\ muestra\ en\ cm^3 * 100} \quad Ec. (3)$$

e) Número de yodo

NUMERO DE YODO						
MUESTRA	B	M	N	W	Constante	I.I. mg/gr
PEPA DE ZAPOTE	50,10	12,00	0,1	0,20	12,69	241,74

Tabla XXII. Número de yodo pepa de zapote

Dónde:

I.I.= Índice de yodo

B= Gasto del blanco

M= Gasto de la muestra

W= Gramos de muestra

N=0.1

$$I.I. = \frac{(W - S)12,69 * 01}{W} \quad \text{Ec. (4)}$$

f) Contenido de material volátil

CONTENIDO DE MATERIAL VOLATIL					
MUESTRA	Mc	M (150C°)	M' (650°C)	V	Mv
PEPA DE ZAPOTE	420,13	421,91	420,90	9,20	10,98

Tabla XXIII. Contenido de material volátil pepa de zapote

Dónde:

Mv= Contenido de material volátil

Mc= Masa del crisol

M= Masa a 150°C

M'= Masa a 650°C

V= Volumen

$$Mv = \frac{(Mc + M) - (Mc + M')}{V} \quad \text{Ec. (5)}$$

g) Contenido de cenizas

CONTENIDO DE CENIZAS				
MUESTRA	G	B (150C°)	F (650°C)	Ac
PEPA DE ZAPOTE	420,13	421,91	420,30	9,55

Tabla XXIV. Contenido de cenizas pepa de zapote

Dónde:

Ac= Contenido de ceniza

G= Masa de recipiente

B= Masa de recipiente + muestra a 150°C

F= Masa del recipiente + muestra incinerada a 650°C

$$Ac = 100 \frac{F - G}{B - G} \quad \text{Ec. (6)}$$

h) PH

El valor del PH obtenido fue de 3,4

i) Azul de metileno

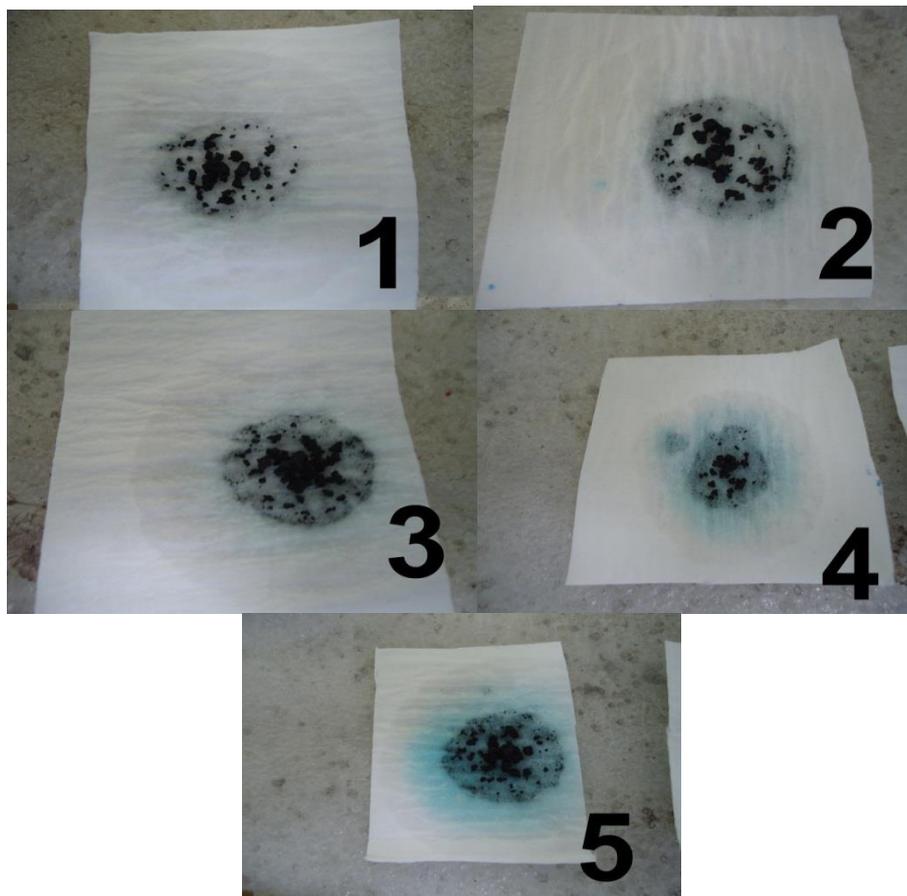


Figura 4-6. Azul de metileno en pepa de zapote

Se puede observar el cambio de coloración en cada muestra, teniendo en cuenta que en la muestra número 1 se introdujo 5ml de azul de metileno y la muestra numero 5 tiene 25ml de azul de metileno.

4.1.4 Carbón convencional comercial

Para la comparación de los carbonos creados se usó el Carbón NORIT GAC 830 PLUS el cual es un carbón activado granular lavado con ácido de alta pureza producido por la activación de vapor de selectos grados de carbón. Como resultado de un proceso de activación patentado único y estricto control de calidad, NORIT GAC 830 PLUS ofrece propiedades de adsorción superiores para la eliminación de impurezas de aplicaciones químicas, alimentarias, farmacéuticas y de agua. NORIT GAC 830 PLUS es Kosher certificada y cumple con NSF / ANSI 61 También cumple con todas las normas AWWA B604 para el uso del agua potable. (CABOT, 2014)

Entre sus propiedades tenemos las siguientes:

NORIT GAC 830		
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO		
Número de Yodo	920 min.	mg/g
Número de melaza	200 min.	
Número de abrasión (AWWA)	75 min.	
Humedad	2 máx.	% envasado
Tamaño de malla (Serie de Tamices EE.UU.)		
Mayor que malla 8 (2,36 mm)	15 Max.	%
Menos que malla 30 (0,60 mm)	4 Max.	%
PROPIEDADES TÍPICAS		
Densidad aparente, ft	0.50	g/mL
	31	lb/ft ³
Densidad, en contracorriente y drenada	27	lb/ft ³
Tamaño efectivo	1.0	mm
Coefficiente de uniformidad	1,7	
Código de Sustancias Químicas para Alimentos	Pasado	
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS		
Apariencia	Gránulos negros	
Olor	Ninguno	
PH	Suspensión acuosa: alcalina	
Punto de fusión / punto de congelación	>1000°C	
Punto de ebullición	>1000°C	
Punto de inflamabilidad	No aplicable, la sustancia es orgánica	
Velocidad de evaporación	La evaporación no es relevante	
Inflamabilidad (sólido, gas)	No es clasificado como sólido inflamable	
Límites de explosividad	Límite inferior de explosión aprox. 20 gr / m ³	
Presión de vapor	No aplicable, punto de fusión > 300 ° C	
Densidad de vapor	No aplicable, punto de fusión > 300 ° C	
Densidad relativa	Aprox. 2100kg/cm ³	
Solubilidad	Insoluble en agua y disolventes orgánicos	
Coefficiente de reparto: n-octanol / agua	No aplicable, la sustancia es insoluble	
Temperatura de auto-ignición	>140°C	
Temperatura de descomposición	>1000°C	
Viscosidad	No aplicable, la sustancia es un sólido insoluble	
Propiedades explosivas	No aplica, no hay grupos químicos asociados con propiedades explosivas presentes en la sustancia.	
Propiedades oxidantes	Conductividad eléctrica: conductor de la electricidad	

Tabla XXV. Propiedades del carbón NORIT GAC 830

Fuente: CABOT, 2014

4.2 Comparación de resultados

En la comparación de resultados podemos observar en la siguiente tabla los parámetros con los rangos típicos del carbón activado según su norma:

PARAMETRO	UNIDADES EN LA QUE SE EXPRESA	RANGO DDE VALORES TÍPICOS	EJEMPLO DE UNA NORMA QUE SE APLICA
Número de yodo	mg/g de carbón	500 a 1200	ASTM D-4607
Área Superficial	m ² /g	500 a 1200	Adsorción de N ₂ (método BET) ATSM D-3037
Radio medio de poro y volumen total de poro	nm y cm ³	0,70 a 500 y 0,2 a 1,0	Porosimetría con mercurio y adsorción de N ₂ , ASTM C-699
Densidad aparente	g/cm ³	0,26 a 0,65	ASTM D-2854
Dureza	Adimensional	30 a 99	AST D-3802
Rango de tamaño de partícula	Malla estándar americana (U.S. Std Sieve)	4x8 a 20x50	ANSI/AWWA B604-90
Tamaño efectivo de partícula	mm	0,4 a 3,3	ANSI/AWWA B604-90
Coefficiente de Uniformidad	Adimensional	menor a 2,1	ANSI/AWWA B604-90
Contenido de cenizas totales	%base seca	3 a 15	ASTM D-2866
Solubles en agua	%base seca	0,5 a 7	ASTM D-5029
Ph del extracto acuoso	Ph	2 a 11	ASTM D-3838
Humedad (al empacar)	%	2 a 15	ASTM D-2867
Longitud de semidecloración	cm	2 a 10	DIN 19603
Contenido de Material Volátil	%	21.25 a 28.84	ASTM D-2865

Tabla XXVI. Principales parámetros con los que se especifica un carbón activado granular para el tratamiento de agua y normas de análisis.

Fuente: Normas de análisis del carbón activado

En la siguiente tabla se anota el resumen de todas las propiedades analizadas a las tres materias primas escogidas para esta tesis:

PARÁMETRO	CÁSCARA DE PLÁTANO	CASCARILLA DEL ARROZ	PEPA DE ZAPOTE
Rendimiento	46%	84%	32%
Tamaño efectivo (mm)	1.6	0.5	0.65
Contenido de humedad	12,63%	8,29%	9,64%
Densidad aparente gr/ml	0,307	0,267	0,217
Número de yodo mg/gr	341,68	288,06	241,74
Contenido de material volátil	12,54%	11,52%	10,98%
Contenido de cenizas	16,18%	13,56%	9,55%
PH	3.5	3.8	3.4

Tabla XXVII. Resumen de parámetros del carbón activado ensayado

Para los tres carbonos elaborados se realiza una comparación entre sus resultados y con normas de los principales parámetros con los que se especifica un carbón activado granular para el tratamiento de agua.

El mayor rendimiento obtenido en la elaboración de los tres carbonos activados se obtuvo de la cascarilla de arroz, la cual obtuvo un 84% de rendimiento, esto quiere decir que sólo hubo un 16% que equivale al residuo de la materia prima inicial usada antes del proceso de activación química.

La especificación de carbón granular para tratamiento de agua de la ANSI/AWWA B604-90 señala que el tamaño efectivo debe estar entre 0.4 a

3.3mm. La cáscara de plátano obtuvo 1.6mm, la cascarilla de arroz obtuvo 0.5mm y la pepa de zapote 0.65mm, es decir, que todos los carbones elaborados se encuentran dentro de este rango. Por lo cual es considerado un carbón granular.

Para el contenido de humedad lo establecido por la norma ASTM D-2867 es del 2 a 15%. Mientras mayor es el contenido de humedad, menor es el porcentaje de carbón neto que recibiría el usuario. La cáscara de plátano obtuvo 12,63%, la cascarilla de arroz obtuvo 8,29% y la pepa de zapote 9,64%, es decir, que la cáscara de plátano es la que mayor tiene contenido de humedad, pero de todas maneras los tres carbonos elaborados se encuentran dentro del rango dictado por la norma ASTM D-2867.

Para la densidad aparente lo establecido por la norma ASTM D-2854 es de 0.26 a 0.65 g/cm³ lo mismo que es de 0.26 a 0.65g/ml. La cáscara de plátano obtuvo 0.307g/ml, la cascarilla de arroz obtuvo 0.267g/ml y la pepa de zapote 0.217g/ml, es decir, que los tres carbonos están dentro del rango siendo el carbono de la cascarilla de arroz el de menor densidad aparente. El valor de la densidad aparente determina en gran parte el flujo de agua que es necesario para lograr un buen retro lavado del carbón activado.

Para el número de yodo lo establecido por la norma ASTM D-4607 es de 500 a 1200 mg/g. La cáscara de plátano obtuvo 341.68mg/g, la cascarilla de arroz obtuvo 288.06mg/g y la pepa de zapote 241.74mg/g, en estos resultados ninguno de los carbonos estuvo dentro del parámetro establecido en la norma

ASTM D-4607. Como el índice de yodo es un índice del área superficial de un carbón activado, los tres carbonos tienen pocos poros.

Para el contenido de cenizas por la norma ASTM D-2866 es de 3 a 15%. La cáscara de plátano obtuvo 16.18%, la cascarilla de arroz obtuvo 13.56% y la pepa de zapote 9.53%, es decir, que la cáscara plátano es la única de las tres que no se encuentra dentro del rango de la ASTM D-2866, esto significa que entre mayor es el porcentaje de contenido de cenizas, menor la cantidad de carbón realmente efectivo.

Para el contenido de material volátil por la norma ASTM D-2865 es de 21.25 a 28.84. La cáscara de plátano obtuvo 12,54%, la cascarilla de arroz obtuvo 11,52% y la pepa de zapote 10,98%, ninguno de los tres carbonos se encuentran dentro del rango.

El pH del extracto acuoso según la norma ASTM D-3838 debe encontrar entre 2 a 11. %. La cáscara de plátano obtuvo 3.5, la cascarilla de arroz obtuvo 3.8 y la pepa de zapote 3.4, por usar como método de activación el ácido fosfórico, el producto que se obtiene del proceso de fabricación tiene fosfatos que al disolverse en agua se convierten en ácidos y se redujo el Ph.

4.2.1 Porcentajes de remoción.

4.2.1.1 Análisis de muestra filtrada por carbón activado de cáscara de plátano

Para la cáscara de plátano se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	PARÁMETROS	Concentración Inicial	Concentración Final	Límite Máximo Permisible AAPP (TULAS)
			.A. Tipo A (Plátano)	
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	2.0	10
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.2	2.0
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	2269.0	500
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	50
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	11 (Nitrato y Nitrito)
	Dureza (mg/L)	56.4	54.0	500
	Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	0.05
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0087	1.0

Tabla XXVIII. Parámetros analizados del agua al correr por el Carbón A de cáscara de plátano

En la tabla de resultados de los parámetros considerados en nuestros análisis para la corrida del filtro de plátano, se puede observar que las concentraciones finales del efluente son menores que las iniciales. En el resultado que nos proporciona el ensayo de sólidos totales se puede evaluar como disparado e incoherente, debiéndose esto a una problemática en cuanto al diseño del filtro y en menor proporción a la granulometría del carbón activado en mención.

En este análisis se valora que el plátano es un material óptimo para la elaboración de carbón activado como medio filtrante, debido a que todos los parámetros ensayados están debajo de los límites máximos permitidos por la tabla 2 del Anexo 1 del Libro IV del TULAS, que es la norma vigente que rige los niveles de contaminación permitidos para aguas de consumo humano.

De las concentraciones obtenidas, se procedió a calcular y analizar el respectivo porcentaje de remoción:

Muestra	PARÁMETROS	Concentración contaminante Inicial [Si]	Concentración Contaminante Final [Sf]	FILTRO PLATANO % de Remoción $[(Si-Sf)/Si]*100$
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	2.0	75.0
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.2	77.8
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	2269.0	-
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	100.0
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	-
	Dureza (mg/L)	56.4	54.0	4.3
	Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	> 94.8
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0087	86.2

Tabla XXIX. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón A

En el filtro constituido por cáscaras de plátano, como medio filtrante, se obtuvieron remociones altas de todos los parámetro, menos del nitrógeno

presente, esto tal vez se debió a que la concentración inicial de nitrógeno ya es muy pequeña incluso antes de pasar por el filtro.

Se concluye que el carbón activado, que emplea cáscaras de plátano como material precursor, resultó excelente en cuanto a la remoción de metales pesados, especialmente el Arsénico, con más del 94.8%. Así mismo para remover el 100% de Coliformes Totales.

4.2.1.2 Análisis de muestra filtrada por carbón activado de cascarilla de arroz

Para la cascarilla de arroz se obtuvieron los siguientes resultados:

	PARÁMETROS	Concentración Inicial	Concentración Final C.A. Tipo B (Arroz)	Límite Máximo Permisible AAPP (TULAS)
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	0.5	10
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.3	2.0
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	8202.0	500
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	400.0	50
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	11 (Nitrato y Nitrito)
	Dureza (mg/L)	56.4	2.8	500
	Arsénico (mg/L)	0.0600	0.0035	0.05
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0094	1.0

Tabla XXX. Parámetros Analizados del agua al correr por el Carbón B de cascarilla de arroz

En la tabla de resultados de los parámetros considerados en nuestros análisis para la corrida del filtro de arroz, se puede observar que las concentraciones finales del efluente son menores que las iniciales en todos los parámetros, menos en el de coliformes totales. En cambio el resultado que nos proporciona el ensayo de sólidos totales es errado e inconsistente, debido a una problemática en cuanto al diseño del filtro y en menor proporción a la granulometría del carbón activado en mención.

En este análisis se valora que el arroz no resultó un material óptimo para la elaboración de carbón activado como medio filtrante, debido a que la concentración de coliformes totales está por encima de los límites máximos permitidos por la tabla 2 del Anexo 1 del Libro IV del TULAS, que es la norma vigente que rige los niveles de contaminación permitidos para aguas de consumo humano.

De las concentraciones obtenidas, se procedió a calcular y analizar el respectivo porcentaje de remoción:

Muestra	PARÁMETROS	Concentración contaminante Inicial [Si]	Concentración contaminante Final [Sf]	FILTRO ARROZ % de Remoción $[(Si-Sf)/Si]*100$
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	0.5	93.8
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.3	66.7
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	8202.0	-
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	400.0	20.0
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	-
	Dureza (mg/L)	56.4	2.8	95.0
	Arsénico (mg/L)	0.0600	0.0035	94.2
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0094	85.1

Tabla XXXI. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón B

En cuanto al filtro de Carbón Activado a partir del cascarilla de arroz, como medio filtrante, obtuvo remociones altas de todos los parámetro, menos de Coliformes Totales y de DBO₅, con un 20% y 66.7% respectivamente.

Se concluye que el carbón activado, que emplea cascarilla de arroz como material precursor, resultó excelente en cuanto a la remoción del 95% de Dureza y el 94.2% de Arsénico.

4.2.1.3 Análisis de muestra filtrada por Carbón activado C

Para la pepa de zapote se obtuvieron los siguientes resultados:

	PARÁMETROS	Concentración Inicial	Concentración Final C.A. Tipo C (Zapote)	Límite Máximo Permissible AAPP (TULAS)
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	0.5	10
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.2	2.0
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	3941.7	500
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	50
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	11 (Nitrato y Nitrito)
	Dureza (mg/L)	56.4	31.2	500
	Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	0.05
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0047	1.0

Tabla XXXII. Parámetros Analizados del agua al correr por el Carbón C de pepa de zapote

En la tabla de resultados de los parámetros considerados en nuestros análisis para la corrida del filtro de zapote, se puede observar que las concentraciones finales del efluente son menores que las iniciales. En cambio el resultado que nos proporciona el ensayo de sólidos totales es incoherente, debiéndose a una problemática en cuanto al diseño del filtro y en menor proporción a la fina granulometría que presenta el carbón activado en mención.

En este análisis se estima que el zapote es un óptimo material para la elaboración de carbón activado como medio filtrante, debido a que todos los parámetros ensayados están por debajo de los límites permitidos por la tabla 2 del Anexo 1 del Libro IV del TULAS, que es la norma vigente que rige los niveles de contaminación permitidos para aguas de consumo humano.

De las concentraciones obtenidas, se procedió a calcular y analizar el respectivo porcentaje de remoción:

Muestra	PARÁMETROS	Concentración	Concentración	FILTRO
		contaminante Inicial [Si]	contaminante Final [Sf]	ZAPOTE % de Remoción [(Si- Sf)/Si]*100
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	0.5	93.8
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.2	77.8
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	3941.7	-
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	100
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	-
	Dureza (mg/L)	56.4	31.2	44.7
	Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	> 94.8
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0047	92.5
	(mg/L)			

Tabla XXXIII. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón C

En el filtro constituido por pepas de zapote, como material precursor del carbón activado, se lograron altas remociones de todos los parámetros analizados, menos del de Dureza que corresponde al 44.7%.

Se concluye que el carbón activado, que emplea pepas de zapote como material precursor, resultó excelente en cuanto a la remoción de metales pesados, especialmente el Arsénico, con más del 94.8%. Así mismo para remover el 100% de la concentración de Coliformes Totales.

4.2.1.4 Análisis de muestra filtrada por Carbón activado D

Para el carbón convencional comercial se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	PARÁMETROS	Concentración Inicial	Concentración Final C.A. Tipo D (Convencional)	Límite Máximo Permissible AAPP (TULAS)
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	1.0	10
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.5	2.0
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	60.1	500
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	50
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	11 (Nitrato y Nitrito)
	Dureza (mg/L)	56.4	54.0	500
	Arsénico (mg/L)	0.0600	0.0066	0.05
	Cobre (mg/L)	0.0629	< 0.0037	1.0

Tabla XXXIV. Parámetros Analizados del agua al correr por el Carbón D de convencional comercial

En la tabla de resultados de los parámetros considerados en nuestros análisis para la corrida del filtro convencional de coco de Norit, se puede observar que las concentraciones finales del efluente son menores que las iniciales. En cambio el resultado que nos proporciona el ensayo de sólidos totales es incoherente, debiéndose a una problemática en cuanto al diseño del filtro y en menor proporción a la fina granulometría que presenta el carbón activado en mención.

En este análisis se puede observar que todos los parámetros ensayados están por debajo de los límites permitidos por la tabla 2 del Anexo 1 del Libro IV del TULAS, que es la norma vigente que rige los niveles de contaminación permitidos para aguas de consumo humano.

De las concentraciones obtenidas, se procedió a calcular y analizar el respectivo porcentaje de remoción:

Muestra	PARÁMETROS	Concentración contaminante Inicial [Si]	Concentración contaminante Final [Sf]	FILTRO CONVENCIONAL % de Remoción $[(Si-Sf)/Si]*100$
Río Daule	Turbidez (NTU)	8.0	1.0	87.5
	DBO5 (mg/L)	0.9	0.5	44.4
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	60.1	-
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	100
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	-
	Dureza (mg/L)	56.4	54.0	4.3
	Arsénico (mg/L)	0.0600	0.0066	89.0
	Cobre (mg/L)	0.0629	< 0.0037	> 94.1

Tabla XXXV. Porcentajes de Remoción de los parámetros analizados en la corrida del filtro de Carbón D

En cuanto al filtro de Carbón Activado Convencional Norit, hecho a partir de estopa de coco como medio filtrante, obtuvo remociones altas de todos los parámetros, menos de Dureza y de DBO₅, con un 4.3% y 44.4% respectivamente.

Se concluye que el carbón activado convencional, que emplea estopa de coco como material precursor, resultó excelente removiendo el 100% de coliformes totales y más del 94.1% de Arsénico.

4.2.1.5 Análisis general de muestras filtradas

La siguiente tabla nos permite comparar y analizar los resultados de los mismos parámetros del agua, luego de pasar por diferentes filtros. Sírvase considerar, en todos los casos, a la tabla 2, Anexo 1 del Libro IV del TULAS como la norma guía para los límites máximos permitidos en aguas de consumo humano.

Inmediatamente después se presenta el resumen comparativo de los porcentajes de remoción de cada parámetro considerado en esta tabla, de tal manera que se facilita su comprensión.

Muestra	PARÁMETROS	Concentración Inicial	Concentración Final (Filtrado por varios tipos de Carbón Activado)				Límite Máximo Permissible AAPP (TULAS)
			A (Plátano)	B (Arroz)	C (Zapote)	D (Convencional)	
Río Daule	Turbidez (UNT)	8.0	2.0	0.5	0.5	1.0	10
	DBO5 (mg O2/L)	0.9	0.2	0.3	0.2	0.5	2.0
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	2269.0	8202.0	3941.7	60.1	500
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	400.0	Ausencia	Ausencia	50
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	11 (Nitrato y Nitrito)
	Dureza (mg/L)	56.4	54.0	2.8	31.2	54.0	500
	Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	0.0035	< 0.0031	0.0066	0.05
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0087	0.0094	0.0047	< 0.0037	1.0

Tabla XXXVI. Resumen de Parámetros Analizados del agua filtrada por varios tipos de Carbón Activado

- Para el parámetro de turbidez, la norma indica una máxima concentración permisible de 10 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), encontrándose a los carbones activados proveniente del arroz y del zapote como los que adsorbieron mayor turbidez, dejando 0.5 UNT de concentración.
- Para el parámetro de demanda biológica de oxígeno (DBO_5), la norma indica una máxima concentración permisible de 2.0 mg O_2/L , encontrándose a los carbones activados proveniente del plátano y del zapote como los que adsorbieron mayor DBO_5 , dejando 0.2 mg O_2/L de concentración.
- En el parámetro de Sólidos Totales nos encontramos con resultados aberrantes; debido a inconvenientes con el diseño del filtro ya que la malla cubierta, que retenía el carbón activado granular, no resultó ser eficiente en dicha función y permitió el paso de los finos del material.
- Para Coliformes Totales, la norma indica una máxima concentración permisible de 50 NMP/100 mL, Se encontró óptimos a todos los carbones activados por cuanto adsorbieron toda la concentración de coliformes presente, no así el proveniente del arroz.
- Para el Nitrógeno, la norma indica una máxima concentración permisible de 10 mg/L y 1 mg/L para nitrato y nitrito respectivamente, dando un total de 11 mg/L de nitrógeno; Encontrándose a todos los

carbones activados capaces de adsorberlo, ya que dejan una concentración menor de 4 mg/L presentes en el agua.

- Para dureza, la norma indica una máxima concentración permisible de 500 mg/L, encontrándose al carbón proveniente del arroz como el que adsorbe mayor dureza, dejando 2.8 mg/L de concentración.
- Para el parámetro de Arsénico, la norma indica una máxima concentración permisible de 0.05 mg /L, encontrándose a los carbones activados proveniente del plátano y del zapote como los que adsorbieron mayor arsénico, dejando menos de 0.0031 mg/L de concentración.
- Para el parámetro de Cobre, la norma indica una máxima concentración permisible de 1.0 mg /L, encontrándose al carbón activado convencional como el que adsorbe mayor cobre, dejando menos de 0.0037 mg/L de concentración. E inmediatamente atrás le sigue en capacidad el carbón proveniente del zapote, dejando una concentración de 0.0047 mg/L.

Muestra	PARÁMETROS	Concentración contaminante Inicial [Si]	Cargas Contaminante Final [Sf]				% de Remoción $[(Si-Sf)/Si]*100$			
			A (Plátano)	B (Arroz)	C (Zapote)	D (Convencional)	A	B	C	D
Río Daule	Turbidez (UNT)	8.0	2.0	0.5	0.5	1.0	75.0	93.8	93.8	87.5
	DBO5 (mg O2/L)	0.9	0.2	0.3	0.2	0.5	77.8	66.7	77.8	44.4
	Sólidos Totales (mg/L)	49.1	2269.0	8202.0	3941.7	60.1	-	-	-	-
	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	400.0	Ausencia	Ausencia	100.0	20.0	100.0	100.0
Río Tenguel	Nitrógeno (mg/L)	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	-	-	-	-
	Dureza (mg/L)	56.4	54.0	2.8	31.2	54.0	4.3	95.0	44.7	4.3
	Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	0.0035	< 0.0031	0.0066	> 94.8	94.2	> 94.8	89.0
	Cobre (mg/L)	0.0629	0.0087	0.0094	0.0047	< 0.0037	86.2	85.1	92.5	> 94.1

Tabla XXXVII. Resumen de Parámetros Analizados del agua filtrada por varios tipos de Carbón Activado

- En esta tabla se puede observar y comparar los porcentajes de remoción de los mismos parámetros analizados, luego de haber pasado por diferentes medios filtrantes. Determinando de esta manera qué tipo de carbón es más eficiente que otro en función del parámetro a considerarse, según la utilidad o actividad que se le desee atribuir.
- Por los resultados que se logran apreciar en esta investigación se puede concluir que los tres materiales utilizados para la elaboración de carbón activado han resultado buenos materiales precursores, ya que a simple vista se aprecia como los porcentajes de remoción de la mayoría de los parámetros de los tres tipos de carbón superan la remoción de los contaminantes del carbón convencional. Por tanto si es conveniente para nuestro medio e industria utilizar estos materiales, que generalmente son desechados, para la elaboración de un producto tan beneficioso como lo es el carbón activado.
- También se puede concluir, de manera general, que el tipo de carbón activado que sobresalió por su eficiencia al momento de adsorber los contaminantes considerados, fue el proveniente de las pepas de zapote. Obsérvese que sólo en el parámetro de dureza es superado por el carbón activado proveniente del arroz; y aunque éste es muy bueno no se puede emplear como medio filtrante para la purificación del agua, ya que su capacidad de adsorber coliformes totales es inaceptable para tratar aguas de consumo humano.

4.2.2 Capacidades de Adsorción.

4.2.2.1 Isotherma de adsorción de Langmuir – Cáscara de plátano

Primero debemos realizar una estimación de 10.0 mililitros de ácido acético 0.5 Molar utilizando el hidróxido de sodio 1.0 M como agente de valoración.

$$C_1V_1=C_2 V_2 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$V_1=39.3$$

Concentración de hidróxido de sodio	Volumen de ácido acético	volumen de hidróxido de sodio
0,1009	10	39,3

Tabla XXXVIII. Datos Isotherma cáscara de plátano

Muestra	w masa de Carbón (g)	agua	CH ₃ COOH	[CH ₃ COOH] iniciales	Moles Iniciales de acético	C= [CH ₃ COOH] equilibrio	Moles Finales de acético	nads= Moles de acético	nads/w
1	2	0	100	0.3965	0.3965	40.7	0.0041	0.3924	0.1962
2	2	20	80	0.3172	0.3965	34.2	0.0035	0.3931	0.1965
3	2	40	60	0.2379	0.3965	25.6	0.0026	0.3940	0.1970
4	2	60	40	0.1586	0.3965	18.3	0.0018	0.3947	0.1973
5	2	80	20	0.0793	0.3965	10.3	0.0010	0.3955	0.1977
6	2	90	10	0.0397	0.3965	7	0.0007	0.3958	0.1979

Tabla XXXIX. Datos para realizar la Isotherma de Langmuir

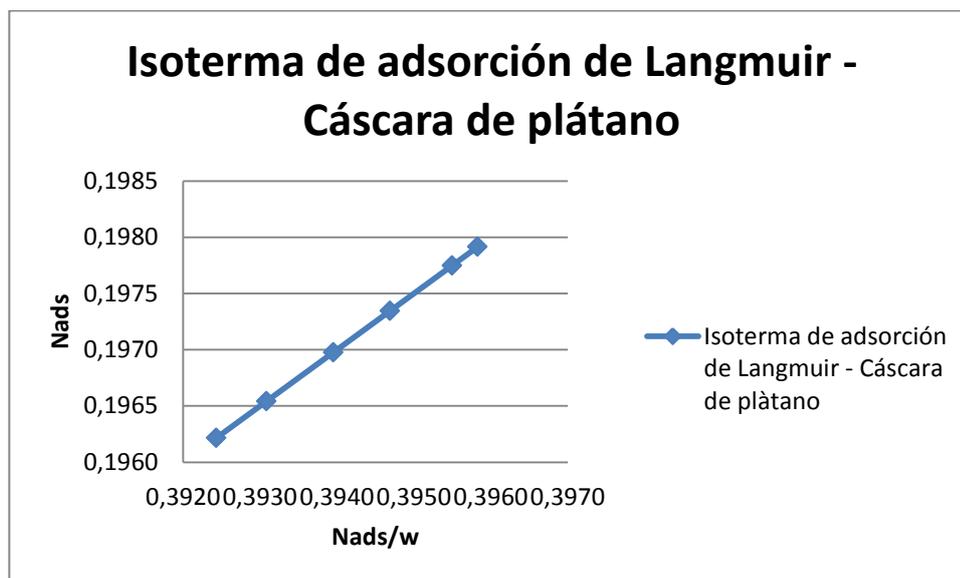


Figura 4–7. Isoterma de adsorción de Langmuir-Cáscara de plátano

4.2.2.2 Isoterma de adsorción de Langmuir – Cascarilla de arroz

Primero debemos realizar una estimación de 10.0 mililitros de ácido acético 0.5 Molar utilizando el hidróxido de sodio 1.0 M como agente de valoración.

$$C_1V_1=C_2 V_{22} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$V_1=41.1$$

Concentración de hidróxido de sodio	Volumen de ácido acético	volumen de hidróxido de sodio
0,1009	10	41.1

Tabla XL. Datos Isoterma cascarilla de arroz

Muestra	w masa de Carbón (g)	agua	CH ₃ COOH	[CH ₃ COOH] iniciales	Moles Iniciales de acético	C= [CH ₃ COOH] equilibrio	Moles Finales de acético	nads= Moles de acético	nads/w
1	2	0	100	0.4147	0.4147	50.3	0.0051	0.409 6	0.204 8
2	2	20	80	0.3318	0.4147	42.6	0.0043	0.410 4	0.205 2
3	2	40	60	0.2488	0.4147	34	0.0034	0.411 3	0.205 6
4	2	60	40	0.1659	0.4147	26.8	0.0027	0.412 0	0.206 0
5	2	80	20	0.0829	0.4147	18.3	0.0018	0.412 9	0.206 4
6	2	90	10	0.0415	0.4147	15	0.0015	0.413 2	0.206 6

Tabla XLI. Datos para realizar la Isoterma de Langmuir

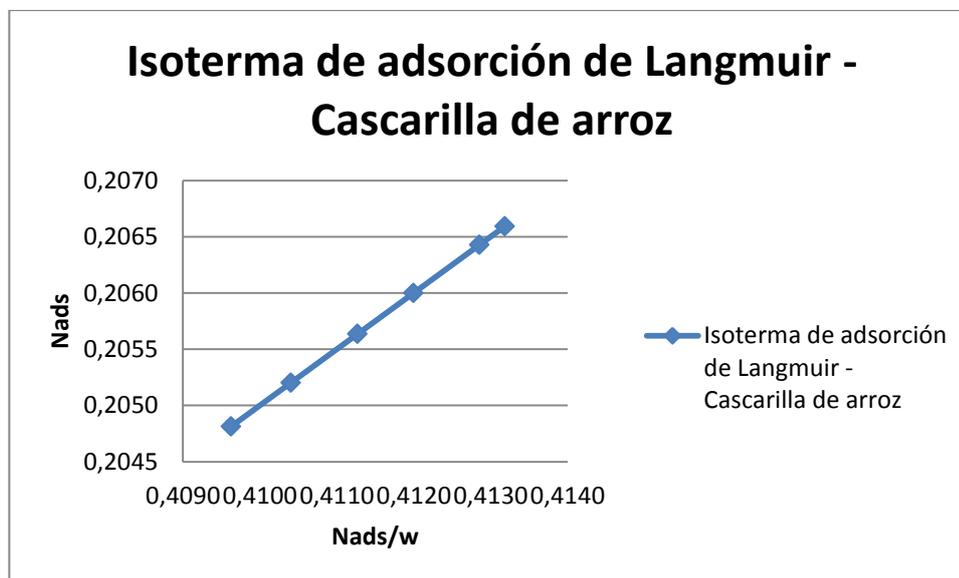


Figura 4–8. Isoterma de adsorción de Langmuir-Cascarilla de arroz

4.2.2.3 Isotherma de adsorción de Langmuir – Pepa de Zapote

Primero debemos realizar una estimación de 10.0 mililitros de ácido acético 0.5 Molar utilizando el hidróxido de sodio 1.0 M como agente de valoración.

$$C_1V_1=C_2 V_2 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$V_1=39.3$$

Concentración de hidróxido de sodio	Volumen de ácido acético	volumen de hidróxido de sodio
0,1009	10	39,3

Tabla XLII. Datos Isotherma pepa de zapote

Muestra	w masa de Carbón (g)	agua	CH ₃ COOH	[CH ₃ COOH] iniciales	Moles Iniciales de acético	C= [CH ₃ COOH] equilibrio	Moles Finales de acético	nads= Moles de acético	nads/w
1	2	0	100	0,4052	0,4052	41,3	0,0043	0,4009	0,2005
2	2	20	80	0,3241	0,4052	32,5	0,0034	0,4018	0,2009
3	2	40	60	0,2431	0,4052	24,6	0,0025	0,4026	0,2013
4	2	60	40	0,1621	0,4052	18	0,0019	0,4033	0,2017
5	2	80	20	0,0810	0,4052	9,8	0,0010	0,4042	0,2021
6	2	90	10	0,0405	0,4052	6,4	0,0007	0,4045	0,2023

Tabla XLIII. Datos para realizar la Isotherma de Langmuir

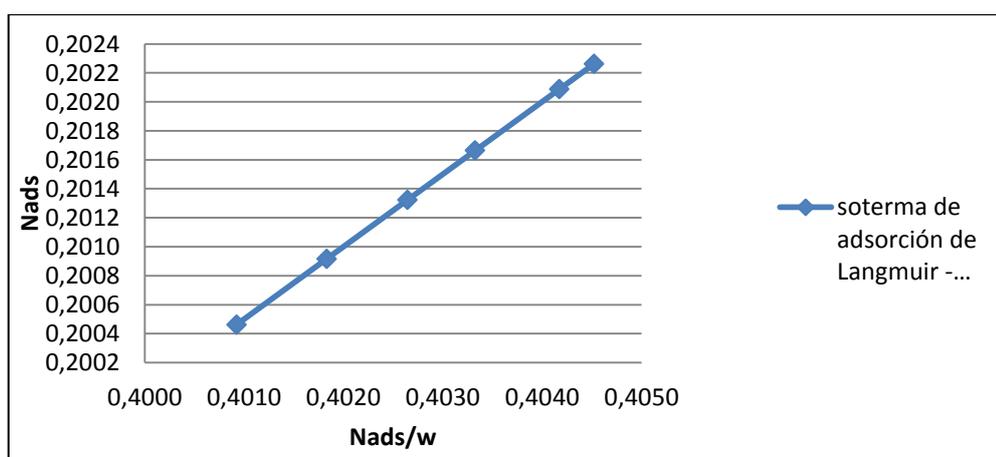


Figura 4–9. Isotherma de adsorción de Langmuir-Pepa de zapote

4.2.2.4 Isotherma de adsorción de Langmuir – Carbón comercial

Primero debemos realiza una valoración de 10.0 mL de ácido acético 0.5 M utilizando el NaOH 1.0 M como agente valorante.

$$C_1V_1=C_2 V_{2,2} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$V_1=39.7$$

Concentración de hidróxido de sodio	Volumen de ácido acético	volumen de hidróxido de sodio
0.1026	10	39.7

Tabla XLIV. Datos

Muestra	w masa de Carbón (g)	agua	CH ₃ COOH	[CH ₃ COOH] iniciales	Moles Iniciales de acético	C= [CH ₃ COOH] equilibrio	Moles Finales de acético	nads= Moles de acético	nads/w
1	2	0	100	0.40732	$\frac{0.4073}{2}$	36.6	0.0038	$\frac{0.403}{6}$	$\frac{0.201}{8}$
2	2	20	80	0.32586	$\frac{0.4073}{2}$	27.6	0.0028	$\frac{0.404}{5}$	$\frac{0.202}{2}$
3	2	40	60	0.24439	$\frac{0.4073}{2}$	21.6	0.0022	$\frac{0.405}{1}$	$\frac{0.202}{6}$
4	2	60	40	0.16293	$\frac{0.4073}{2}$	14.6	0.0015	$\frac{0.405}{8}$	$\frac{0.202}{9}$
5	2	80	20	0.08146	$\frac{0.4073}{2}$	6.6	0.0007	$\frac{0.406}{6}$	$\frac{0.203}{3}$
6	2	90	10	0.04073	$\frac{0.4073}{2}$	3	0.0003	$\frac{0.407}{0}$	$\frac{0.203}{5}$

Tabla XLV. Datos para realizar la Isotherma de Langmuir

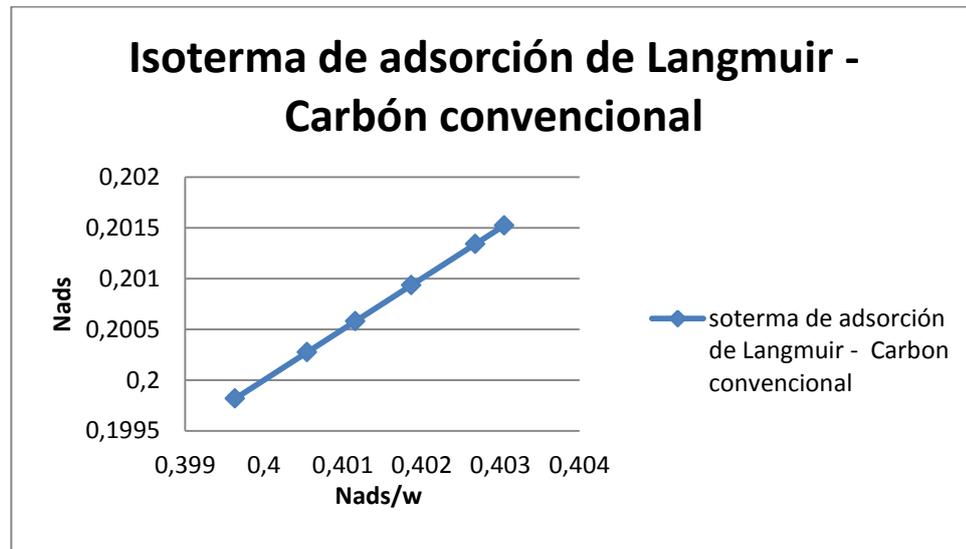


Figura 4–10. Isoterma de adsorción de Langmuir-Carbón Convencional

En esta práctica se pudo analizar la absorción de los carbones obtenidos a partir de cuatro materiales diferentes.

Se puede concluir que a medida que el ácido acético disminuye, disminuye también la relación de la cantidad absorbida por el carbono.

Se verifico también la forma lineal que tiene la isoterma de langmuir y la eficacia que tiene al determinar la absorción del carbón activado ya que de otra manera no se podría obtener un dato preciso.

El carbón activado con un grado de absorción mayor en nuestro análisis fue el carbón convencional, seguido por la pepa del sapote, la cáscara del plátano y por último el cascarilla de arroz

5. CAPITULO V

5.1 Conclusiones

1. Se comprobó, por medio de los ensayos en el agua tratada, que el carbón activado obtenido de los materiales no convencionales utilizados alcanzaron un porcentaje de purificación eficaz en comparación con el carbón activado convencional, lo que comprueba la hipótesis de este estudio.
2. Se demostró que los materiales elegidos para el desarrollo de este proyecto fueron idóneos para el estudio y elaboración de carbón activo, estos fueron escogidos por ser desechos abundantes en la flora de nuestro país y por su disponibilidad en nuestra zona geográfica.
3. Se pudo concluir que el método de activación química fue un proceso viable para la obtención de un carbón activado con grado de eficiencia aceptable según los parámetros comparados, sin embargo al usar

como agente activador el ácido fosfórico y no haberlo removido en su totalidad influyo en el pH presente en el producto final.

4. Al evaluar las características físicas y químicas de los tres tipos de carbón se puede concluir que: la cascarilla del arroz tiene un mayor rendimiento, con un porcentaje del 84% de la materia prima inicial; el contenido de humedad, la densidad aparente y el tamaño efectivo son parámetros en común de los tres carbonos obtenidos, los cuales cumplen con los rangos normados para un carbón activo granular.
5. Los resultados de los análisis de turbidez, DBO₅, nitrógeno total kjedahl, dureza total, metal pesado: arsénico y cobre del producto obtenido después del filtrado en los tres tipos de carbón activado cumplen con los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.
6. Se puede concluir que la adsorción del carbón proveniente de la cascarilla del arroz y la pepa de zapote en comparación con el carbón comercial (NORIT GAC 830) fueron las más eficientes. Se usó la Isoterma de Langmuir para tal comparación.
7. Se obtuvo como resultado que en los tres carbonos fue efectiva la adsorción de los metales pesados arsénico y cobre.
8. Se concluye que los coliformes totales fueron removidos eficazmente, con el carbón proveniente de la cáscara de plátano y el de la pepa de

zapote mientras que la dureza total fue removida en mayor medida por la cascarilla de arroz.

9. Se puede concluir de todos los parámetros analizados el carbón proveniente de la pepa de zapote obtuvo la mayor cantidad de resultados satisfactorios para ser utilizado como medio filtrante en el proceso de interés.
10. Se concluye que la cascarilla de arroz no pudo ser considerada la mejor entre los tres carbonos elaborados por motivo que no cumplió con la remoción adecuada de los coliformes totales en comparación con el carbón de la pepa del zapote, debido a la limitación económica para generar otro estudio no se pudo comprobar si la cascarilla del arroz tenía coliformes al momento de su recolección.

5.2 Recomendaciones

1. Realizar investigaciones con el fin de combinar proporcionalmente varios tipos de carbono, aprovechando sus propiedades individuales.
2. Realizar adicionalmente el análisis para obtener el tiempo y grado de saturación del carbón activo.
3. Se debe diseñar un filtro que tome en cuenta el tamaño mínimo de las partículas del carbón obtenido y retenga la parte final del material, de tal manera que no altere la cantidad de sólidos totales en el agua filtrada.
4. Se recomienda utilizar este tipo de descontaminante en nuestro país, como una tecnología preventiva de futuras enfermedades generadas por efluentes contaminados por desechos mineros.
5. Verificar la capacidad de remoción de pesticidas, sólidos suspendidos y otros metales pesados.

ANEXOS

ANEXO 1: Ensayos para calcular las propiedades del carbón activado

1. Ensayos en el carbón activado obtenido de cáscara de plátano, cascarilla de arroz y pepa de zapote.

- Rendimiento
- Granulometría
- Contenido de Humedad
- Densidad Aparente
- Número de Yodo
- Contenido de material Volátil
- Contenido de cenizas
- Azul de metileno
- Isotherma de Langmuir

1.1. Rendimiento

Se pesa en gramos la muestra antes del proceso de generación del carbón activado y luego de terminar el proceso, con esto obtendremos el rendimiento que tiene cada material. (Delgadillo Gamboa & Sun Kou, 2009)

A continuación se muestra la fórmula para obtener el porcentaje de rendimiento:

$$\%Rendimiento = 100 * \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \quad Ec. (1)$$

1.2. Granulometría

1.2.1. Alcance

Este método consiste en clasificar por tamaños los gramos que componen el carbón activado (CEFIC, 1986)

1.2.2. Aparatos y materiales

Juego de tamices

Balanza de 0,01 gr de aproximación

90 gr de carbón activado

1.2.3. Muestra

Seque una muestra adecuada de carbón activado hasta peso constante a 90gr.

1.2.4. Procedimiento

Pesar la muestra y colocar el juego de mallas sucesivamente. Se agrega la muestra y se agita horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra.

Se hacen pesadas en las fracciones retenidas en cada malla y en la charola del fondo, procediendo de la forma indicada. (CEFIC, 1986)

1.2.5. Resultado

Se procede anotar el peso retenido en cada malla y se realiza los cálculos requeridos para después graficar la curva granulometría. Se realiza la curva granulométrica y se procede a calcular el tamaño efectivo.

GRANULOMETRIA					
N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	4,75				
6	3,35				
8	2,36				
10	2,00				
12	1,70				
16	1,18				
18	1,00				
20	0,85				
30	0,60				
35	0,50				
40	0,43				
FONDO					

El tamaño efectivo es aquel donde se calcula el D10: llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10 % en peso del suelo. (CEFIC, 1986)

1.3. Contenido de Humedad

1.3.1. Alcance

Este método cubre la determinación del contenido de humedad de carbón activado. Se utiliza el método de secado en horno cuando el agua es el único material volátil presente en el carbón activado. (Un método de destilación de xileno se utiliza cuando el carbono se sabe o se sospecha que es sensible al

calor o para contener compuestos volátiles insolubles en agua, tal como el agua). (CEFIC, 1986)

1.3.2. Principios

El calentamiento de la muestra en un horno a temperatura constante hasta lograr un peso constante. (CEFIC, 1986)

1.3.3. Aparatos y materiales

Horno a 150°C

Crisol

1.3.4. Muestreo

- Carbón activado en polvo.

Tome de 1 a 2g representativa de la muestra, con una cuchara o espátula de la botella de la muestra. (CEFIC, 1986)

1.3.5. Procedimiento

Coloque la muestra en un frasco de secado o crisol previamente tarado pesaje, cierre y pese 2 gr. La profundidad del carbono en el recipiente no debe exceder de 1,25 cm.

Coloque el recipiente en un horno de circulación forzada precalentado (a 150°C), Cerrar la estufa y secar hasta peso constante (3h es normalmente suficiente),

Abrir la estufa y enfriar en un desecador a la temperatura ambiente y pesar.

(CEFIC, 1986)

1.3.6. Resultado

El contenido de humedad M_c en % está dado por:

$$M_c = 100 * \frac{B-F}{B-G} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde

B = Masa del recipiente con tapa más el de la muestra original en g.

F = Masa del recipiente con tapa más muestra seca en g.

G = Masa del recipiente con la tapa en g. (CEFIC, 1986)

1.4. Densidad Aparente

1.4.1. Alcance

La densidad aparente se define como la masa de una unidad de volumen de la muestra en el aire, que incluye tanto el sistema de poros y los huecos entre las partículas. Se expresa como Kg.m⁻³ en seco.

La densidad aparente del carbón activado depende de la forma, el tamaño y la densidad de las partículas individuales. Los datos de densidad aparente son útiles para la estimación de tanque o el volumen de embalaje. (CEFIC, 1986)

1.4.2. Aparatos y materiales

- Balanza
- Probeta
- Carbones activados en polvo

1.4.3. Muestra

La muestra de carbón activado puede ser ensayada en seco, o como se reciba. La densidad aparente se expresa como la de material seco. El contenido de humedad debe ser previamente calculado. (CEFIC, 1986)

1.4.4. Procedimiento

- Se pesa la cantidad de muestra que se obtenga en un volumen dado de una probeta aforada (volumen constante). El procedimiento se repite 5 veces y se saca el promedio.
- Se calcula la densidad aparente de la siguiente ecuación. (CEFIC, 1986)

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra en gr} \times 100\% - \% \text{humedad}}{\text{Volumen de la muestra en cm}^3 \times 100} \quad \text{Ec. (3)}$$

1.5. Número de Yodo

1.5.1. Alcance

La determinación del índice de yodo es una prueba simple y rápida, dando una indicación de la superficie interna de carbón activado (CEFIC, 1986)

1.5.2. Principios

El índice de yodo se define como el número de miligramos de yodo adsorbido desde una solución acuosa por 2 g de carbón activo cuando la concentración de yodo del filtrado residual es 0,02 N. (CEFIC, 1986)

1.5.3. Aparatos y materiales

- Frasco de vidrio con tapón, pipetas, buretas
- Filtros plegados, Whatman 2V, 18 cm 0.
- Placas calientes
- Ácido clorhídrico, 5 por ciento (w/w),
- Solución de tiosulfato de sodio, 0,10 N, estandarizada,
- Solución de Yodo, 0.10 N, estandarizada,
- Solución de almidón.

1.1. Muestra

El carbón activado granular se pulveriza ($<0,1$ mm) y luego se secó a 150° C hasta peso constante. (CEFIC, 1986)

1.5.4. Procedimiento

Dependiendo de la actividad del carbono, pesar 0,700 a 2,000 g de carbono seco y transferir la muestra pesada a un matraz de cristal 250 ml.

Pipetear 10 ml de 5% HC1 en el frasco y agitar hasta que se humedece el carbón activado.

Colocar el matraz en una placa caliente, llevar el contenido a ebullición y dejar hervir durante 30 segundos exactamente.

Permitir que el matraz y su contenido se enfríen a temperatura ambiente, a

continuación, agregar una pipeta 100 ml de 0,10 N solución de yodo.

Tapar el frasco inmediatamente y agitar vigorosamente durante 30 segundos, Filtrar por gravedad a través de un papel de filtro inmediatamente después de los 30 segundos,

Deseche los 20 iniciales - 30 ml de filtrado y recoger el resto en un vaso de precipitado limpio.

Se agita el filtrado en el vaso de precipitado con una varilla de vidrio y se debe pipetear 50 ml en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se valora la muestra de 50 ml con solución de tiosulfato de sodio 0.10N hasta que el color amarillo casi ha desaparecido, Añadir alrededor de 1 ml de solución de almidón y continuar la valoración hasta que el color azul del indicador desaparezca. Registrar el volumen de solución de tiosulfato de sodio utilizado. (CEFIC, 1986)

1.5.5. Resultado

Calcular el número de yodo en el carbono usando la ecuación:

$$I.I. = \frac{(W - S)12,69 * 01}{W} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

I.I.= Índice de yodo

B= Gasto del blanco

M= Gasto de la muestra

W= Gramos de muestra

N=0.1 Normalidad

(CEFIC, 1986)

1.6. Contenido de material Volátil

1.6.1. Alcance

Este método cubre la determinación del contenido de material volátil de carbón activado. (CEFIC, 1986)

1.6.2. Principios

La ignición de la muestra hasta peso constante. (CEFIC, 1986)

1.6.3. Aparatos y materiales

Horno de mufla con circulación de aire, de regulación de la temperatura a 650 ± 25 ° C.

Crisol de alta temperatura.

Balanza analítica, con una sensibilidad de 0,1 mg.

Desecador que contenga un deshidratante eficaz. (CEFIC, 1986)

1.6.4. Muestra

Seque una muestra adecuada de carbón activado hasta peso constante a 150 ° C (3h suele ser suficiente). (CEFIC, 1986)

1.6.5. Procedimiento

Encender el crisol en el horno de mufla a 650 ± 25 ° C durante 1 h. Colocar el crisol en el desecador. Enfriar a temperatura ambiente y pesar con precisión de 0,1 mg. (CEFIC, 1986)

Pesar, con precisión de carbono seca activada una precisión de 0,1 mg suficiente, de modo que el importe estimado de la ceniza será 0,1 g, en el crisol encendido.

Colocar el crisol en el horno a 650 ± 25 ° C. Se procede a calentar el crisol durante 1h, dependiendo del tipo de carbón activado y su tamaño de partícula. Colocar el crisol en el desecador y dejar enfriar a temperatura ambiente.

Cuando esté fría, dejar que entre aire lentamente para evitar la pérdida de la ceniza del crisol, pesar, con precisión de 0,1 mg. (CEFIC, 1986)

1.6.6. Resultado

El contenido de material volátil Mv está dado por:

$$Mv = \frac{(Mc + M) - (Mc + M')}{V} \quad \text{Ec. (5)}$$

Mc= Masa del crisol

M= Masa muestra a 150°C

M'= Masa muestra a 650°C

V= Volumen (CEFIC, 1986)

1.7. Contenido de cenizas

1.7.1. Alcance

Este método cubre la determinación del contenido total de ceniza de carbón activado. (CEFIC, 1986)

1.7.2. Principios

La ignición de la muestra hasta peso constante. (CEFIC, 1986)

1.7.3. Aparatos y materiales

Horno de mufla con circulación de aire, de regulación de la temperatura a 650 ± 25 ° C.

Crisol de alta temperatura.

Balanza analítica, con una sensibilidad de 0,1 mg.

Desecador que contenga un deshidratante eficaz. (CEFIC, 1986)

1.7.4. Muestra

Seque una muestra adecuada de carbón activado hasta peso constante a 150 ° C (3h suele ser suficiente). (CEFIC, 1986)

1.7.5. Procedimiento

Encender el crisol en el horno de mufla a 650 ± 25 ° C durante 1 h. Colocar el crisol en el desecador. Enfriar a temperatura ambiente y pesar con precisión de 0,1 mg. (CEFIC, 1986)

Pesar, con precisión de carbono seca activada una precisión de 0,1 mg suficiente, de modo que el importe estimado de la ceniza será 0,1 g, en el crisol encendido.

Colocar el crisol en el horno a 650 ± 25 ° C. La incineración tomará de 3 a 16 h, dependiendo del tipo de carbón activado y su tamaño de partícula. La incineración puede considerarse completa cuando se alcanza un peso constante.

Colocar el crisol en el desecador y dejar enfriar a temperatura ambiente.

Cuando esté fría, dejar que entre aire lentamente para evitar la pérdida de la ceniza del crisol, pesar, con precisión de 0,1 mg. (CEFIC, 1986)

1.7.6. Resultado

El contenido de cenizas A_c se da en %:

$$A_c = 100 \frac{F - G}{B - G} \quad \text{Ec. (6)}$$

G = masa del crisol vacío en g

B = masa del crisol más muestra seca en g

F = masa del crisol más muestra incinerada en g (CEFIC, 1986)

1.8. PH

1.8.1. Alcance

El carbón activado en su superficie lleva grupos inorgánicos y químicamente activos que pueden alterar el pH de los líquidos a los que se añade.

Dada una prueba estándar predecible, una buena aproximación de las condiciones reales. (CEFIC, 1986)

1.8.2. Principio

De acuerdo con el siguiente procedimiento la muestra de carbono se extrae con agua hirviendo. El pH del extracto obtenido se define como el valor de pH del carbón activado. (CEFIC, 1986)

1.8.3. Aparatos y materiales

Medidor de pH:

Legible en 0,1 unidades de pH, con electrodo de vidrio y electrodo de referencia, rango de temperatura hasta 80 ° C. El electrodo de referencia se debe impedir la obstrucción por partículas de carbón activado.

Termómetro, 100°C,

Placas calientes

Agua destilada

Solución reguladora pH 7.00.

Solución reguladora pH 4.00.

1.8.4. Muestra

Utilice carbón en polvo como se recibió o moler carbón granular. No seco.
(CEFIC, 1986)

1.8.5. Procedimiento

Pesar 4,0 g de carbono en un vaso de 250 ml, añadir 100 ml de agua destilada, CO₂ libre (hervida) agua, cubrir con un vidrio de reloj y dejar hervir sobre la placa caliente durante 5 minutos. Inserte el termómetro y deje reposar por unos minutos para permitir que la mayor parte de las partículas de carbón activado se asiente. Vierta el líquido sobrenadante lo antes

posible y antes de que se enfría a 60 ° C. (CEFIC, 1986)

Se enfría la porción decantada a temperatura ambiente y medir el pH con un decimal. (CEFIC, 1986)

1.8.6. Resultado

Registre el resultado de la determinación de pH, con un decimal.

1.9. Azul de metileno

1.9.1. Alcance

El valor de azul de metileno da una indicación de la capacidad de adsorción de un carbón activado para moléculas que tienen dimensiones similares a azul de metileno. Es un método rápido para la comparación de los diferentes lotes de carbón activado de la misma calidad. (CEFIC, 1986)

1.9.2. Principio

El valor de azul de metileno se define como el número de mililitros estándar de solución de azul de metileno decolorado por 0,1 g de carbón activo (base seca). (CEFIC, 1986)

1.9.3. Aparatos y materiales

- Frasco de cristal tapado,
- Filtros,

- Solución de azul de metileno:

Disolver una cantidad, equivalente a 1.200 mg de colorante puro (aprox. 1,5 g Azul de metileno DAB VI o equivalente *) a 1000 ml en un matraz aforado. Deje reposar la solución durante varias horas o durante la noche.

Comprobar la solución mediante la dilución de 5,0 ml con 0,25% (v / v) de ácido acético a 11 en un matraz volumétrico y la medición de la absorbancia a 620 nm para 1 cm. La absorbancia debe ser $0,840 \pm 0,01$,

Si la absorbancia es mayor, se diluye con la cantidad calculada de agua. Si es menor, deseche la solución y volver a empezar. (CEFIC, 1986)

1.9.4. Muestra

El carbón activado granular se pulveriza (<0,1 mm) y luego se seca a 150 °C hasta peso constante. (CEFIC, 1986)

1.9.5. Procedimiento

Póngase en contacto con exactamente 0,1 g de la muestra de carbono con 25 ml de la solución de ensayo de azul de metileno en un matraz con tapón de vidrio. (CEFIC, 1986)

Agite hasta que se produzca la decoloración. A continuación, añadir otros 5ml de la solución de prueba de azul de metileno y agitar a la decoloración.

Repetir la adición de solución de ensayo de azul de metileno en porciones de 5ml mientras la decoloración se produce dentro de los cinco minutos.

(CEFIC, 1986)

1.9.6. Resultado

El volumen de solución de ensayo de azul de metileno en ml que sólo se decolora, es el valor de azul de metileno del carbón activado, (CEFIC, 1986)

1.10. Isoterma de adsorción de Langmuir

MATERIALES

2 probetas de 100 mL

1 bureta de 50 mL

1 pipeta de 10 mL

2 vasos de precipitados de 100 mL

1 vaso de precipitados de 250 mL

6 matraces Erlenmeyer de 250 mL con tapón

2 matraces Erlenmeyer de 100 mL

Cuentagotas, varilla, embudo y pera de pipetas.

Papel de filtro Albet-135.

REACTIVOS

NaOH 1.0 M

Ácido Acético 0.5 M

Carbón vegetal activo

Fenolftaleína

Determinación Experimental de la Isoterma de Langmuir

El experimento consta de las siguientes etapas

- a) Se prepara una serie de soluciones de ácido acético con diferentes concentraciones, a lo que se le añadirá las diferentes muestras de carbón activado y luego tendrá lugar la adsorción.
- b) Después de haber alcanzado un equilibrio en la absorción, se valoran las disoluciones de ácido acético con hidróxido de sodio e indicador químico fenolftaleína.
- c) conocida la concentración de ácido en equilibrio con el ácido que se absorbió se calculan los moles de ácido acético que se absorbió por cada gramo de sustrato.

d) Finalmente, todos los datos nos conducirán a los parámetros de la isoterma, y se podrá realizar el mismo procedimiento con las diferentes muestras de carbón activado.

Pasos concretos a ejecutar:

1) Realiza una tasación de 10.0 mL de ácido acético 0.5 Molar luego utilizamos el hidróxido de sodio 1.0 Molar como agente valorante.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Lavar la bureta con hidróxido de sodio.
- Poner 10 mL de ácido acético en el matraz erlenmeyer de 100mL. Añade tres gotas de indicador fenolftaleína.

Ve NaOH (punto final) =	39.3	mL
-------------------------	------	----

$C_1V_1=C_2V_2$ Ec. (7)

$V_1=39.3$

Concentración Exacta de $CH_3COOH = 0,405$
--

$C_1V_1=C_2V_2$

2) Preparar cuidadosamente 6 muestras de carbón activado de 2.00 gramos cada una. Y utilizando los matraces Erlenmeyer numerados deben ser tapados.

3) Utilizando probetas, se medirán consecutivamente los volúmenes de ácido acético y agua destilada que se describen en la tabla siguiente. Luego se

añade estas cantidades ya medidas en el matraz Erlenmeyer ya medido.
Este procedimiento se realiza con cada uno de los carbones que tenemos.

Muestra numero 1: Pepa de Zapote

Muestra numero 2: Cáscara de Plátano

Muestra numero 3: Cascarilla de arroz

Muestra numero 3: Carbón Convencional

Matraz N°	1	2	3	4	5	6
w Carbón (g)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Agua (mL)	0	20	40	60	80	90
CH ₃ COOH (mL)	100	80	60	40	20	10
[CH ₃ COOH]inicial						

4) Para determinar las diferentes concentraciones de CH₃COOH una vez que alcanzo el equilibrio y se siguen los pasos siguientes:

- Filtrar con papel filtro 20 mL de la disolución 1 del primer carbón activo.
- Medir exactamente 10 mL de la disolución filtrada en una probeta y recoger en el matraz para valoraciones y luego se le añade dos gotas de fenolftaleína.
- Se encuentra la concentración en equilibrio del ácido acético con el carbón activo
- Se Repiten estos pasos con las soluciones siguientes hasta la 6.

- cuando se realiza la primera valoración se repite el proceso para cada una de ellas filtrándolas.

- Después de realizar este proceso se puede realizar los mismos pasos para cada una de las muestras de carbón activo y se encuentra el V_e NaOH (mL).

Muestra numero 1: Pepa de Zapote

Muestra numero 2: Cáscara de Plátano

Muestra numero 3: Cascarilla de Arroz

Muestra numero 4: Carbón Convencional

Matraz N.	1	2	3	4	5	6
V_e NaOH (mL)						

Resultados experimentales

Después de completados todos los experimentos y obtenidos los datos de la valoración con simples cálculos de estequiometria se puede determinar la cantidad de ácido acético adsorbido por unidad de masa de carbón activo.

Luego se completa la tabla siguiente:

Muestra numero 1: Pepa de Zapote

Muestra numero 2: Cáscara de Plátano

Muestra numero 3: Cascarilla de Arroz

Muestra numero 4: Carbón Convencional

Matraz N°	1	2	3	4	5	6
w masa de Carbón (g)						
[CH₃COOH]iniciales						
Moles Iniciales de acético en disolución						
C= [CH₃COOH]equilibrio						
Moles Finales de acético en disolución						
nads= Moles de acético Adsorbido						
nads/w						

Al final se representa gráficamente la isoterma de adsorción del experimento a temperatura normal en forma de moles de ácido acético vs masa de carbón frente a concentración de CH₃COOH en equilibrio

De la misma manera para el examen de la isoterma de Langmuir se debe representar de manera gráfica W/ nads frente a 1/ CH₃COOH y se obtiene mediante ajustes de linealidad los parámetros competentes a la isoterma, nmax y b con la ecuación.

$$\frac{w}{n_{ads}} = \left(\frac{w}{n_{max}} \right) + \left(\frac{w}{n_{max} b} \right) \frac{1}{C}$$

ANEXO 2: Ensayos realizados en el Departamento de Ciencias Químicas-
ESPOL



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Cristian Vélez Sancán**
Certificado de Análisis N°: 140C-2014
Fecha de recepción de muestra(s): 09-09-2014
Fecha de entrega de resultados: 17-09-2014

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de Análisis
Turbiedad	UNT	0,5	2130 B*
Sólidos Totales	mg/l	8.202,0	2540 B*
DBO ₅	mg O ₂ /l	0,3	5210 B*

Observaciones: Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:
"Muestra A C/A"
La muestra tiene un pH muy ácido (0,7) y sólidos disueltos elevados.
* = Métodos Estándar para análisis de aguas y aguas residuales AWWA – APHA, 22ª Ed.

PhD. Paola Almeida Guerra
Directora del Departamento de
Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como enteros.
Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como decimales.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal EC090150
Teléfonos: 2269559 – 2269552 Página web: www.icqa.espol.edu.ec e-mail: acisnero@espol.edu.ec



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Cristian Vélez Sancán**
Certificado de Análisis N°: 140B-2014
Fecha de recepción de muestra(s): 09-09-2014
Fecha de entrega de resultados: 17-09-2014

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de Análisis
Turbiedad	UNT	1,0	2130 B*
Sólidos Totales	mg/l	60,1	2540 B*
DBO ₅	mg O ₂ /l	0,5	5210 B*

Observaciones: Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:
"Muestra A C/C"

* = Métodos Estándar para análisis de aguas y aguas residuales AWWA – APHA, 22ª Ed.

PhD. Paola Almeida Guerra
Directora del Departamento de
Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/.

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total. Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.

Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como enteros.

Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como decimales.



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Cristian Vélez Sancán**
Certificado de Análisis N°: 140A-2014
Fecha de recepción de muestra(s): 09-09-2014
Fecha de entrega de resultados: 17-09-2014

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de Análisis
Turbiedad	UNT	8,0	2130 B*
Sólidos Totales	mg/l	49,1	2540 B*
DBO ₅	mg O ₂ /l	0,9	5210 B*

Observaciones: Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:
"Muestra A S/T"

* = Métodos Estándar para análisis de aguas y aguas residuales AWWA – APHA, 22ª Ed.

PhD. Paola Almeida Guerra
Directora del Departamento de
Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como enteros.
Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como decimales.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30,5 vía Perimetral, Código Postal EC090150
Teléfonos: 2269559 – 2269552 Página web: www.icqa.espol.edu.ec e-mail: acisnero@espol.edu.ec



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Cristian Vélez Sancán**
Certificado de Análisis N°: 140E-2014
Fecha de recepción de muestra(s): 09-09-2014
Fecha de entrega de resultados: 17-09-2014

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de Análisis
Turbiedad	UNT	2,0	2130 B*
Sólidos Totales	mg/l	2.269,0	2540 B*
DBO ₅	mg O ₂ /l	0,2	5210 B*

Observaciones: Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:
"Muestra A C/P"

La muestra tiene un pH muy ácido (1,2) y sólidos disueltos elevados.

* = Métodos Estándar para análisis de aguas y aguas residuales AWWA – APHA, 22ª Ed.

PhD. Paola Almeida Guerra
Directora del Departamento de
Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.

Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como enteros.

Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como decimales.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal EC090150
Teléfonos: 2269559 – 2269552 Página web: www.icqa.espol.edu.ec e-mail: acisnero@espol.edu.ec



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Cristian Vélez Sancán**
Certificado de Análisis N°: 140D-2014
Fecha de recepción de muestra(s): 09-09-2014
Fecha de entrega de resultados: 17-09-2014

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de Análisis
Turbiedad	UNT	0,5	2130 B*
Sólidos Totales	mg/l	3.941,7	2540 B*
DBO ₅	mg O ₂ /l	0,2	5210 B*

Observaciones: Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:
"Muestra A C/Z"

La muestra tiene un pH muy ácido (1,2) y sólidos disueltos elevados.

* = Métodos Estándar para análisis de aguas y aguas residuales AWWA – APHA, 22ª Ed.

PhD. Paola Almeida Guerra
Directora del Departamento de
Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total. Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.

Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como enteros.

Según el Sistema Internacional de medidas, las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como decimales.

ANEXO 3: Ensayos realizados en el laboratorio DEPROINSA S.A.

Cliente: Nadia Quijano Arteaga	Orden de trabajo: AG 043/2014
Solicitado por: Nadia Quijano Arteaga	Fecha de Recepción de Muestra: 08/09/2014
Dirección: Guaranda y San Martín Villa 1319	Fecha de Reporte: 18/09/2014
Teléfonos: 045108517	Tipo de Muestra: Agua natural de río

DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO

MUESTRA	IDENTIFICACION PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS ABSCISA NORTE	FECHA Y HORA	TURBIDEZ NTU	pH	CE $\mu\text{S/cm}$	SALINIDAD ‰	TDS mg/L	OD mg/L	TEMP °C
P3	Salida de sistema de tratamiento - Carbón de arroz	NA	08/09/2014 16:00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARAMETROS	UNIDADES	P3	TIPO ANALISIS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	LIM. MAX. AGUA POTABLE	METODO UTILIZADO
Arsénico ⁽³⁾	mg/L	0,0035	QUIMICO	$\pm 0,0005$	0,01	S.M 3120 B
Cobre ⁽³⁾	mg/L	0,0094	QUIMICO	$\pm 0,0026$	2,0	S.M 3120 B
Coliformes Totales ⁽²⁾	NMP/100mL	400	MICROBIOLOGICO	****	NC	SM. 9221 B
Dureza total	mg/L	2,8	QUIMICO	$\pm 0,5$	NC	DP.PEE.AG.03
Nitrógeno Total Kjeldahl ⁽²⁾	mg/L	<4,0	ORGANICO	****	NC	S.M 4500 N C

- a) Las muestras fueron tomadas por el CLIENTE
b) TIPO DE MUESTREO: PUNTUAL conforme a la Norma INEN 2176:98
c) pH, CE, SALINIDAD, TDS, OD Y T°C: corresponden a promedios de mediciones
d) Toma de muestra no esta cubierta por las acreditaciones
e) Parámetro No Incluido en Alcance OAE (1)
f) Parámetro Subcontratado No Acreditado (2)
g) Parámetro Acreditado por el Laboratorio Subcontratista, ver alcance específico www.oae.gob.ec (3)
h) Resultados Fuera de Alcance de Acreditación (4)
i) < x: Resultado fuera del alcance de acreditación
j) Norma de referencia: Standard Methods 2012, 22nd edition
k) Límites Permisibles: NTE INEN 1108:2014-01 Quinta revisión.
l) NC: No Controlado por ninguna Legislación
m) NR: No Requerido
o) Laboratorio de ensayo Acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE C13-003

MUESTREO




ING. EUDER JUMBO
Gerente Técnico



ING. DANNY QUIMI
Jefe Laboratorio de Aguas

El presente informe solo es aplicable a muestras sometidas a ensayo
"Este documento no debe reproducirse sin la autorización escrita de Deproin S.A."
Dirección: Samanes I, Mz 138 V 1-B; Telf: 2213405 Cel: 099252223

Email: ejumbo@deproinsa.com.ec; www.deproinsa.com.ec

Guayaquil-Ecuador

Cliente: Nadia Quijano Arteaga
Solicitado por: Nadia Quijano Arteaga
Dirección: Guaranda y San Martín Villa 1319
Teléfonos: 045108517

Orden de trabajo: AG 043/2014
Fecha de Recepción de Muestra: 08/09/2014
Fecha de Reporte: 18/09/2014
Tipo de Muestra: Agua natural de río

DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO

MUESTRA	IDENTIFICACION PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS ABCSCISA NORTE	FECHA Y HORA	TURBIDEZ NTU	pH	CE $\mu\text{S/cm}$	SALINIDAD ‰	TDS mg/L	OD mg/L	TEMP °C
P5	Salida de sistema de tratamiento - Carbón de zapote	NA	08/09/2014 16:00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARAMETROS	UNIDADES	P5	TIPO ANALISIS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	LIM. MAX. AGUA POTABLE	METODO UTILIZADO
Arsénico ⁽³⁾	mg/L	<0,0031	QUIMICO	$\pm 0,0090$	0,01	S.M 3120 B
Cobre ⁽³⁾	mg/L	0,0047	QUIMICO	$\pm 0,0176$	2,0	S.M 3120 B
Coliformes Totales ⁽²⁾	NMP/100mL	AUSENCIA	MICROBIOLOGICO	****	NC	SM. 9221 B
Dureza total	mg/L	31,2	QUIMICO	$\pm 2,0$	NC	DP.PEE.AG.03
Nitrógeno Total Kjeldahl ⁽²⁾	mg/L	<4,0	ORGANICO	****	NC	S.M 4500 N C

- a) Las muestras fueron tomadas por el CLIENTE
b) TIPO DE MUESTREO: PUNTUAL conforme a la Norma INEN 2176:98
c) pH, CE, SALINIDAD, TDS, OD Y T°C: corresponden a promedios de mediciones
d) Toma de muestra no esta cubierta por las acreditaciones
e) Parámetro No Incluido en Alcance OAE (1)
f) Parámetro Subcontratado No Acreditado (2)
g) Parámetro Acreditado por el Laboratorio Subcontratista, ver alcance específico www.oae.gob.ec (3)
h) Resultados Fuera de Alcance de Acreditación (4)
i) < x: Resultado fuera del alcance de acreditación
j) Norma de referencia: Standard Methods 2012, 22nd edition
k) Límites Permisibles: NTE INEN 1108:2014-01 Quinta revisión.
l) NC: No Controlado por ninguna Legislación
m) NR: No Requerido
o) Laboratorio de ensayo Acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE C13-003

MUESTREO




ING. EUDER JUMBO
Gerente Técnico



ING. DANNY QUIMI
Jefe Laboratorio de Aguas

El presente informe solo es aplicable a muestras sometidas a ensayo
"Este documento no debe reproducirse sin la autorización escrita de Deproin S.A."
Dirección: Samanes I, Mz 138 V 1-B; Telf: 2213405 Cel: 099252223

Email: ejumbo@deproinsa.com.ec; www.deproinsa.com.ec

Cliente: Nadia Quijano Arteaga
Solicitado por: Nadia Quijano Arteaga
Dirección: Guaranda y San Martín Villa 1319
Teléfonos: 045108517

Orden de trabajo: AG 043/2014
Fecha de Recepción de Muestra: 08/09/2014
Fecha de Reporte: 18/09/2014
Tipo de Muestra: Agua natural de río

DESCRIPCION DEL MUESTREO

MUESTRA	IDENTIFICACION PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS ABCISAS NORTE	FECHA Y HORA	TURBIDEZ NTU	pH	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	SALINIDAD ‰	TDS mg/L	OD mg/L	TEMP °C
P4	Salida de sistema de tratamiento - Carbón de plátano	NA	08/09/2014 16:00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARAMETROS	UNIDADES	P4	TIPO ANALISIS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	LIM. MAX. AGUA POTABLE	METODO UTILIZADO
Arsénico ⁽³⁾	mg/L	<0,0031	QUIMICO	****	0,01	S.M 3120 B
Cobre ⁽³⁾	mg/L	0,0087	QUIMICO	$\pm 0,0024$	2,0	S.M 3120 B
Coliformes Totales ⁽²⁾	NMP/100mL	AUSENCIA	MICROBIOLOGICO	****	NC	SM. 9221 B
Dureza total	mg/L	54,0	QUIMICO	$\pm 2,0$	NC	DP.PEE.AG.03
Nitrógeno Total Kjeldahl ⁽²⁾	mg/L	<4,0	ORGANICO	****	NC	S.M 4500 N C

- a) Las muestras fueron tomadas por el CLIENTE
- b) TIPO DE MUESTREO: PUNTUAL conforme a la Norma INEN 2176:98
- c) pH, CE, SALINIDAD, TDS, OD Y T°C: corresponden a promedios de mediciones
- d) Toma de muestra no esta cubierta por las acreditaciones
- e) Parámetro No Incluido en Alcance OAE (1)
- f) Parámetro Subcontratado No Acreditado (2)
- g) Parámetro Acreditado por el Laboratorio Subcontratista, ver alcance específico www.oae.gob.ec (3)
- h) Resultados Fuera de Alcance de Acreditación (4)
- i) < x: Resultado fuera del alcance de acreditación
- j) Norma de referencia: Standard Methods 2012, 22nd edition
- k) Límites Permisibles: NTE INEN 1108:2014-01 Quinta revisión.
- l) NC: No Controlado por ninguna Legislación
- m) NR: No Requerido
- o) Laboratorio de ensayo Acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE C13-003

MUESTREO




ING. EUDER JUMBO
Gerente Técnico



ING. DANNY QUIMI
Jefe Laboratorio de Aguas

El presente informe solo es aplicable a muestras sometidas a ensayo
"Este documento no debe reproducirse sin la autorización escrita de Deproin S.A."
Dirección: Samanes I, Mz 138 V 1-B; Telf: 2213405 Cel: 099252223

Email: ejumbo@deproinsa.com.ec; www.deproinsa.com.ec

Guayaquil-Ecuador

Cliente: Nadia Quijano Arteaga
Solicitado por: Nadia Quijano Arteaga
Dirección: Guaranda y San Martín Villa 1319
Teléfonos: 045108517

Orden de trabajo: AG 043/2014
Fecha de Recepción de Muestra: 08/09/2014
Fecha de Reporte: 18/09/2014
Tipo de Muestra: Agua natural filtrada

DESCRIPCION DEL MUESTREO

MUESTRA	IDENTIFICACION PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS ABCISAS NORTE	FECHA Y HORA	TURBIDEZ NTU	pH	CE $\mu\text{S/cm}$	SALINIDAD %	TDS mg/L	OD mg/L	TEMP °C
P1	Salida de sistema de tratamiento - Carbón convencional	NA	08/09/2014 16:00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARAMETROS	UNIDADES	P1	TIPO ANALISIS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	LIM. MAX. AGUA POTABLE	METODO UTILIZADO
Arsénico ⁽³⁾	mg/L	0,0066	QUIMICO	$\pm 0,0010$	0,01	S.M 3120 B
Cobre ⁽³⁾	mg/L	<0,0037	QUIMICO	****	2,0	S.M 3120 B
Coliformes Totales ⁽²⁾	NMP/100mL	AUSENCIA	MICROBIOLOGICO	****	NC	SM. 9221 B
Dureza total	mg/L	54,0	QUIMICO	$\pm 2,0$	NC	DP.PEE.AG.03
Nitrógeno Total Kjeldahl ⁽²⁾	mg/L	<4,0	ORGANICO	****	NC	S.M 4500 N C

- a) Las muestras fueron tomadas por el CLIENTE
b) TIPO DE MUESTREO: PUNTUAL conforme a la Norma INEN 2176:98
c) pH, CE, SALINIDAD, TDS, OD Y °C: corresponden a promedios de mediciones
d) Toma de muestra no esta cubierta por las acreditaciones
e) Parámetro No Incluido en Alcance OAE (1)
f) Parámetro Subcontratado No Acreditado (2)
g) Parámetro Acreditado por el Laboratorio Subcontratista, ver alcance específico www.oae.gob.ec (3)
h) Resultados Fuera de Alcance de Acreditación (4)
i) < x: Resultado fuera del alcance de acreditación
j) Norma de referencia: Standard Methods 2012, 22nd edition
k) Límites Permisibles: NTE INEN 1108:2014-01 Quinta revisión.
l) NC: No Controlado por ninguna Legislación
m) NR: No Requerido
o) Laboratorio de ensayo Acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE C13-003

MUESTREO




ING. EUDER JUMBO
Gerente Técnico



ING. DANNY QUIMI
Jefe Laboratorio de Aguas

El presente informe solo es aplicable a muestras sometidas a ensayo
"Este documento no debe reproducirse sin la autorización escrita de Deproin S.A."
Dirección: Samanes I, Mz 138 V 1-B; Telf: 2213405 Cel: 099252223

Email: ejumbo@deproinsa.com.ec; www.deproinsa.com.ec

Guayaquil-Ecuador

Cliente: Nadia Quijano Arteaga
Solicitado por: Nadia Quijano Arteaga
Dirección: Guaranda y San Martín Villa 1319
Teléfonos: 045108517

Orden de trabajo: AG 043/2014
Fecha de Recepción de Muestra: 08/09/2014
Fecha de Reporte: 18/09/2014
Tipo de Muestra: Agua natural de río

DESCRIPCION DEL MUESTREO

MUESTRA	IDENTIFICACION PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS ABCISA NORTE	FECHA Y HORA	TURBIDEZ NTU	pH	CE $\mu\text{S/cm}$	SALINIDAD %	TDS mg/L	OD mg/L	TEMP °C
P2	RIO DAULE - RIO TENGUEL	NA	08/09/2014 16:00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

RESULTADOS DE ENSAYOS

PARAMETROS	UNIDADES	P2	TIPO ANALISIS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	LIM. MAX. AGUA POTABLE	METODO UTILIZADO
Arsénico ⁽³⁾	mg/L	0,0600	QUIMICO	****	0,01	S.M 3120 B
Cobre ⁽³⁾	mg/L	0,0629	QUIMICO	$\pm 0,0013$	2,0	S.M 3120 B
Coliformes Totales ⁽²⁾	NMP/100mL	500	MICROBIOLOGICO	****	NC	SM. 9221 B
Dureza total	mg/L	56,4	QUIMICO	$\pm 2,1$	NC	DP.PEE.AG.03
Nitrógeno Total Kjeldahl ⁽²⁾	mg/L	<4,0	ORGANICO	****	NC	S.M 4500 N C

- a) Las muestras fueron tomadas por el CLIENTE
b) TIPO DE MUESTREO: PUNTUAL conforme a la Norma INEN 2176:98
c) pH, CE, SALINIDAD, TDS, OD Y °C: corresponden a promedios de mediciones
d) Toma de muestra no esta cubierta por las acreditaciones
e) Parámetro No Incluido en Alcance OAE (1)
f) Parámetro Subcontratado No Acreditado (2)
g) Parámetro Acreditado por el Laboratorio Subcontratista, ver alcance específico www.oae.gob.ec (3)
h) Resultados Fuera de Alcance de Acreditación (4)
i) < x: Resultado fuera del alcance de acreditación
j) Norma de referencia: Standard Methods 2012, 22nd edition
k) Límites Permisibles: NTE INEN 1108:2014-01 Quinta revisión.
l) NC: No Controlado por ninguna Legislación
m) NR: No Requerido
o) Laboratorio de ensayo Acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE C13-003

MUESTREO




ING. EUDER JUMBO
Gerente Técnico



ING. DANNY QUIMI
Jefe Laboratorio de Aguas

El presente informe solo es aplicable a muestras sometidas a ensayo
"Este documento no debe reproducirse sin la autorización escrita de Deproin S.A."
Dirección: Samanes I, Mz 138 V 1-B; Telf: 2213405 Cel: 099252223

Email: ejumbo@deproinsa.com.ec; www.deproinsa.com.ec

Guayaquil-Ecuador

ANEXO 4: Fotografías ensayos

1. Activación química









Bibliografía

Obtencion de Carbón Activado a partir de desechos agroindustriales como es el zuro de maíz. (Enero de 2006). Recuperado el 30 de Marzo de 2014, de Repositorio de Espol, DSpace en ESPOL: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/800/1/977.pdf>

Adamson, A. (1979). *A Textbook of Physical Chemistry, 2nd Ed.* New York: Academic Press.

Appelo and Postma, G. G. (2011). *Wikispace/Adsorción.* Recuperado el 29 de 6 de 2014, de Procesosbio: <http://procesosbio.wikispaces.com/Adsorci%C3%B3n>

B.V., L. (2014). *WATER TREATMENT SOLUTIONS LENNTECH .* Recuperado el 3 de Junio de 2014, de <http://www.lenntech.es/adsorcion.htm>

Bahrton, A. . (1998). *Preparation of actived carbons from a fast growing tree species.* Estocmo, suecia.: Royal Institute of Technology.

BallenitaSi. (marzo de 2014). *BallenitaSi.Org.* Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <http://www.ballenitasi.org/2012/03/encuentro-rio-daule-marzo-26-y-27.html>

Bansal, R. J. (1988). *Activated Carbono Boston.* Boston.

Bastidas, M., Buelvas, L., & Márquez, M. (2009). *Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar.* Colombia.

CABOT. (2014). *Norit activaded carbon*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2014, de <http://www.norit.com/>

Carbotecnia, S. d. (2010). *Carbotecnia*. Recuperado el 30 de Marzo de 2014, de <http://www.carbotecnia.info/index.html>

Carrillo, V. Y., & Sanchez Muñoz, N. E. (2013). *Elaboración de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el prpósito de reducir la dureza en el agua potable*. San Salvador, Centro América.

CEFIC, E. D. (1986). *TEST METHODS FOR ACTIVATED CARBON* .

Comercio, G. e. (1 de Abril de 2014). El zapote es fuente de fibra. *DIARIO ÚLTIMAS NOTICIAS*, pág. 1.

CORZO, M. G. (2004). *El hueso de cereza, residuo agroindustrial objeto de estudio para aprovechamiento en la obtención de carbonizados y carbones activados*. España: Revista de estudios extremeños.

Delgadillo Gamboa, G., & Sun Kou, M. (2009). *ADSROCIÓN DE FENOL CON CARBONES ACTIVADOS PREPARADOS A PARTIR DE PEPAS DE NÍSPERO DE PALO POR ACTIVACIÓN QUÍMICA*. Perú: Rev. Soc. Quím Perú.

Excellence, T. T. (Diciembre de 2010). *www.tblgroup.com*. Recuperado el 2 de Agosto de 2014, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Tratamiento-De-Aguas/1357990.html>

Gunt Hamburg. (s.f.). Absorción y Adsorción. *Ingeniería de Procesos Térmicos*, 20-21.

INEC. (2012). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2012*. Ecuador: UNIDAD DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS - ESAG.

Jairo Alberto Romero Rojas, 2. (2006). *Purificación del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

JORDAN JAIR ALEGRÍA, O. L. (2007). *CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE DOS VARIETADES DEL FRUTO DEL ZAPOTE COMERCIALIZADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA*. Cauca: Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Lenntech. (11 de 5 de 1998). *Water Treatment Solutions*. Recuperado el 22 de 7 de 2014, de <http://www.lenntech.es/regeneracion-carbon-activo.htm>

Lenntech. (s.f.). <http://www.lenntech.es/index.htm>. Recuperado el 31 de agosto de 2014, de <http://www.lenntech.es/index.htm>: <http://www.lenntech.es/index.htm>

Luna, D., González, A., Gordo, M., & Martín, N. (2007). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. México: UAM-Iztapalapa, Depto. Química.

M. Simón, P. R. (2006). *Utilización de Residuos de Carbón de Leña para la obtención de Carbones Activados de Alta Capacidad Adsorptiva*. BUenos Aires, Argentina: Ciudad Universitaria, PINMATE.

Mañay, J. V. (2013). *MEJORAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CONTAMINADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

Menéndez Díaz, J. Á. (2006). *Departamento de Tecnología Energética y Medioambiental*. Recuperado el 23 de Marzo de 2014

Michel de Montaigne, V. E. (2012). *Carbón activado, Producción, Clasificación, Propiedades, Propiedades químicas y modificaciones, Ejemplos de adsorción, Aplicaciones, Reactivación y regeneración*. Canada: E-CENTRO.

Morena, J. (10 de Agosto de 2009). *La agricultura en Mesoamérica*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2014, de Zapote Pouteria sapota: http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/Cap2_7.htm

Perdomo, A. M. (Septiembre de 2011). *Monografias.com*. Recuperado el 28 de Marzo de 2014, de Obtención de Carbono Activado: <http://www.monografias.com/trabajos4/carbono/carbono.shtml>

Quisertec. (2002). *QUISERTEC S.A.* Recuperado el 1 de Abril de 2014, de <http://www.quisertec.com/productos/quimicos/embotelladoras/carbonesactivados>

Reinoso, R. F. (2002). *El Carbón Activado en procesos de descontaminación*. España: Universidad de Alicante. Departamento de Química.

Rodríguez Vidal, J. F. (2003). *Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.

RODRÍGUEZ, Y., SALINAS, L., RÍOS, C., & VARGAS, L. (2012). *ADSORBENTES A BASE DE CASCARILLA*. Bucaramanga.

SENPLADES. (2009). *EVALUACION SOCIAL Y TECNICA DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LAS SUBCUENCAS DE LOS RIOS JAGUA, BALAO, GALA, TENGUEL Y SIETE*.

Sevilla, U. P. (2002). *MANUAL DEL CARBON ACTIVO*. Sevilla: Master en Ingeniería del Agua.

Solís, J., Morales, M., & Ayala, R. (2012). *Obtención de carbón activado a partir de residuos*. México: Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana.

Sotelo, J. O. (2011). *Eliminación de compuestos organoclorados para potabilización de aguas mediante un proceso de adsorción-regeneración en carbón activado*. España: Fac. de Ciencias Químicas, Univ.

Sybil P. , P. (1998). En *Enciclopedia McGraw-Hill de ciencia y tecnología* (pág. 375). McGraw-Hill.

Universidad Politecnica de Sevilla. (2002). *MANUAL DEL CARBON ACTIVO*. Sevilla: Master en Ingeniería del Agua.

Valera, E. (24 de 11 de 2012). El zapote: una fruta muy delicada. *EL UNIVERSAL*.

Zibettia, G., Beniteza, R., & Calandri, E. (s.f.). *ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO: CONTENIDOS CELULARES VS. CARBÓN FIJADO EN TRES ESPECIES DE INTERÉS FORESTAL DE LA PROVINCIA DE FORMOSA*. Argentina: UNaF. Formosa 3600.