

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



EVALUACION DE LA ADSORCION DE CROMO VI A PARTIR DE
CARBON ACTIVADO PREPARADO DE RESIDUOS DE MADERA DE
ASERRADEROS Y CARPINTERIAS

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:
PATRICIA ELIZABETH HERNANDEZ BOLAÑOS
KAREN ELIZABETH TOBAR PEREZ

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA

MAYO DEL 2009

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

SECRETARIO GENERAL

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

SECRETARIA

MSc. MORENA LIZETTE MARTINEZ DE DIAZ

COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADORA GENERAL

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

**ASESORA DE AREA DE APROVECHAMIENTO DE RECURSOS
NATURALES**

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez

ASESORA DE AREA DE ANALISIS DE ALIMENTOS: FISICO QUIMICO.

Ing. Rina Lavinia Hidalgo de Medrano.

DOCENTE DIRECTOR

Ing. Sergio Armando Maravilla.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso por darnos la vida, fortaleza y sabiduría durante nuestro camino a la culminación de esta carrera.

A nuestras familias por brindarnos su amor, cariño, comprensión y por ser el principal apoyo en cada paso de nuestras vidas.

A nuestro docente director: Ing. Sergio Armando Maravilla por dedicarnos de su tiempo, paciencia, por apoyarnos en todo momento y cedernos parte de sus conocimientos.

A los laboratoristas de la Facultad de Química y Farmacia, Don Raulito, Don Víctor, Don Luis Alonso, Don Coreas, a Beatriz, y Prof. Henry por su gentil colaboración para la realización de este proyecto.

A nuestras compañeras y amigas, Adela, Alicia y Verito, gracias por su colaboración, tiempo y los buenos momentos compartidos en la realización de nuestro trabajo.

A Lic. Julio Cesar Chávez y Licda. Reyna Funes de Cruz, miembros del laboratorio de Procafé por el interés puesto en este proyecto, por la accesibilidad permitida y colaboración brindada.

A la coordinadora de trabajos de graduación Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo y a nuestros asesores de área MSc. Sonia Maricela Lemus e Ing. Lavinia de Medrano por la ayuda brindada para el desarrollo de nuestro trabajo de graduación.

A mi jefe Licda. Ivonne Erazo por los permisos brindados para poder realizar la

parte experimental de este trabajo, muchas gracias por su comprensión (Karen).

A mi jefe, Licda. Roxana de Quintanilla y compañeros de la farmacia del Hospital Nacional Zacamil, por su amorosa comprensión y apoyo en esta etapa de mi vida (Patricia).

Y a todas las personas que de una u otra forma han colaborado para que este trabajo se llevara a cabo. **MIL GRACIAS**

PATRICIA ELIZABETH HERNANDEZ BOLAÑOS

KAREN ELIZABETH TOBAR PEREZ

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO Y A MARIA SANTISIMA, por ser mis guías, la fuerza para seguir adelante y todo en mi vida.

A MI MAMA, Francisca Bolaños Ramos, por ser el pilar principal en mi vida, mi compañía, por su amoroso sacrificio para sacarnos adelante y ser mi mejor ejemplo para afrontar todas las situaciones de la vida, por darme su amor sin esperar nada a cambio.

A mi hermana Carolina Hernández, por ser tan especial, mi amiga y darme el consejo oportuno, por estar conmigo cuando mas la necesito.

A mi sobrino Axel Rivas, por devolverme la alegría y la ilusión con la que se debe vivir, por su cariño que desborda a manos llenas.

A mi abuelita Dolores, por su cariño, porque me ha enseñado que se puede seguir delante de la mano de Dios y con mucha perseverancia.

A mi familia y amig@s, por su cariño, compañía y apoyo ilimitado en cada momento de mi vida.

A mi jefe y compañeros de trabajo, por su apoyo incondicional, su paciencia y por su comprensión en todo momento.

PATRICIA ELIZABETH HERNANDEZ BOLAÑOS

DEDICATORIA

A mi SEÑOR JESUCRISTO, por ser la fuente de fortaleza, sabiduría y consuelo en todo momento, la gloria sea para El.

A mi querida y apreciada madre, Noemí, quien ha sido más que una amiga para mí, el ángel que Dios me envió para apoyarme durante toda mi vida, y especialmente en el transcurso de esta carrera profesional, este triunfo es para ti, con amor, Dios te bendiga.

A mi familia por su apoyo incondicional, que de una u otra manera siempre han estado presentes cuando más los he necesitado.

KAREN ELIZABETH TOBAR PEREZ

ÍNDICE

Contenido	Pág.
Resumen	
Capitulo I	
1.0 Introducción	xx
Capitulo II	
2.0 Objetivos	22
2.1 Objetivo General	
2.2 Objetivos Específicos	
Capitulo III	
3.0 Marco Teórico	24
3.1 Adsorbentes	24
3.1.1 Carbón vegetal	26
3.1.2 Carbón activado	26
3.1.3 Porosidad	27
3.2 Métodos de fabricación, materias primas y sus efectos en las características del carbón	29
3.3 Maderas	31
3.3.1 Tipos de madera	32
3.3.2 Características físicas de la madera	34
3.3.3 Residuos de madera	34
3.4 Cromo	35
3.4.1 Características físico químicas del cromo	36
3.4.2 Efectos del cromo en el ambiente	37
3.4.3 Efectos del cromo en la salud	38
Capitulo IV	
4.0 Diseño Metodológico	41
4.1 Tipo de Estudio	41
4.2 Investigación Bibliográfica	41

4.3	Investigación de Campo, Universo y Muestra	41
4.3.1	Universo y Muestra	41
4.4	Parte Experimental	42
4.4.1	Preparación de carbones activados	42
4.4.2	Caracterización de los carbones activados	44
4.4.2.1	Medir la superficie específica por medio del método del Azul de Metileno	44
4.4.2.2	Evaluar la adsorción de cromo	46
4.4.3	Análisis estadístico	48
4.4.3.1	Diseño de análisis de varianza de 3 factores	48
Capitulo V		
5.0	Resultados e Interpretación	52
5.1	Análisis de rendimiento de carbones obtenidos	52
5.2	Análisis de datos de adsorción de azul de metileno	54
5.3	Análisis de datos para las isothermas de bet	57
5.4	Análisis de superficie específica	66
5.5	Análisis de porcentaje de cromo adsorbido por Carbones activados	69
5.6	Análisis de varianza de tres factores	71
Capitulo VI		
6.0	Conclusiones	77
Capitulo VII		
7.0	Recomendaciones	82
	Bibliografía	
	Glosario	
	Anexos	

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Resultados obtenidos en la evaluación de rendimiento de los carbones activos preparados en el laboratorio	52
2. Resultados obtenidos en la lectura a diferentes concentraciones iniciales y finales de azul de metileno, para cada carbón activo elaborado en el laboratorio	55
3. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°1	58
4. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°2	59
5. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°3	60
6. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°4	61
7. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°5	62
8. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°6	63
9. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°7	64
10. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°8	65
11. Resultados obtenidos a partir de los cálculos de pendiente e Intercepto de las isotermas de BET, de cada uno de los carbones elaborados en el laboratorio, para conocer la superficie específica de cada uno de ellos	67
12. Promedios de resultados obtenidos de la evaluación de la adsorción de cromo en ppm y porcentaje de cromo adsorbido	

por los carbones activos elaborados en el laboratorio y comparado con el carbón activado patentado	69
13. Análisis de Varianza para las diferentes combinaciones de variables, a las cuales se obtuvieron los carbones activos a nivel de laboratorio	71
14. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°1	99
15. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°2	100
16. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°3	101
17. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°4	102
18. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°5	103
19. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°6	104
20. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°7	105
21. Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LAGMUIR del carbón N°8	106

INDICE DE FIGURAS

Fig. N°	Página
1. Gráfico de resultados obtenidos carbonos activados vrs. Porcentaje de rendimiento.	53
2. Isotherma BET para el carbón N° 1	58
3. Isotherma BET para el carbón N° 2	59
4. Isotherma BET para el carbón N° 3	60
5. Isotherma BET para el carbón N° 4	61
6. Isotherma BET para el carbón N° 5	62
7. Isotherma BET para el carbón N° 6	63
8. Isotherma BET para el carbón N° 7	64
9. Isotherma BET para el carbón N° 8	65
10. Valores de superficies específicas a partir de las isothermas de BET para cada uno de los carbonos activos obtenidos en el laboratorio	68
11. Gráfico de comparación de carbonos activados vrs. porcentaje de cromo adsorbido	70
12. Representación gráfica de zona de aceptación o rechazo	73
13. Diseño 2 ³ . Combinación de variables	90
14. Radio medio de poro	91
15. Algunos usos del carbón activado	92
16. Arreglo de átomos del carbón activado	94
17. Porosidad de un carbón activado	94
18. Presentaciones del carbón	95
19. Diferentes tamaños de poro	96

20. Porcentaje de adsorción de azul de metileno a diferentes concentraciones en cada carbón activado obtenido	97
21. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°1	99
22. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°2	100
23. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°3	101
24. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°4	102
25. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°5	103
26. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°6	104
27. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°7	105
28. Isotherma LANGMUIR para el carbón N°8	106
29. Valores de superficies específicas a partir de la isoterma de Langmuir, para cada uno de los carbones activos obtenidos en el laboratorio	108
30. Material y Equipo utilizados en la obtención de carbones activos y la medición de cromo	109
31. Informe de análisis de cromo, por el método de absorción atómica de llama	110
32. Gráfico de efectos principales para la adsorción de cromo	111
33. Gráfico de interacción para rendimiento de cromo	112

INDICE DE TABLA

Tabla N°	Página
1. Principales materias primas y tecnologías de activación utilizadas en la producción de carbón, así como la dureza y el radio medio de poro de los productos obtenidos.	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos N°	Página
1. Diseño 2 ³ . Combinación de variables	90
2. Radio medio de poro	91
3. Algunos usos del carbón activado	92
a) Purificación de agua	
b) Aguas Residuales	
c) Tratamiento de agua en procesos industriales.	
d) Tratamiento de emisiones atmosféricas.	
e) Purificación de aire y gases	
f) Decoloración de vinos, zumos y vinagres	
g) Decoloración de azúcar y caramelo	
h) Mascarillas de gases	
i) Eliminación olores en plantillas de zapato	
4. Arreglo de átomos del carbón activado	94
5 Porosidad de un carbón activado	94
6. Presentaciones del carbón	95
7. Diferentes tamaños de poro	96
8. Porcentaje de adsorción de azul de metileno a diferentes concentraciones en cada carbón activado obtenido	97
9. Análisis de datos para las isothermas de Langmuir	98

10. Material y Equipo utilizados en la obtención de carbones activos y la medición de cromo	109
11. Informe de análisis de cromo, por el método de absorción atómica de llama	110
12. Análisis de resultados con el sistema StatAdvisor Gráfico de efectos principales para adsorción de cromo	111
13. Análisis de resultados con el sistema StatAdvisor Gráfico de la interacción para el rendimiento de cromo	112

RESUMEN

En El Salvador, se presenta el problema de la contaminación de las aguas superficiales que contienen metales pesados, ya que algunas industrias, como las tenerías, vierten a los ríos sus efluentes conteniendo altas concentraciones de cromo, contaminando y destruyendo el ecosistema, y por tanto, la salud de las poblaciones de las zonas aledañas que hacen uso de éstas. Otra fuente de contaminación son los desperdicios de madera de los aserraderos y carpinterías que día con día son desechados, a los cuales no se les da ningún uso. En este trabajo se elaboró un carbón activado a partir de los residuos de aserraderos y carpinterías; debido a las propiedades de adsorción que estos carbones presentan, convirtiéndolo en una propuesta para la descontaminación de tales vertientes industriales. Para la elaboración de este carbón activado se sometió a la activación química con cloruro de cinc a concentraciones de 3M y 5M , tiempos de 30 y 60 minutos y temperaturas de cocción de 550°C y 650°C, el cual se llevó a cabo en las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador; así como también la medición de la superficie específica por el método del azul de metileno; los análisis de la capacidad de adsorción de los carbones obtenidos con soluciones de agua con cromo de concentración conocida se llevaron a cabo en las instalaciones de PROCAFE, por medio del método de espectroscopía de absorción atómica de llama a 357.9 nm de longitud de onda, y para efectos de comparación se midió la capacidad de adsorción con un carbón activado de

marca comercial, resultando tener mejor capacidad de adsorción el carbón N° 8, que presentó 81.67% de cromo adsorbido. Por lo que se recomienda promover el uso de carbón activado preparado de desechos de aserraderos y carpinterías para la remoción de metales pesados, como el cromo, de las aguas superficiales.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION.

La utilización de los residuos de madera de los aserraderos ha sido objeto de estudios en cuanto al desarrollo económico que estos pueden dar a la humanidad (13,18). Si además se logra que estos beneficios contribuyan a revalorizar la ecología toda actividad de esta índole adquiere importancia y debe ser estudiada, siendo la producción de carbón y la eliminación de cromo de las aguas residuales parte de estas actividades.

El presente trabajo pretende dar un uso eficiente de los residuos de aserraderos para aprovecharlos en la eliminación de metales pesados (cromo) de las aguas residuales por medio de la capacidad de adsorción que presenta el carbón activado.

Para ello se procederá a fabricar carbón a partir de los residuos de madera de los aserraderos y carpinterías, y su activación química con cloruro de zinc. Asimismo, evaluar la capacidad de adsorción del cromo partiendo de soluciones de cromo de concentración conocida, por medio del método de espectroscopia de absorción atómica de llama a 357.9 nm de longitud de onda, el cual a la vez, será comparado con la capacidad de adsorción que presenta el carbón activado patentado.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de adsorción de cromo a partir de carbones activados obtenidos de desechos de madera de aserraderos y carpinterías.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 2.2.1 - Activar el carbón elaborado con desechos de aserraderos, a diferentes condiciones de temperatura, tiempos de cocción y concentraciones de soluciones de cloruro de zinc.
- 2.2.2 - Medir la superficie específica de cada uno de los carbones activados por método del método azul de metileno.
- 2.2.3 - Realizar ensayos previos de adsorción de cromo con cada uno de los carbones activados empleando soluciones de cromo de concentración conocida.
- 2.2.4 - Comparar la capacidad de adsorción del cromo de carbón activado comercial con el carbón activado elaborado, con soluciones de cromo de concentración conocida.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO

3.1 Adsorbentes

Los adsorbentes son polvos químicamente inertes que tienen la capacidad de adsorber gases, tóxicos. El estado de subdivisión fina de estos polvos inertes les proporciona una alta capacidad de adsorción. En consecuencia solo ciertos materiales que poseen propiedades de adsorbentes químicos son eficaces para la adsorción de metales pesados que conlleva a la purificación de aguas superficiales. Dentro de ellos podemos mencionar al carbón vegetal y al carbón activado (6).

Reseña Histórica del carbón

Desde siempre el carbón ha formado parte de la vida cotidiana. 30000 A.C. algunos pintores rupestres se iniciaron utilizando trozos de madera quemada (carbón vegetal) y hollín. También se utilizó para la fusión de metales: 3500 A.C. fundición de cobre a 1083 °C, 700 A.C. fundición de hierro a 1535 °C, 2500 A.C. los egipcios usan carbones y pigmentos de negro de carbón para pintar los jeroglíficos de algunas tumbas y escribir en papiros. También se usa carbón vegetal con fines medicinales. 400 A.C. Hipócrates recomienda filtrar con carbón el agua para beber y también la utilizó en medicina. Explotado desde hace miles de años, debido a sus características y a su intenso color

negro que adquiere una vez pulimentado, se consideró una sustancia mágica. En 1870 en Inglaterra se produce carbón activado para purificar la cerveza, que se obtuvo a partir de excremento de caballo. En 1881 se fabrica la primera bombilla de forma industrial y se componía de un hilo de carbón (hebras de bambú carbonizado) dentro de una ampolla vaciada de aire.

En la actualidad es parte de nuestra vida cotidiana, los carbones activos son materiales de carbón que presentan una gran porosidad capaz de atrapar una gran cantidad de moléculas adsorbiéndolas en su superficie. Unos pocos gramos de carbón activo pueden tener un área mayor que la de un campo de fútbol (7 gramos = 8.250 metros cuadrados).

El componente principal de los sistemas de depuración de agua y aire es el filtro de carbón activo que atrapa las sustancias nocivas. Sustancias similares se utilizan a escala industrial para depurar las aguas residuales y otros efluentes contaminados.

Tanto a nivel doméstico como a escala industrial, es frecuente el uso de sistemas de depuración de aire y agua basados en el uso de carbones activos y vegetales (14).

3.1.1 Carbón Vegetal

El carbón vegetal se hace con la madera, y por lo general alrededor de 5 ton de madera producen 1 ton de carbón vegetal. Por lo tanto, la fabricación de carbón puede ser una industria estable solamente donde el recurso, materia prima madera, se ordena para proporcionar un suministro continuo. Por cada persona en una comunidad que emplea carbón vegetal para calefacción y cocina, deben reservarse alrededor de 0,5 ha de bosque alto natural, para perpetuar el abastecimiento de madera. Si la madera proviene de plantaciones bien ordenadas de leña, sería suficiente un décimo de dicha superficie. Sin embargo, para su oportuna ordenación, las plantaciones pueden tener sus exigencias así como la necesidad de que se le asigne tierras de mejor calidad. Si bien la madera empleada para el carbón puede a veces derivar de desperdicios de aserraderos o de operaciones de limpieza de campos, al final ello no incide a largo plazo sobre la demanda de tierra forestal o de plantaciones para leña.

3.1.2 Carbón Activado

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón Activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo, y los diversos carbones minerales, o de leña.

Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno

fisicoquímico en el que un sólido, llamado adsorbente, atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos, y que están contenidas en un líquido o un gas.

La diferencia fundamental entre uno y otro tipo de carbón radica en la estructura, o arreglo de sus átomos (Anexo No 4). En el caso del carbón activo, estos se encuentran combinados en forma de placas graníticas. Las placas están separadas y tienen distintas orientaciones, por lo que existen espacios entre ellas, a los que se denominan poros, que brindan al carbón activo su principal característica: una gran área superficial, y por lo tanto, una alta capacidad adsorbente. El área de la mayoría de los carbones activados comerciales está entre 500 y 1,500 m²/g.

3.1.3 Porosidad

El carbón tiene una gran variedad de tamaños de poros los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte. Los primeros consisten en espacios entre placas gráficas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza. Los poros mayores que los de adsorción son de transporte, y tienen un rango muy amplio de tamaños, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable por la vista, y que corresponde a 0.1 mm. En esta clase de poros, solo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace

con una fuerza menor, o incluso insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto, aunque tienen poca influencia en la capacidad del carbón afectan la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

Otra clasificación de los poros, es la de la IUPAC (Internacional Union of Pure and Applied Chemists), que se basa en el diámetro de los mismos, ya que se consideran microporos si el diámetro es menor de 2 nm, se consideran mesoporos si el diámetro está entre 2 nm y 50 nm, y se consideran macroporos si el diámetro es mayor de 50 nm, específicamente entre 200 y 2000 nm.

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas, que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son coloridas o las sustancias húmicas -ácidos húmicos y fúlvicos- que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores (anexo No 7).

Por lo tanto, la capacidad de un carbón para retener una sustancia determinada, no solo está dada por su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño es el adecuado: una a cinco veces el diámetro de la molécula de dicha sustancia.

3.2 Métodos de fabricación, materias primas y sus efectos en las características del carbón.

Térmica: Cuando se parte de un material orgánico (madera, cáscara de coco, sangre u otro), el proceso se inicia con su carbonización, la cuál debe realizarse a una baja temperatura en la que no se favorezca la grafitación. Si se parte de carbón mineral, es obvio que no se requiere la carbonización, ya que la naturaleza se encargó de realizarla. Sin embargo, en el caso de los carbones minerales suele ser necesario un lavado previo, para extraer contaminantes como azufre y metales pesados, que típicamente se encuentran en los yacimientos. El carbón resultante se somete a temperaturas cercanas a los 1000°C en una atmósfera inerte o reductora usualmente saturada con vapor de agua. En estas condiciones, y a lo largo de un cierto tiempo, algunos átomos de carbón reaccionan y se gasifican en forma de CO_2 , y otros se recombinan y condensan en forma de las mencionadas placas grafiticas.

Química: Este método solo puede aplicarse a ciertos materiales orgánicos, relativamente blandos y que están formados por moléculas de celulosa, como es el caso de la madera. La primera etapa consiste en deshidratar la materia prima mediante la acción de un químico, tal como ácido fosfórico, cloruro de zinc o carbonato de potasio. Posteriormente, se carboniza el material deshidratado a baja temperatura (500 a 600°C), obteniéndose automáticamente la estructura porosa.

Principales materias primas y sus efectos en las características del producto.

Aunque, como se ha mencionado, el carbón puede fabricarse a partir de un sin número de materiales carbonosos, solamente se utilizan unos cuantos a nivel comercial, debido a su disponibilidad, bajo costo y a que los productos obtenidos a partir de ellos, tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el carbón puede tener.

TABLA N°1. Principales materias primas y tecnologías de activación utilizada en la producción de carbón, así como la dureza y el radio medio de poro de los productos obtenidos.

MATERIA PRIMA	ACTIVACION	DUREZA O RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	RADIO MEDIO DE PORO
Madera de pino	Deshidratación química*	30-50	10-2,000 nm
Carbón mineral lignítico	Térmica**	40-60	3.3 nm
Carbón mineral bituminoso	Térmica**	70-80	1.4 nm
Concha de coco	Térmica**	90-99	0.8 nm

**Típicamente con ácido fosfórico y en ocasiones con cloruro de zinc.*

*** En atmósfera saturada de vapor de agua, o con gases de combustión.*

La dureza o resistencia a la abrasión es una propiedad muy importante en los carbones que se van a utilizar en forma de gránulos, ya que la falta de ésta provoca erosión y rompimientos durante el transporte y el uso. Esta propiedad puede medirse con diversos métodos. Uno de los más comunes es el de la norma ASTM D-3802 (de 0 a 100, siendo 100 la máxima dureza). El carbón de madera de pino tiene una dureza muy baja, que suele hacerlo inapropiado para el uso en forma granular, y por el contrario, el de concha de coco tiene la ventaja de ser el más resistente. En cuanto al radio medio de poro (anexo No 2) que el carbón activado de madera tiende a la macroporosidad, los minerales, y el de concha de coco a la micro.

3.3 MADERAS

A la madera podemos definirla como un conjunto de células, huecas, alargadas y cementadas longitudinalmente entre sí. En el árbol vivo las fibras por medio de sus paredes celulares, funcionan como sostén y como conductores de soluciones alimenticias y de desecho, ya que sus porciones huecas están interconectadas lateralmente, formando un sistema continuo a lo largo del tronco.

Los tres componentes básicos de las paredes de las fibras son, la celulosa (40-50%) que se puede considerar como el armazón; hemicelulosas varias (20-35%) que actúan como matriz y la lignina (15-35%) que es el cementante de los componentes; desde el punto de vista de resistencia mecánica, estos son los

elementos importantes. Además pueden existir en cantidades y tipos variables, extractivos, que son sustancias orgánicas depositadas en los espacios libres de la madera y le imparten características como olor, color y sabor e influyen sobre su permeabilidad.

A causa de su estructura, la madera es un material anisotrópico, es decir, que todas sus propiedades varían de acuerdo con sus ejes estructurales, los cuales desde un punto de vista teórico forman ángulos rectos entre sí. El eje longitudinal o axial (L) puede definirse como aquel que corre paralelamente a lo largo del tronco o de las fibras; el radial (R) es perpendicular al longitudinal, paralelo a los rayos (los rayos son conjuntos de fibras que corren paralelos a una línea recta de la médula o centro del árbol a la corteza del tronco); y tangencia (T) perpendicular al axial y al radial y tangente a los anillos de crecimiento o circunferencia del tronco. En forma similar la madera tiene tres planos estructurales perpendiculares entre sí: el transversal (TR) delimitado por los ejes tangencial y radial; el radial (RL) comprendido entre los ejes radial y longitudinal; y el tangencial (TL) que se forma con la intersección de los ejes tangencial y longitudinal (10).

3.3.1 TIPOS DE MADERA

La madera proviene de dos grandes grupos de árboles:

a) Maderas de angiospermas, latí foliadas, hojosas o de hoja caduca. Ejemplo de este grupo son: caoba, encino chicozapote, cedro rojo, etc.

b) Maderas de gimnospermas o coníferas. La madera de pino, xcadra enebro, oyamel, etc. son ejemplos de este grupo.

La madera de pino es la más abundante en el mercado y la más comúnmente usada en la construcción. Aunque son muy numerosas las especies de pino, la madera que proviene de ellas no se comercializa por especies o grupo de especies con características de resistencia similares. También en el mercado nacional la madera no se clasifica con base a sus posibles usos estructurales, sino únicamente desde el uso que se le puede dar, en la manufactura de muebles, cancelas, etc.

Al observar una pieza de madera en su plano transversal por lo regular se distinguen una serie de bandas contiguas que corresponden a los anillos de crecimiento de árbol. Cada banda consiste de una porción color claro en donde las fibras tienen paredes delgadas (madera temprana) y otra porción más oscura con las fibras de paredes gruesas (madera tardía). Las normas utilizadas para clasificar madera desde el punto de vista estructural toman en cuenta este hecho para desechar piezas de baja resistencia.

Otra característica importante de la madera es la que se observa también en el plano transversal de los troncos de los árboles. Con frecuencia la porción central es de color más oscuro que la periferia. La madera que se asierra del área central se dice que es madera de duramen y la que proviene de la periferia madera de albura (10).

3.3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA

El peso total de una pieza de madera está dado por la suma del peso del agua que contiene el peso de la madera en sí. La cantidad de agua en la madera puede contribuir significativamente al peso total de la pieza, llegando para las especies de pino a más de 200 %. La madera de pino que comúnmente se usa en la construcción y con un contenido de humedad de 15 % tiene pesos que van de 390 a 710 Kg. /m³.

Contenido de humedad % = (peso de agua X 100) / (peso de la madera anhidra)

La madera de pino recién aserrada puede tener un contenido de humedad hasta de más de 200 %. Esta misma madera después de secada al aire libre o en estufa se puede adquirir en las madererías con contenidos de humedad de 7 a 50 % aproximadamente (10).

3.3.3 RESIDUOS DE MADERA

Las astillas, también conocidas como *chips*, son pequeños trozos de madera, resultantes del proceso de corte y astillado de troncos y ramas de árboles que se utilizan para fabricar celulosa. Si bien durante algo más de 10 años se usaron, principalmente, especies del bosque nativo para elaborar astillas, hoy, el 100 por ciento de estas proviene de madera de plantaciones –es decir, pino y eucalipto-. Durante el proceso de elaboración de la madera se genera una cantidad de residuos, superior al 30%. Entre éstos están el aserrín y la corteza.

Antes, la acumulación de los residuos en los aserraderos podía llegar a obstaculizar el desarrollo del proceso productivo; pero hoy el destino que se da a los diferentes residuos es más racional.

Un ejemplo de esto es la conversión de estos residuos en un gas rico en metano. Además, la incineración de ellos sirve como materia orgánica para mantener la fertilidad de la tierra y para la elaboración de carbón.

Para secar la madera se debe tomar en cuenta las temperaturas:

Entre 150°C – 200°C se vaporiza el agua ligada a la madera, entre 200°C – 280°C se libera el monóxido de carbono, con pequeñas cantidades de metanol y ácido acético; entre 280°C – 380°C inicia la reacción exotérmica, descompone la madera y desaparecen gases oxigenados; entre 380°C – 500°C se tiene la fase de disociación del carbón, libera hidrocarburos y se obtiene carbón seco; encima de los 500°C los hidrocarburos son sustituidos por hidrógeno (18).

3.4 CROMO

El cromo (Cr) es un metal que posee varias valencias: 0, +2, +3, +4, +5, +6. Pero el cromo que tiene importancia en higiene industrial corresponde a la valencia +3 que es cancerígeno sin absorción dérmica pero sí por vía gastrointestinal. En tanto el cromo +6, que es absorbido por la piel y fácilmente ingresa a las células en donde es reducido a +3, también reviste peligrosidad. El cromo +6 causa cáncer de pulmón, perforación del tabique nasal, bronquitis,

asma y dermatitis de contacto. Los trabajadores mas expuestos son aquellos que faenan en sectores productivos de acero, cromado y fundiciones de cromo.

3.4.1 Características físico químicas del cromo

El cromo fue descubierto por el químico Vauquelin en 1797, le dio el nombre de Chrome, que procede del griego Croma, que significa color, en atención a que todos los compuestos conocidos de cromo, sólidos o en disolución son coloreados.

El cromo considerado en su estado “puro” es de color blanco brillante, quebradizo, y tan duro que raya el vidrio. Pero el cromo “purísimo” obtenido en condiciones especiales, libre de impurezas, no es duro ni quebradizo, sino dúctil, por lo que la dureza y fragilidad se consideran que son debidos a pequeñas impurezas de oxido, carburo o nitruro.

El cromo hexavalente (VI), es mas tóxico que el cromo trivalente (III), hallándose este último en la cromita que es la única fuente mineral, pero que al oxidarse se convierte en cromo hexavalente.

El cromo no se encuentra en su estado natural en forma pura. Originando compuestos cromosos, crómicos y cromatos (dicromatos), respectivamente. Presenta gran resistencia a la corrosión y se utiliza extensamente para chapar otros metales y endurecer el acero, y en combinación con otros elementos, para formar compuestos coloreados.

Es muy resistente a la acción de los agentes atmosféricos. La mayor parte

de las aplicaciones del cromo radican en la resistencia a los agentes físicos y químicos (aceros especiales, recipientes para productos químicos corrosivos, etc.)

3.4.2 Efectos del cromo en el ambiente

El cromo es un mineral considerado como un recurso no renovable, muy útil para el desarrollo de los países, además en su forma trivalente constituye un elemento esencial para los mamíferos superiores. Como se ha visto, el mal uso y los desechos que aún no se sabe donde y como eliminarlos, sin causar daños a los organismos son los que han puesto en peligro a las personas tanto por exposición ocupacional, como ambiental.

En el caso específico de los procesos en las tenerías, las aguas residuales cuando son descargadas al cuerpo receptor, ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en los posibles usos de ellas. El cuerpo de agua ya contaminado disminuye su valor de uso como agua potable, y para fines agrícolas e industriales. Además, afecta la vida acuática ya que disminuye el oxígeno disuelto.

Por otra parte si el uso de cromo es indispensable, los costos de tratamiento de los vertidos para evitar la contaminación del cuerpo receptor, se tornan muy elevados. En las corrientes superficiales los afluentes también son afectados por que causan un efecto bio-molecular. En las aguas subterráneas pueden producir un aumento de salinidad y los olores emanados de los afluentes

producen contaminación atmosférica.

3.4.3 Efectos del cromo en la salud

El cromo en cantidades mínimas es un elemento indispensable para la nutrición humana. Generalmente se acepta que los elementos esenciales al ir aumentando su concentración, primero tienen un efecto biológico, luego un efecto farmacológico y por último un efecto tóxico posiblemente letal.

Esto ha adquirido especial relevancia en tiempos recientes, el cual implica cada vez mayor producción de subproductos y desechos industriales; desgraciadamente, las propiedades tóxicas de estos han sido reconocidas a través de la deplorable experiencia del deterioro de la salud o la muerte de grupos de individuos. En nuestro país existe poca o ninguna información referente a enfermedades por intoxicación causada por metales y muy poca investigación sobre el impacto de contaminantes en la salud humana y la biota. Es muy difícil diagnosticar un leve exceso de algún elemento, ya que los síntomas son muy parecidos a los de un déficit energético en la dieta; los más comunes son una pérdida de apetito y un crecimiento debajo de lo normal (5).

Tipos de exposición al cromo

- a) Ocupacional: incluye a personas que trabajan en minas de las que se extrae este mineral, en industrias y fabricas que lo procesan así, como en la producción de tuberías, y en curtiembres.
- b) Ambiental: incluye a los organismos que viven en ecosistemas acuáticos y terrestres en donde se desechan vertidos de cromo y también a los que ingieren el cromo (VI) a través de alimentos y agua contaminados.

Los límites legales de vertidos a sistemas de riego de cromo hexavalente; marcados por el Ministerio de Medio Ambiente son de 0.1 mg/L. Mientras que los límites legales para el cromo (III) son de 4 mg/L (2). En la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del agua Potable el Cr (VI) tiene un valor máximo admisible de 0.05 mg/L (5). Y se tiene en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.03: 02. para Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor un limite de Cr (VI) de 0.1 mg/L (14).

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0 DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo De estudio: Experimental, Retrospectivo, Prospectivo. Es experimental ya que se realizan las actividades en un laboratorio equipado con material y equipo necesario para este estudio, en la que se pueden modificar variables a voluntad como temperaturas y tiempos de cocción; retrospectivo, dado que gran parte del estudio esta basado en experimentos similares en los que retomamos datos importantes para la menor incidencia de error y prospectivo, porque se obtiene información específica para nuestro estudio.

4.2 Investigación bibliográfica:

Se visitaron los siguientes lugares:

- Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador:
- Biblioteca de la Facultad de Química y Farmacia “Dr. Benjamín Orozco” de la Universidad de El Salvador
- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador
- Internet

4.3 Investigación de campo, universo y muestra.

4.3.1 Universo y muestra

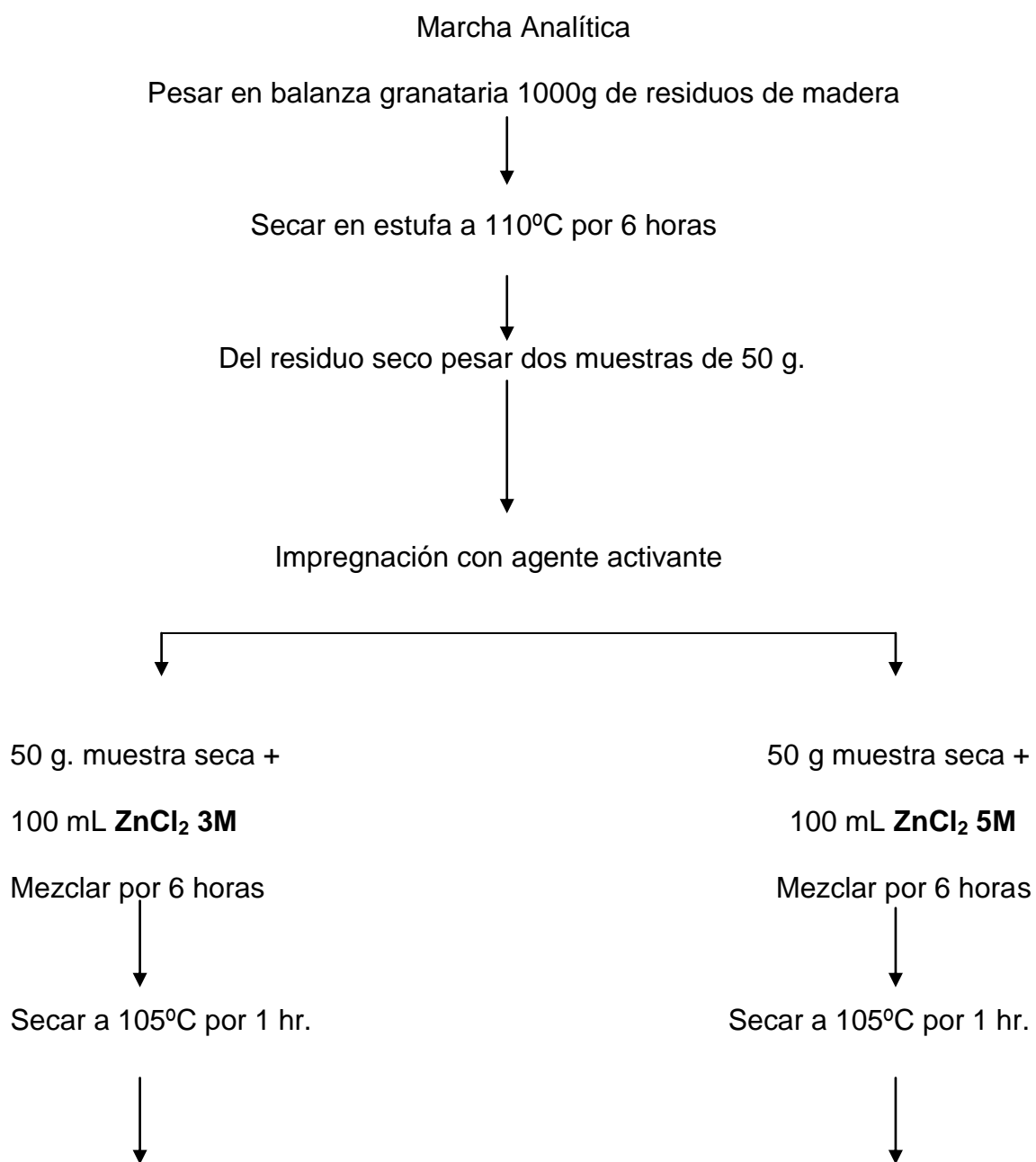
Universo: Residuos de madera provenientes de un aserradero de la zona metropolitana de San Salvador, escogido al azar en un mapa de dicha zona.

Muestra: 1000 g de residuos de madera

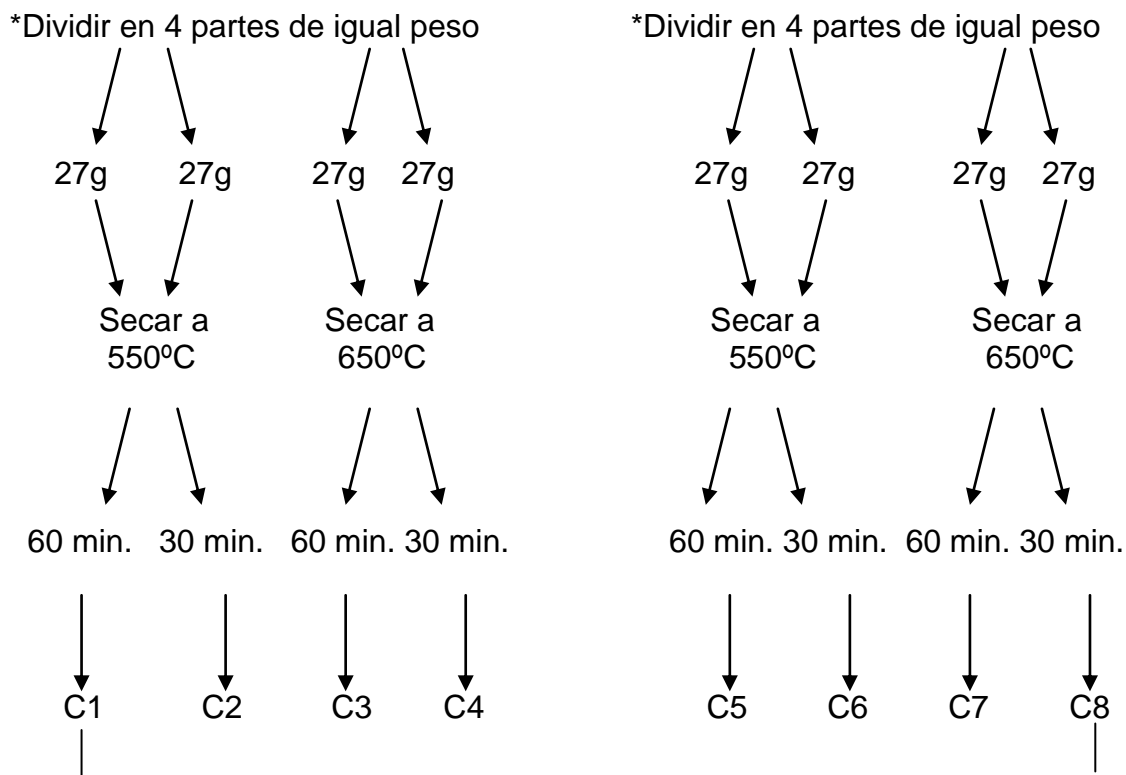
Tipo de muestreo: Puntual dirigido a una muestra de 1000 g de residuos de madera de un aserradero de la zona metropolitana.

4.4 Parte Experimental:

4.4.1- Preparación de carbones activados



Continuación...



Cada uno se lava con 100 mL de HCl concentrado manteniendo agitación con el equipo shaker por 6 horas y luego filtrar y lavar con agua destilada

Secar a 105°C por una hora, tamizar y seleccionar el carbón que queda en el tamiz N° 16 y se mantiene en el desecador.

Calcular el rendimiento de cada carbón obtenido respecto al peso seco de los residuos de madera utilizada.

*Este peso corresponde al carbón más el agente activante luego de secarlo a 105°C por 1 hora.

4.4.2 Caracterización de los carbones activados.

4.4.2.1 Medir la superficie específica por medio del método del Azul de metileno:

- 1) Pesar muestras de 100 mg del carbón activado y secar a 110°C por 6 horas
- 2) Preparar soluciones de azul de metileno a diferentes concentraciones: **10,20, 30 y 50 ppm** para curva de calibración.
- 3) Colocar las muestras de carbón en beaker de 250 mL, los cuales deben contener 100 mL de solución de azul de metileno de las concentraciones presentadas en el literal 2.
- 4) Agitar los beakers vigorosamente durante 8 horas utilizando el equipo de agitación “shaker” y luego dejar en reposo por espacio de 12 horas.
- 5) Determinar la concentración final mediante espectrofotometría UV a 630 nm.
- 6) Realizar la curva de calibración del azul de metileno.
- 7) Calcular las concentraciones finales de azul de metileno a partir de la ecuación linealizada de la curva de calibración del azul de metileno.

Las ecuaciones que se utilizan para encontrar la superficie específica, por el método de Azul de Metileno, A partir de la isoterma de BET, son:

Ecuación No.1

$$S = X_m N_o a$$

Ecuación No. 2

$$X_m = 1/(\text{Pendiente} + \text{intercepto})$$

Donde:

No = 6.23×10^{23} . Número de avogadro.

a = $(25 \text{ \AA}^2) (1 \times 10^{-10} \text{ m/1\AA})^2$. Superficie cubierta por una molécula adsorbida.

Xm = Cantidad de adsorbato necesaria para formar una monocapa sobre un gramo de adsorbente.

El valor de Xm se puede encontrar mediante la isoterma de adsorción de BET y Langmuir (15).

4.4.2.2 Evaluar la adsorción de cromo

Se hizo por medio de Espectroscopía de absorción atómica de llama, en la que los átomos que están en la llama absorben parte de la radiación, por lo tanto la señal disminuye y eso es lo que mide el detector y lo transforma en concentración. Se suele utilizar para la detección de metales pesados, que en nuestro caso es el cromo. Lo primero es disolver la muestra perfectamente, luego se absorbe por un capilar hasta la cámara de nebulización convirtiéndolo en spray, atraviesa la llama y atomiza. El mechero nebulizador tiene la ventaja de que mezcla los gases de la llama con la muestra evitando turbulencias.

Los tipos de llamas mas utilizados son: Aire-propano 1725°C, Aire-acetileno 2250°C, Oxido nitroso-acetileno 2955°C y Argón-hidrógeno-aire 1577°C.

Material y Equipo (anexo N°10)

1) Para la preparación de solución de cromo:

- Balanza analítica digital modelo AFA -120 LC Máx.: 120 g; 0.1 mg
- Balones volumétricos de 1000 ml
- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Agua destilada

2) Para medir la adsorción de cromo

- Equipo de agitación “Shaker”
- Erlenmeyer de 250 ml
- Papel filtro
- Embudos pequeños
- Espectrofotómetro de absorción atómica de llama, modelo 3110
- Tipo de llama: Aire-Acetileno

Procedimiento

- 1- Preparar una solución madre de 20 ppm de cromo, utilizando dicromato de potasio como reactivo, pesando una cantidad equivalente para obtener dicha concentración.
- 2- Mezclar 100 mg de cada uno de los carbones activados, y también el carbón de marca comercial (Merck) para efectos de comparación, con 100 ml de la solución de cromo.
- 3- Agitar las muestras descritas en el numeral 2 en el “Shaker” por 4 horas y se dejan reposar toda la noche.
- 4- Filtrar y leer con absorción atómica de llama a una longitud de onda de 357.9 nm

Nota: Este procedimiento se hizo por duplicado.

4.4.3 Análisis estadístico.

4.4.3.1 Diseño de análisis de varianza de 3 factores

El estudio estadístico que se presenta en este trabajo de investigación se ha elaborado con el fin de experimentar los efectos de tres factores, los cuales son determinantes en la elaboración del carbón activado, en la adsorción de cromo que presenta cada uno de los carbones obtenidos. Se clasifica como un modelo, en donde se han identificado de la siguiente manera: Concentración del agente activante, ZnCl, (factor A), Temperatura de activación (factor B), tiempo de activación (factor C).

Para lo cual se tienen las siguientes hipótesis.

1. Para probar la hipótesis que no hay diferencia debido al factor A

Ho: No existe diferencia entre concentración 3M y 5M del agente activante ZnCl

Hi: Si existe diferencia entre concentración del agente activante en la capacidad de adsorción de cromo.

2. Para probar la hipótesis que no hay diferencia debido al factor B

Ho: No existe diferencia entre 550°C y 650°C de temperatura, para probar la adsorción.

Hi: La temperatura a la cual se obtuvo los carbones activos si interfiere al momento de probar la adsorción de cromo.

3. Para probar la hipótesis que no hay diferencia debido al factor C

Ho: No existe diferencia entre los carbones obtenidos a 30 minutos y los obtenidos a 60 minutos, no interfiere al probar la adsorción de cromo en cada carbón obtenido.

Hi: Si existe diferencia entre los carbones obtenidos a 30 minutos y los obtenidos a 60 minutos, si interfiere al probar la adsorción de cromo en cada carbón obtenido.

4. Para probar la hipótesis que no hay interacción de los factores A y B

Ho: La adsorción de cromo no se ve afectada por las concentraciones de 3M y 5M de agente activante, ni por las temperaturas, 550°C y 650°C, a las cuales fueron obtenidos los carbones.

Hi: La adsorción de cromo se ve afectada por las concentraciones de 3M y 5M de agente activante, así como por la temperatura, 550°C y 650°C, a las cuales fueron obtenidos los carbones.

5. Para probar la hipótesis que no hay interacción de los factores A y C

Ho: La adsorción de cromo no se ve afectada por las concentraciones de 3M y 5M de agente activante, ni por el tiempo, 30 minutos y 60 minutos, a los cuales fueron obtenidos los carbones.

Hi: La adsorción de cromo se ve afectada por las concentraciones de 3M y 5M de agente activante, así como por el tiempo, 30 minutos y 60 minutos, a los cuales fueron obtenidos los carbones.

6. Para probar la hipótesis que no hay interacción de los factores B y C

Ho: La adsorción de cromo no se ve afectada por la temperatura de 550°C y 650°C, ni por el tiempo, 30 minutos y 60 minutos, a los cuales fueron obtenidos los carbones.

Hi: La adsorción de cromo se ve afectada por la temperatura de 550°C y 650°C, así como por el tiempo, 30 minutos y 60 minutos, a los cuales fueron obtenidos los carbones.

7. Para probar la hipótesis que no hay interacción de los factores A,B y C

Ho: La adsorción de cromo no se ve afectada por las concentraciones de 3M y 5M de agente activante, la temperatura de 550°C y 650°C, ni por el tiempo, 30 minutos y 60 minutos, a los cuales fueron obtenidos los carbones.

Hi: La adsorción de cromo se ve afectada por las concentraciones de 3M y 5M de agente activante, la temperatura de 550°C y 650°C, así como por el tiempo, 30 minutos y 60 minutos, a los cuales fueron obtenidos los carbones.

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 ANALISIS DE RENDIMIENTO DE CARBONES OBTENIDOS

Ejemplo de cálculo: Para el carbón N° 1

* Peso inicial: 27.0 g

Peso final: 6.2 g

% Rendimiento = $\text{Peso inicial} / \text{Peso final} \times 100$

% Rendimiento C1 = $6.2 \text{ g} / 27.0 \text{ g} \times 100$

% Rendimiento C1 = 22.96%

Cuadro N° 1: Resultados obtenidos en la evaluación de rendimiento de los carbones activos preparados en el laboratorio.

Carbones	Concentración de agente activante	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final promedio (g)	% Rendimiento
C1	3M	60 min	550 °C	27.00	6.20	22.96%
C2	3M	30 min	550 °C	27.00	8.69	32.22%
C3	3M	60 min	650 °C	27.00	6.29	23.33%
C4	3M	30 min	650 °C	27.00	7.64	28.32%
C5	5M	60 min	550 °C	27.00	5.49	20.37%
C6	5M	30 min	550 °C	27.00	7.10	26.30%
C7	5M	60 min	650 °C	27.00	5.30	19.63%
C8	5M	30 min	650 °C	27.00	6.29	23.33%

*ver Pág. 43

En el cuadro N° 1 se observa que el carbón N° 2 es el que presenta mayor

porcentaje de rendimiento, en comparación con las demás carbones obtenidos.

Para efectos de comparación se presenta la siguiente figura.

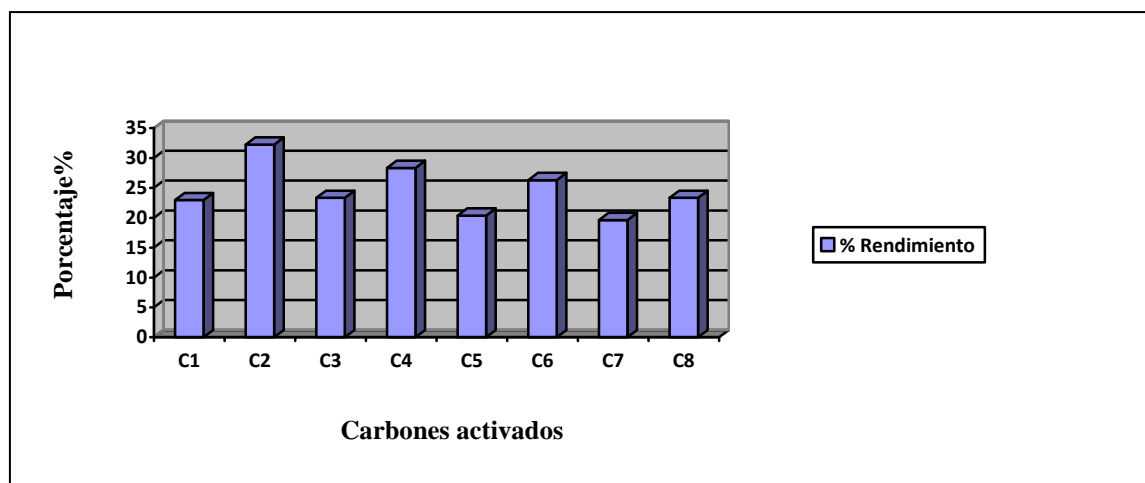


Figura N°1 Gráfico de resultados obtenidos Carbones activados vrs. Porcentaje de Rendimiento.

En la figura N°1 se observa que el carbón N°2 es el de mayor rendimiento, con un 32.22%, debido a que en el proceso de activación fue expuesto al menor tiempo y a la más baja temperatura, también la mezcla con el agente activante fue la de menor concentración, en este caso 3M. Así mismo el carbón N°7, que se obtuvo a una concentración de agente activante 5M, a un tiempo máximo de 60 minutos y 650°C de temperatura, presenta el porcentaje de rendimiento más bajo, 19.63%.

5. 2: ANALISIS DE DATOS DE ADSORCION DE AZUL DE METILENO.

Ejemplo de cálculo: Para el carbón N°1

$$\text{Fórmula: } C_{st} / A_{st} = C_{mx} / A_{mx}$$

$$C_{mx} = (C_{st}) \times (A_{mx}) / A_{st}$$

Donde: C st: Concentración del estándar

Cmx: Concentración de la muestra

A st: Absorbancia del estándar

A mx: Absorbancia de la muestra

- Para 10 ppm

$$C_{mx} = (10 \text{ ppm}) (0.0340) / (0.5151)$$

$$C_{mx} = 0.66 \text{ ppm}$$

Concentración inicial (Co)=10 ppm

Concentración final (C)= 0.660 ppm

$$C / C_o = (0.660) / (10)$$

$$C/C_o = 0.0660$$

X= Concentración inicial – Concentración final

$$X = 10 - 0.660$$

$$X = 9.34$$

Muestra	Concentración inicial C _o (ppm)	Concentración final C (ppm)	C/C _o	X
---------	--	-----------------------------	------------------	---

C1	10	0.660	0.066	9.34
	20	0.470	0.023	19.53
	30	0.411	0.014	29.59
	50	1.347	0.027	48.65
C2	10	0.760	0.076	9.24
	20	0.511	0.025	19.49
	30	0.488	0.016	29.51
	50	0.972	0.019	49.03
C3	10	0.770	0.077	9.23
	20	0.150	0.007	19.85
	30	0.252	0.008	29.75
	50	1.195	0.024	48.80
C4	10	0.910	0.091	9.09
	20	0.225	0.011	19.77
	30	0.382	0.013	29.62
	50	0.761	0.015	49.24
C5	10	0.830	0.083	9.17
	20	0.280	0.014	19.72
	30	0.388	0.013	29.61
	50	1.293	0.026	48.71
C6	10	0.640	0.064	9.36
	20	0.330	0.016	19.67
	30	0.470	0.016	29.53
	50	1.115	0.022	48.88
C7	10	0.520	0.052	9.48
	20	0.120	0.006	19.88
	30	0.176	0.005	29.82
	50	0.720	0.014	49.28
C8	10	0.740	0.074	9.26
	20	0.140	0.007	19.86
	30	0.188	0.006	29.81
	50	0.735	0.015	49.26

Cuadro N° 2: Resultados obtenidos en la lectura a diferentes concentraciones iniciales y finales de azul de metileno, para cada carbón activo elaborado en el laboratorio.

El cuadro N° 2 presenta los valores de concentraciones iniciales y finales de azul de metileno de cada carbón, así como los valores de X (concentración

inicial menos concentración final), que se interpreta como la cantidad de soluto adsorbido por gramo de adsorbente; así tenemos, que un gramo del carbón 1 adsorbe 9.34 ppm de una solución de azul de metileno de concentración inicial de 10 ppm, y estos datos se utilizan para graficar las isotermas de BET y posteriormente conocer la superficie específica de cada carbón.

5.3 ANALISIS DE DATOS PARA LAS ISOTERMAS DE BET

Ejemplo de cálculos para carbón 1

Fórmula: $C / (X) (C_0 - C)$

Donde C = Concentración final del azul de metileno

X = Concentración inicial menos la concentración final

C₀ = Concentración inicial de azul de metileno

Para 10 ppm

$$0.660 / (9.34) (10 - 0.660) = 0.00756$$

Para 20 ppm

$$0.470 / (19.53) (20 - 0.470) = 0.00123$$

Para 30 ppm

$$0.411 / (29.60) (30 - 0.411) = 0.00047$$

Para 50 ppm

$$1.347 / (48.65) (50 - 1.347) = 0.00057$$

Cuadro N° 3: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°1.

Muestra	C ₀	C	C/C ₀	C/ X(C ₀ -C)
---------	----------------	---	------------------	-------------------------

C1	10	0.660	0.066	0.00756
	20	0.470	0.023	0.00123
	30	0.411	0.014	0.00047
	50	1.347	0.027	0.00057

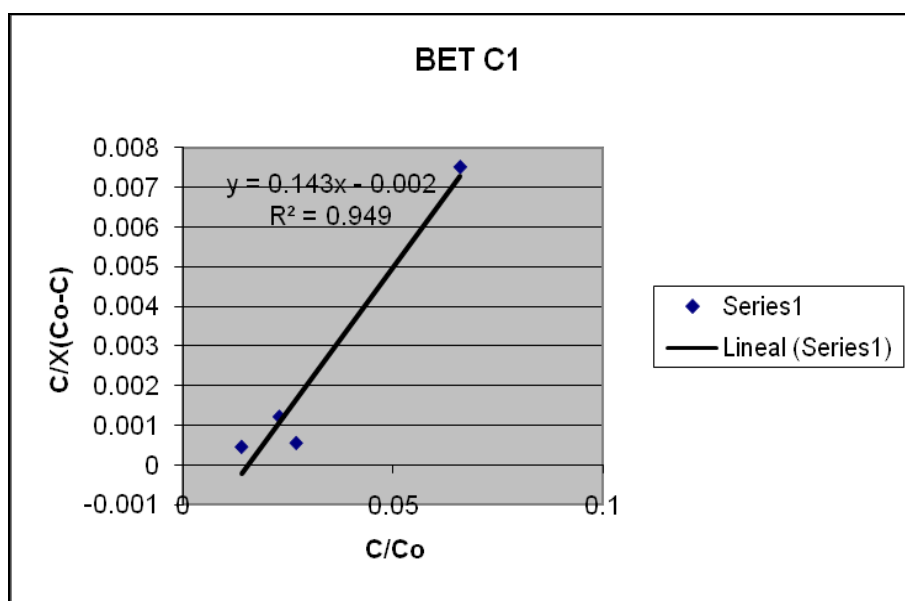


Figura N°2 Isoterma BET para el carbón N° 1

En la figura N° 2 se observa la isoterma para el carbón 1, dando como resultado una pendiente de 0.143 y un intercepto de 0.002, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 4: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°2.

Muestra	C_0	C	C/C_0	$C/X(C_0-C)$
---------	-------	---	---------	--------------

C2	10	0.760	0.076	0.00890
	20	0.511	0.025	0.00134
	30	0.488	0.016	0.00056
	50	0.972	0.019	0.00040

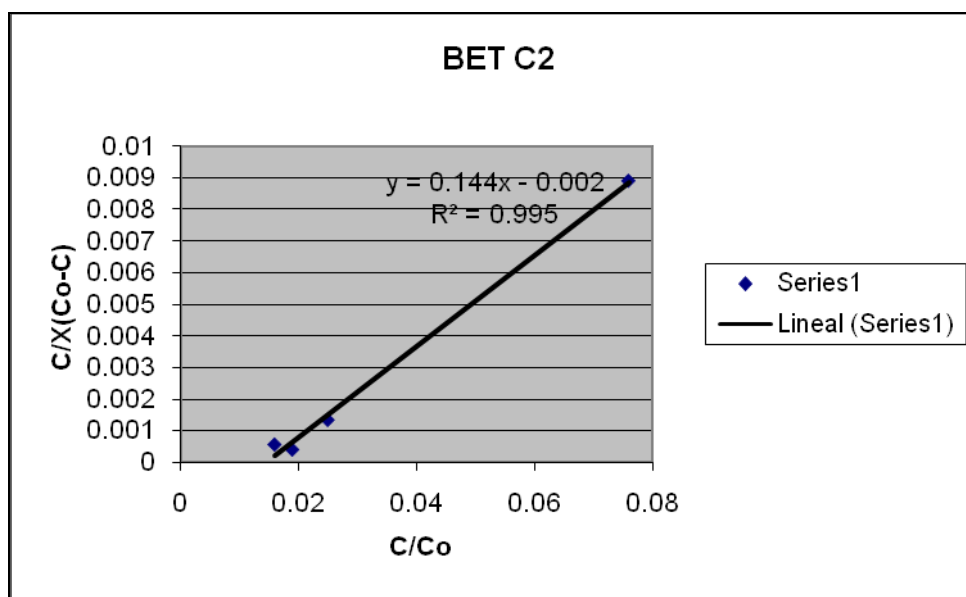


Figura N°3 Isoterma BET para el carbón N°2

En la figura N°3 se observa la isoterma para el carbón N° 2, dando como resultado una pendiente de 0.144 y un intercepto de 0.002, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 5: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°3.

Muestra	C_0	C	C/C_0	$C/ X(C_0-C)$
---------	-------	---	---------	---------------

C3	10	0.770	0.077	0.00904
	20	0.150	0.0075	0.00038
	30	0.252	0.0084	0.00028
	50	1.195	0.024	0.00050

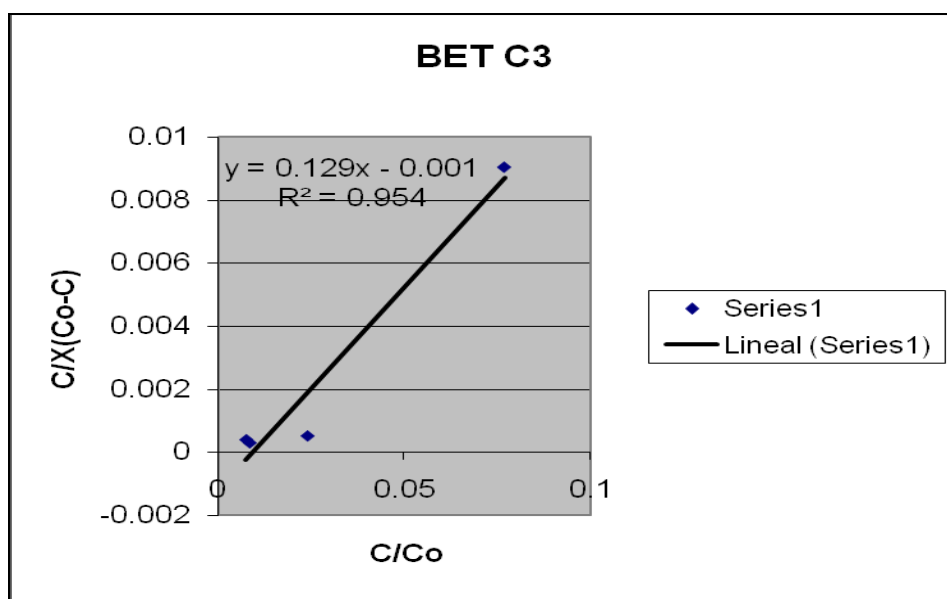


Figura N°4 Isoterma BET para el carbón N°3

En la figura N°4 se observa la isoterma para el carbón N° 3, dando como resultado una pendiente de 0.129 y un intercepto de 0.001, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 6: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°4.

Muestra	C_0	C	C/C_0	$C/ X(C_0-C)$
---------	-------	---	---------	---------------

C4	10	0.910	0.091	0.01101
	20	0.225	0.011	0.00057
	30	0.382	0.013	0.00066
	50	0.761	0.015	0.00031

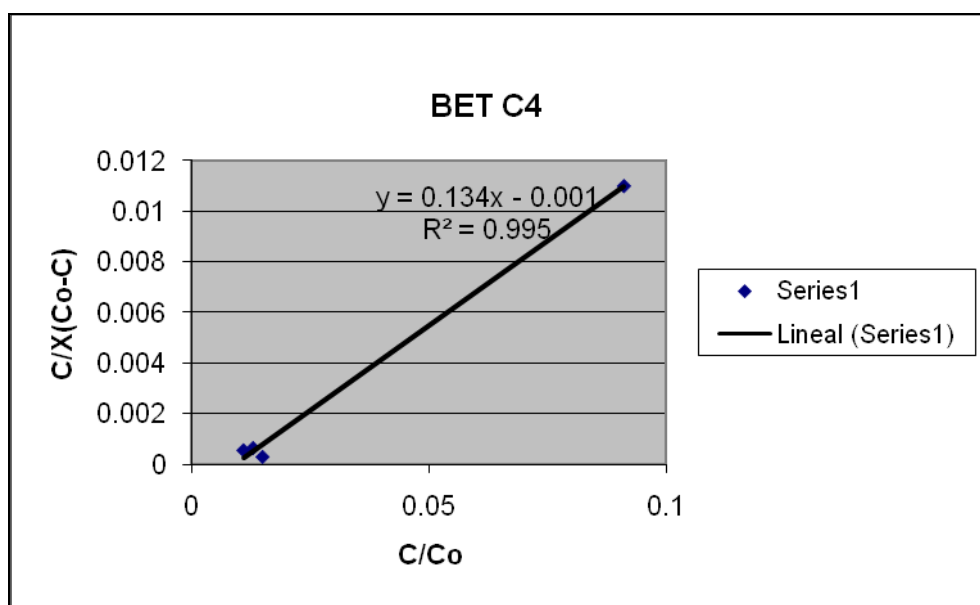


Figura N°5 Isoterma BET para el carbón N°4

En la figura N°5 se observa la isoterma para el carbón N° 4, dando como resultado una pendiente de 0.134 y un intercepto de 0.001, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 7: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET del carbón N°5.

Muestra	C _o	C	C/C _o	C/ X(C _o -C)
C5	10	0.830	0.083	0.00987
	20	0.280	0.014	0.00072
	30	0.388	0.013	0.00044
	50	1.293	0.026	0.00054

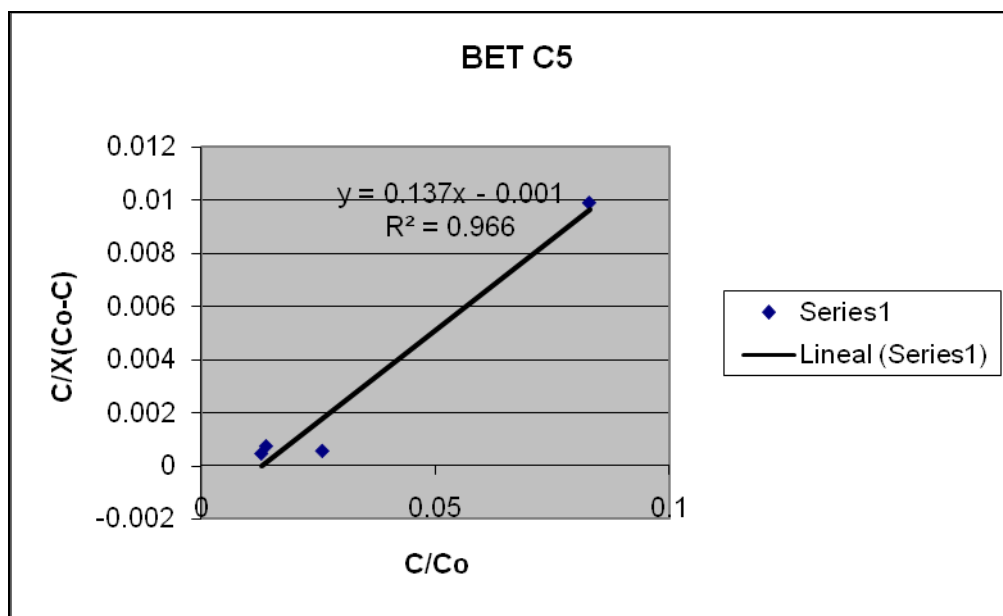


Figura N°6 Isoterma BET para el carbón N°5

En la figura N°6 se observa la isoterma para el carbón N° 5, dando como resultado una pendiente de 0.137 y un intercepto de 0.001, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 8: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET

del carbón N°6.

Muestra	C _o	C	C/C _o	C/ X(C _o -C)
C6	10	0.64	0.064	0.00730
	20	0.33	0.016	0.00087
	30	0.470	0.016	0.00054
	50	1.115	0.022	0.00047

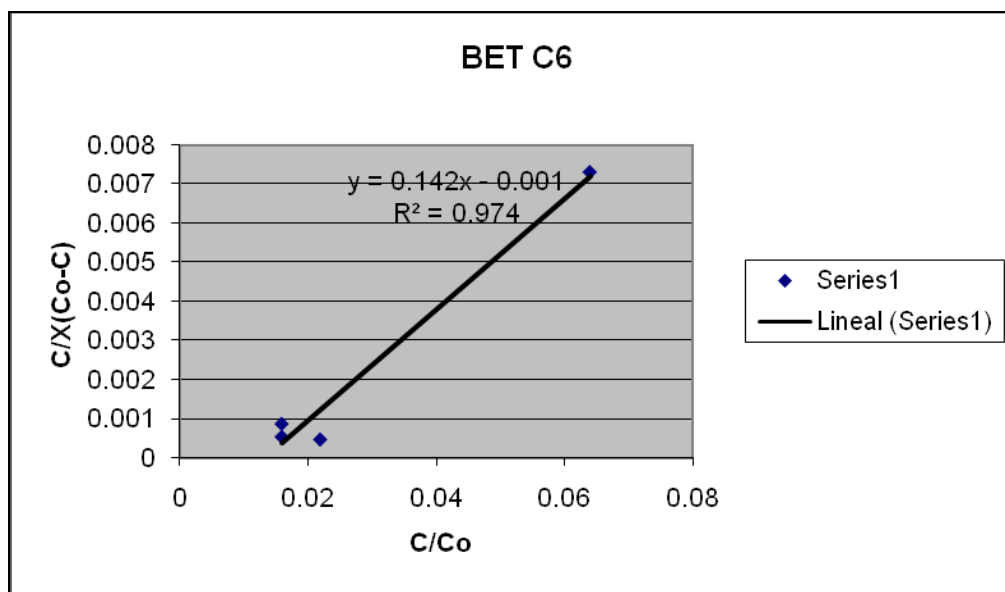


Figura N°7 Isoterma BET para el carbón N°6

En la figura N°7 se observa la isoterma para el carbón N° 6, dando como resultado una pendiente de 0.142 y un intercepto de 0.001, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 9: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET

del carbón N°7.

Muestra	C _o	C	C/C _o	C/ X(C _o -C)
C7	10	0.520	0.052	0.00579
	20	0.120	0.0060	0.00030
	30	0.176	0.0059	0.00020
	50	0.720	0.014	0.00030

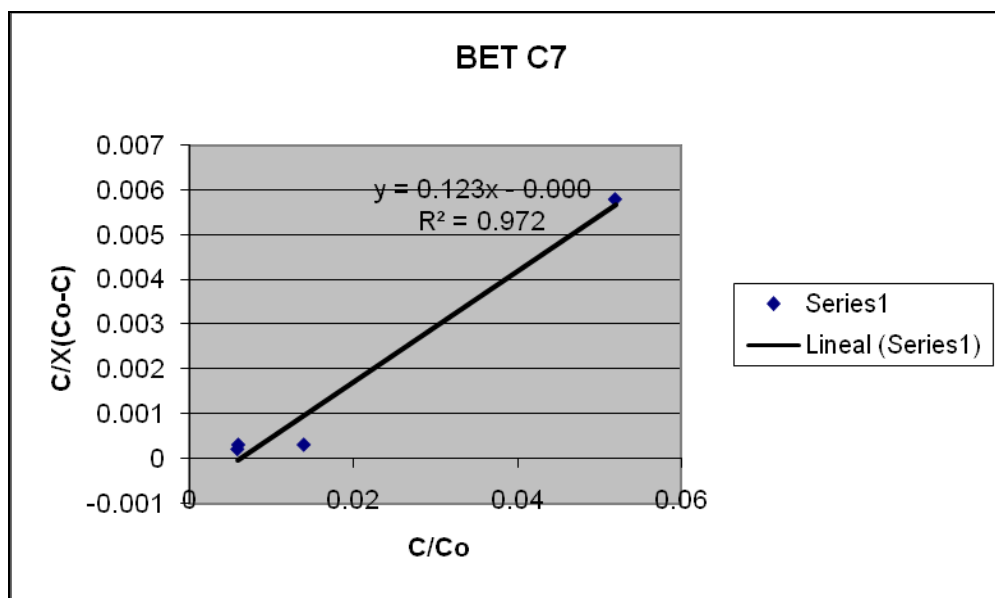


Figura N°8 Isoterma BET para el carbón N°7

En la figura N°8 se observa la isoterma para el carbón N° 7, dando como resultado una pendiente de 0.123 y un intercepto de 0.000, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

Cuadro N° 10: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de BET

del carbón N°8.

Muestra	C ₀	C	C/C ₀	C/ X(C ₀ -C)
C8	10	0.740	0.074	0.00863
	20	0.140	0.007	0.00035
	30	0.188	0.0062	0.00021
	50	0.735	0.015	0.00030

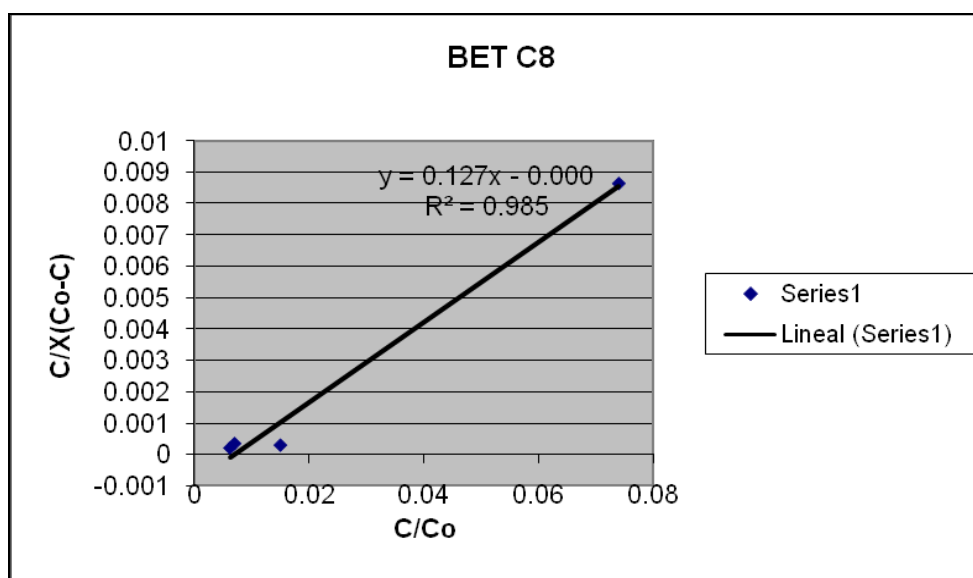


Figura N°9 Isoterma BET para el carbón N°8

En la figura N°9 se observa la isoterma para el carbón N° 8, dando como resultado una pendiente de 0.127 y un intercepto de 0.000, valores que serán utilizados para calcular su superficie específica.

En las figuras N° 2 a la N°9 se observa la linealidad que la isoterma de BET presenta, además de conocer los valores de intercepto y la pendiente, que se utilizan para conocer el valor de X_m (cantidad de adsorbato necesaria para cubrir 1 g del carbón activado elaborado) y así determinar el valor de la superficie específica de cada carbón.

5.4 ANÁLISIS DE SUPERFICIE ESPECÍFICA

Ejemplo de cálculo: Para el carbón N° 1

Fórmulas:

$$S = X_m N_o a$$

Donde:

$N_o = 6.23 \times 10^{23}$. Número de avogadro.

$a = (25 \text{ \AA}^2) (1 \times 10^{-10} \text{ m/1\AA})^2$. Superficie cubierta por una molécula adsorbida.

X_m = Cantidad de adsorbato necesaria para formar una monocapa sobre un gramo de adsorbente.

$$X_m = 1/(\text{Pendiente} - \text{intercepto})$$

$$X_m = 1/(0.1439 - 0.0022) \quad X_m = 7.0572$$

$$S = (7.0575) (6.23 \times 10^{23}) (25 \text{ \AA}^2) (1 \times 10^{-10} \text{ m} / 1 \text{ \AA})^2$$

$$S = 1,099.159 \text{ m}^2 / \text{g}$$

Cuadro N° 11: Resultados obtenidos a partir de los cálculos de pendiente e Intercepto de las isotermas de BET, de cada uno de los carbones

elaborados en el laboratorio, para conocer la superficie específica de cada uno de ellos.

№ carbón	Concentración de activo	Tiempo (minutos)	Temperatura (°c)	Superficie específica (m ² / g)
1	3M	60 min	550 °c	1099.16
2	3M	30 min	550 °c	1094.52
3	3M	60 min	650 °c	1217.75
4	3M	30 min	650 °c	1171.05
5	5M	60 min	550 °c	1145.21
6	5M	30 min	550 °c	1109.33
7	5M	60 min	650 °c	1266.26
8	5M	30 min	650 °c	1232.20

En el cuadro N° 11 se muestra el valor de superficie específica que se obtuvo para cada carbón obtenido, resultando el carbón 7 con una superficie específica de 1,266.26 m²/g, seguido del carbón 8 con una superficie específica de 1,232.20 m²/g y el carbón 3 con una superficie específica de 1,217.75 m²/g, para su comparación se muestra la siguiente figura.

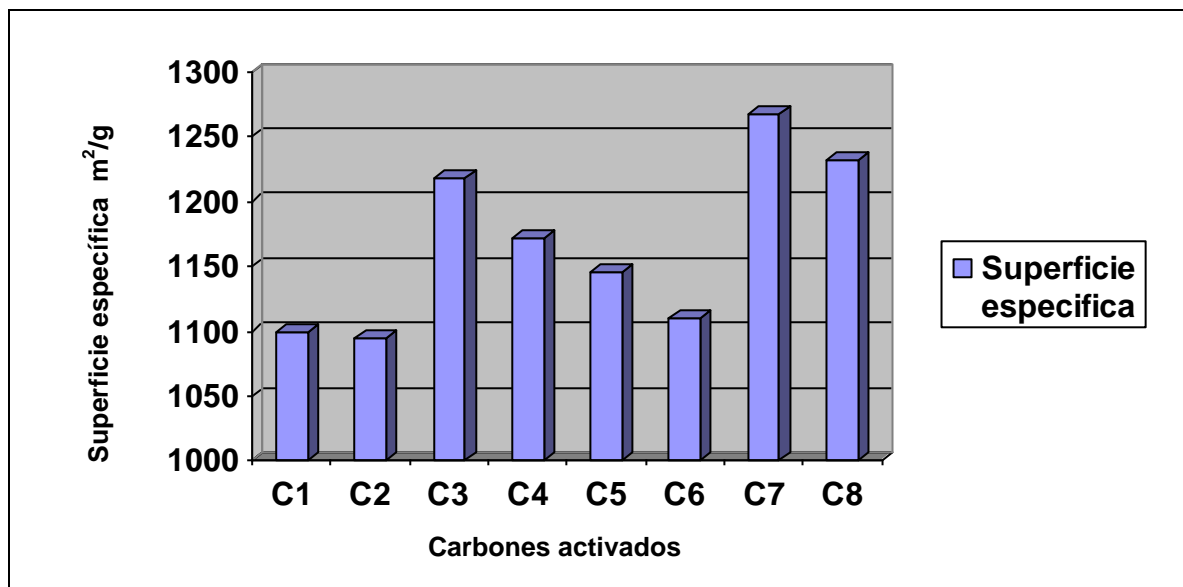


Figura N°10 Valores de superficies especificas a partir de las isotermas de BET para cada uno de los carbones activos obtenidos en el laboratorio.

En la figura N° 10 podemos observar una clara diferencia del tamaño de las áreas superficiales de cada uno de los carbones activados en el laboratorio, el carbón número 7 es el que tiene mayor área superficial ($1266.26 \text{ m}^2/\text{g}$), seguido del carbón número 8 con una área de $1232.20 \text{ m}^2/\text{g}$; con lo cual queda demostrado que al utilizar una mayor concentración del agente activante con la más alta temperatura, en nuestro caso ZnCl_2 5M y 650°C , se obtienen carbones activados con mayor área de superficie, lo cual es una propiedad muy influyente para tener una buena adsorción.

5.5 ANALISIS DE PORCENTAJE DE CROMO ADSORBIDO POR CARBONES ACTIVADOS

Ejemplo de cálculo: Para el carbón N°1

% Cromo adsorbido= Cant de cromo ads / Cant de cromo inicial X 100

% Cromo adsorbido= 14.20 / 18.00 X100

% Cromo adsorbido= 78.89%

Cuadro N° 12: Promedios de Resultados obtenidos de la evaluación de la adsorción de cromo en ppm y porcentaje de cromo adsorbido por los carbones activos elaborados en el laboratorio y comparado con el carbón activado patentado.

Nº de carbón	Concentración de agente activante	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Cromo inicial ppm	Promedio de cromo adsorbido ppm	Promedio de porcentaje de cromo adsorbido (%)
1	3M	60 min	550 °C	18.00	14.20	78.90
2	3M	30 min	550 °C	18.00	13.80	76.67
3	3M	60 min	650 °C	18.00	14.45	80.28
4	3M	30 min	650 °C	18.00	14.35	79.72
5	5M	60 min	550 °C	18.00	14.35	79.72
6	5M	30 min	550 °C	18.00	14.35	79.72
7	5M	60 min	650 °C	18.00	14.50	80.55
8	5M	30 min	650 °C	18.00	14.70	81.67
Merck	----	---	---	18.00	13.00	72.22

El cuadro N^o 12 muestra los valores promedios de porcentaje de cromo adsorbido por los carbones obtenidos. Para mejor comparación se muestra la figura N^o11.

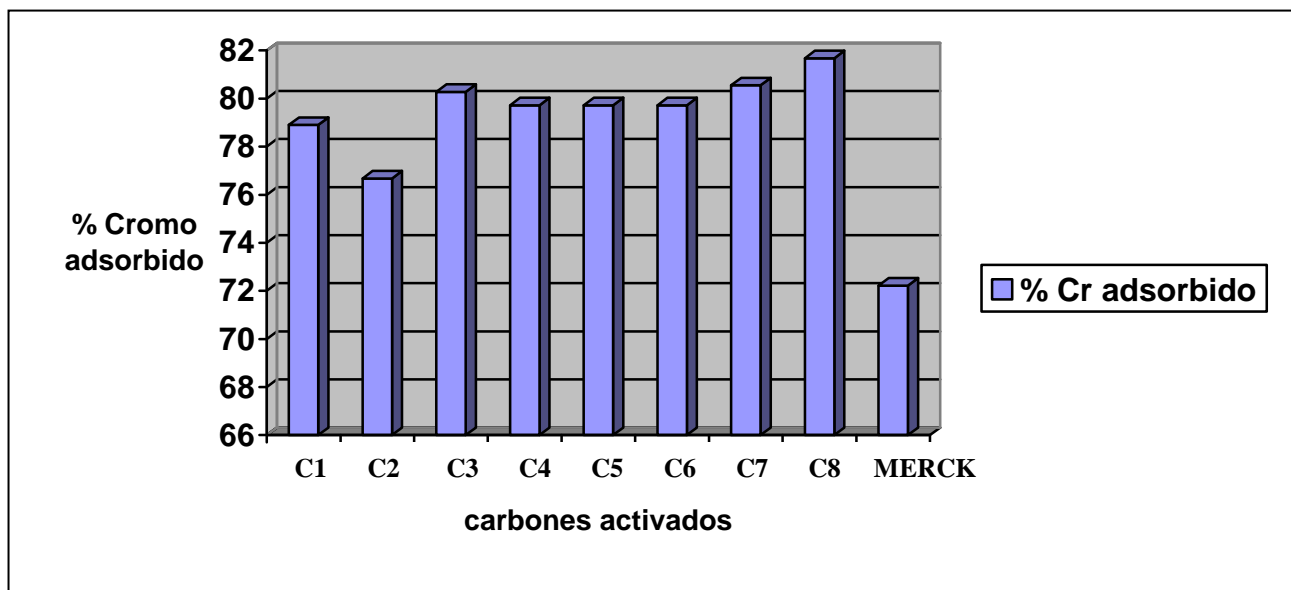


Figura N^o11 Gráfico de comparación de carbones activados vrs. porcentaje de cromo adsorbido

En la figura N^o11 observamos que tanto el carbón N^o3, N^o7 y N^o8 son los que logran adsorber 80.28%, 80.55% y 81.67%, respectivamente, del cromo inicial y que al comparar cada uno de los carbones activados con el carbón de marca comercial se refleja una diferencia de adsorción de más del 7%, demostrando así menor eficiencia para la retención de cromo en solución, que los carbones activos obtenidos en el laboratorio. Demostrando que todos los carbones presentan capacidad de adsorción de cromo.

5.6 ANALISIS DE VARIANZA DE TRES FACTORES

Cuadro N°13 Análisis de Varianza para las diferentes combinaciones de variables, a las cuales se obtuvieron los carbones activos a nivel de laboratorio.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-ratio	P-Valor
A:Concentración	9.3025	1	9.3025	41.98	0.0003
B:Temperatura	13.0321	1	13.0321	58.81	0.0001
C: Tiempo	0.697225	1	0.697225	3.15	0.1194
AB	0.6889	1	0.6889	3.11	0.1212
AC	3.78302	1	3.78302	17.07	0.0044
BC	1.91822	1	1.91822	8.66	0.0216
ABC	0.075625	1	0.075625	0.34	0.5774
Bloques	0.308025	1	0.308025	1.39	0.2769
Error total	1.55127	7	0.221611		
Total (corr.)	31.3569	15			

Gl= Grados de libertad

$R^2 = 95.0528$ por ciento

R^2 (ajustado para g.l.) 90.7241

Error estándar de Est.= 0.470755

Error absoluto de la media= 0.27875

Estadístico Durban-Watson= 2.29963 ($p=0.2612$)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.26217

EL STATADVISOR

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en porcentaje de cromo en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos, comparando la media al cuadrado contra una estimación del error experimental. En este caso, 4 de los efectos tienen los P-valores inferiores a **0.05**, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95.0% de nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 95.0528% de la variabilidad en %Cr.

El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es el más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 90.7241%.

El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0.470755.

El error absoluto de la media (MAE) de 0.27875 es el promedio del valor de los residuos.

El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Estadístico que verifica la H0 de que los residuos de una regresión son independientes, en contra de la H1 de que los residuos sigan un proceso autorregresivo de 1º orden. El estadístico de Durbin-Watson tiene un rango entre 0 y 4: un valor próximo a 2 indica escasa autocorrelación; un valor

entre 2 y 0 indica una autocorrelación positiva mientras que un valor entre 2 y 4 indica una autocorrelación negativa.

Por ser un dato mayor a 2 decimos que sigue una autocorrelación negativa. Por lo que se espera que la autocorrelación residual Lag 1 (o bloque de datos 1) indique una autocorrelación negativa, la cual fue de -0.26217.

Puesto que el P-valor es superior a 0.05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

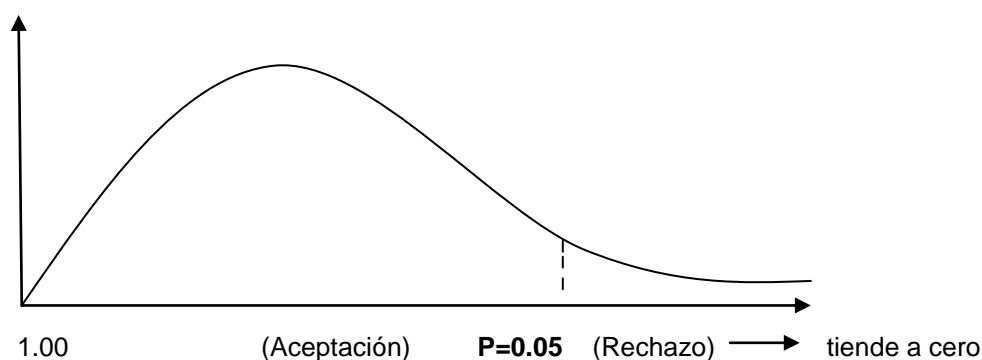


Figura N°12: Representación gráfica de zona de aceptación o rechazo.

Con ayuda de la figura N°12 se puede analizar que:

- 1) El valor del factor A dio como resultado 0.0003, siendo un valor menor a $P=0.05$, indicando que la concentración del agente activante ($ZnCl_2$) está dentro del rango de rechazo pudiendo decir que es un factor que sí influye, ya que contribuye a romper uniones de la estructura de dichos carbones, dando como resultado un mayor número de poros, lo que lleva

a obtener una mayor superficie y optimiza su capacidad de adsorción. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (anexo N°5).

- 2) El valor del factor B dio como resultado 0.0001, siendo un valor menor a $P=0.05$, e indica que la temperatura de activación está dentro del rango de rechazo, comprobando que es un factor que sí influye, ya que al aumentar la temperatura, las sustancias más volátiles se evaporan, haciendo que queden mas espacios vacíos lo cual permite mayor retención de moléculas. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (anexo N°5).
- 3) El valor del factor C dio como resultado 0.1194, siendo un valor mayor a $P=0.05$, indicando que el tiempo de activación está dentro del rango de aceptación, pudiendo afirmar que es un factor que no influye, debido a la acción del agente activante y la temperatura que ejercen su efecto en menor tiempo. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (anexo N°5).
- 4) El valor de la interacción de los factores A y B dio como resultado 0.1212, siendo un valor mayor a $P=0.05$; por lo tanto se acepta la hipótesis nula, la cual indica que las concentraciones de agente activante utilizadas 3M y 5 M, a temperaturas de 550°C y 650°C no influyen en la adsorción de cromo (anexo N°6).
- 5) El valor de la interacción de los factores A y C dio como resultado 0.0044 siendo un valor menor a $P=0.05$; por lo tanto se acepta la hipótesis

alternativa, la cual indica que las concentraciones de agente activante utilizadas 3M y 5M con los tiempos de 30 y 60 minutos de activación de los carbones, influyen en la adsorción de cromo (anexo N°6).

- 6) El valor de la interacción de los factores B y C dio como resultado 0.0216 siendo un valor menor a $P=0.05$; por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, la cual indica que a temperaturas de 550°C y 650°C y con tiempos de 30 y 60 minutos, utilizados en la activación de los carbones, influyen en la adsorción de cromo (anexo N°6).
- 7) El valor de la interacción de los tres factores A, B y C dio como resultado 0.2769, siendo un valor mayor a $P=0.05$; por lo tanto se acepta la hipótesis nula, la cual indica que las variaciones de los factores a los cuales fueron obtenidos los carbones, concentración de activante 3 M Y 5 M, las temperaturas 550°C y 650°C y los tiempos de 30 y 60 minutos, no afectan en la adsorción de cromo.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. Al aumentar la concentración de cloruro de zinc como agente activante, (ZnCl_2), aumenta la capacidad de adsorción del cromo en los carbones obtenidos; debido a que se aumenta el número de poros, y como resultado, la superficie de adsorción también se aumenta, el carbón atrae libremente otras sustancias.
2. Al haber un aumento en la temperatura para la obtención de los carbones activados, también se ve aumentada la capacidad de adsorción del cromo; al haber más calor, las estructuras volátiles de las moléculas del carbón se disipan en vapores lo que permite tener más espacio al interior de ellos y por ende, mayor superficie específica.
3. Según los resultados obtenidos en la medición de la adsorción de cromo y el análisis estadístico de tres factores, demuestran que el tiempo no es un factor importante en el aumento de la capacidad de adsorción de los carbones obtenidos.

4. Los resultados obtenidos en los análisis de superficie específica y análisis de adsorción de cromo demuestran que al aumentar la concentración del agente activante y la temperatura, para la obtención de carbón activado, le confieren al carbón propiedades como: poseer mayor cantidad de poros, por consiguiente la superficie específica se ve incrementada; no así para favorecer la capacidad de adsorción de cromo, como indican los resultados de análisis de varianza de tres factores.
5. La superficie específica se incrementa al aumentar la concentración del agente activante y el tiempo. Pero para la optimización de la capacidad de adsorción de cromo, el tiempo es un factor que no influye debido a que al aumentar la concentración del agente activante, las estructuras de los carbones se debilitan y se rompen, formando más poros, en menor tiempo.
6. La superficie específica aumenta al elevar la temperatura y el tiempo de obtención de los carbones activados, al igual que la capacidad de adsorción del cromo, puesto que ambos factores permiten que el carbón presente muchos poros y como resultado el área de superficie es mayor y por lo tanto pueda adsorber mayor cantidad de sustancias.

7. De acuerdo a los resultados obtenidos, se comprueba que al aumentar la concentración del agente activante, el tiempo y la temperatura de obtención del carbón activo, la superficie específica aumenta; pero para optimizar la capacidad de adsorción del cromo el tiempo es un factor no determinante.
8. La temperatura de calentamiento del proceso de activación de carbón es inversamente proporcional al porcentaje de rendimiento del carbón, a medida que la temperatura aumenta, el rendimiento del carbón disminuye debido a que existen muchos componentes volátiles que se desprenden en vapores y se obtiene un carbón seco y de menor peso.
9. Las mayores adsorciones de cromo se dan en los carbones N°3, N°7 y N°8, obtenidos a diferentes condiciones de concentración y tiempo de activación, son los que presentan la mayor área superficial, según la isoterma de BET, que explica la adsorción en multicapas.
10. Se comprueba que no depende estrictamente del área superficial el mejorar la capacidad de adsorción de un carbón activado, ya que también estriban otros factores como la porosidad, densidad, tamaño, geometría y distribución de poros en los carbones activados; sin embargo, tales carbones activados presentan una superficie específica dentro del rango

de los presentados por los carbones activados comerciales, que es entre 500 a 1,500 m²/g.

11. Los carbones activos obtenidos en el laboratorio demostraron ser más efectivos para la adsorción de cromo en solución que el carbón de marca comercial utilizado, que muestra una diferencia menor del 7% de cromo adsorbido por el carbón comercial respecto al carbón N° 8.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. Para futuras investigaciones, en la obtención de carbones activos más adsorbentes, trabajar con la concentración 5.0M de cloruro de zinc (ZnCl_2) , o mayores que ésta, y realizar estudios entre ellos para comparar su efectividad.
2. Realizar estudios de obtención de carbones activados con otros agentes activantes que puedan ser útiles y menos costosos para la elaboración de éstos.
3. Llevar a cabo futuras investigaciones en las que se utilicen intervalos de tiempo menores a treinta minutos de cocción para minimizar costos en el proceso de obtención de los carbones activados.
4. Realizar investigaciones en el que se comparen más intervalos de temperatura para verificar la influencia de este factor en la capacidad de adsorción del cromo.
5. Trabajar en la obtención de carbones activados con otras materias primas con propiedades adsorbentes, que puedan ser útiles para tal fin y poder darles un mayor valor agregado.
6. Realizar cinética química con el carbón activado que se obtuvo con buenos resultados en la adsorción de cromo (carbón N° 8), con el objeto

de diseñar un proceso de validación de método de obtención de carbón activado.

7. Llevar a cabo ensayos de adsorción de cromo con vertientes de aguas industriales contaminadas con este metal, así como realizar estudios similares con otros metales pesados que producen contaminación, con la finalidad de disminuir el daño ambiental.

BIBLIOGRAFIA

- 1- APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el Análisis de Aguas potables y residuales. 17a Edición, 1992. Pág. 102-105; 2-33, 2-38.
- 2- Bendezú S. y otros. "Adsorción de cromo desde efluentes de curtiembres por carbones activados preparados desde cáscaras de coco por activación química con KOH y ZnCl₂" (Perú y Chile). 2005.
- 3- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable. 1ª Edición, El Salvador, 1999. Pág. 11.
- 4- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). Norma salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.03.02 "Agua, Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor ". 1ª Revisión, El Salvador ,2002. Pág.5
- 5- Encinas. O. y otros. 2002. Estado de Información Forestal en Venezuela. Cap. V. Venezuela. FAO. Consultado 8 de abril 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep>
- 6- Grupo Clarimex. 2006. ¿Qué es el Carbón activado? México. Consultado 30 de abril 2007. Disponible en:
<http://www.activatedcarbon.com.mx/procesos.htm>
- 7- Hernández C., K. M., y otros. "Descontaminación por el Método de Adsorción en Agua de Pozos y Agua Lluvia destinada al consumo humano en comunidades rurales ubicadas al sur del departamento de la

Libertad”. Tesis de la Universidad de El Salvador. Escuela de Ingeniería Química. Marzo del 2006. Pág. 35 -38 y 112 – 124.

- 8- Herrera T., D. M. Determinación de Cromo (VI) en los Efluentes de la zona metropolitana de San Salvador. Tesis de la Universidad de El Salvador, marzo del 2004. Pág. 5 -10, 25 – 30.
- 9- Moreno H. A., y otros. “Evaluación de Carbón Activado Producido a partir de Lodo Generado en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas”. (Chile) 2006.
- 10-Instituto CMC. 2006. Carbón Vegetal. España. Consultado 30 de abril 2007. Disponible en:
<http://www.iprocor.org/index.htm>
- 11- Lombardi. B. , y otros. Aproximación al valor de superficie específica por un método manual y simple. Argentina. Consultado 28 de marzo 2007. Disponible en:
www.materiales-sam.org.ar/ssitio/biblioteca/posadas/trabajos/0402.pdf
- 12- Menéndez. J. A. 2006. El carbón en la vida cotidiana. España. Consultado 21 de marzo 2007. Disponible en:
<http://www.oviedo.es/personales/carbon/index.htm>
- 13- Minamisawa, M., M. H., S. Y., y otros. “Adsorption Behavior of Heavy Metals on Biomaterials” Journal of Agricultural and Food Chemistry. Tokyo, Japón. 2004. Pág. 5606 – 5611.

- 14- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Patrimonio Natural caguilar@marn.gob.sv
- 15- Murcia, D. "Agua que no has de beber..., seguro está contaminada" e elfaro.net el primer periódico digital latinoamericano. San Salvador 17-23 de Septiembre de 2007. Disponible en: cartas@elfaro.net
- 16-Pinzón B., J. A. 1997. "Superficie Especifica de una Bentonita mediante la Adsorción de Azul de Metileno" Revista Colombiana de Química, Volumen 26, N0 1. Pág. 1 – 13.
- 17- Rémington. G. Tomo II. 20ª Edición. Editorial Médica Panamericana S.A. Madrid, España, 2003. Pág. 1455.
- 18- Sanabria. E. O.1998. Optimización de producción de carbón vegetal. Argentina. Consultado 21 de marzo 2007. Disponible en: http://mamcyp.unam.edu.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=46
- 19- Schulz, C. R., Okun, D. A. "Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo". Primera Edición. Editorial Limusa, S.A. de C. V. México, D.F. 1998.
- 20- Universidad de Oviedo. "Química de Superficies: Adsorción de ácido acético sobre carbón activo" Asturias, España. Disponible en: www.uniovi.es/QFAnalitica. Pág. 5.

21- <http://es.wikipedia.org/wiki> Wikipedia Español. Diccionario en línea.

22- www.wordreference.com/definicion WordReference.com. Diccionario de la lengua española.

GLOSARIO

Absorción: Es la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución. En la absorción, el transporte de la materia que constituye el absorbato se realiza desde la mezcla fluida a toda la masa de un absorbente en el que queda disuelta (absorción física) o con el que reacciona para dar un producto distinto (absorción química o absorción con reacción química) (21).

Adsorción: Es el fenómeno de concentración de una especie química en una interfase debido a la interacción entre las moléculas existentes a ambos lados de la misma. La especie adsorbida recibe el nombre de adsorbato, mientras que la especie que adsorbe es el adsorbente (20).

Adsorción física y adsorción química: Dependiendo del tipo de interacción existente entre las dos especies se habla de *adsorción física* y de *adsorción química*. En el primer caso, las interacciones son del tipo de van der Waals, relativamente débiles y de largo alcance. En el segundo caso, se forma un verdadero enlace químico entre adsorbato y sustrato. La adsorción química es, lógicamente, muy selectiva (como cualquier reacción química), mientras que la adsorción física no lo es (20).

Área Superficial: Área de la superficie disponible por el sólido para que tenga lugar la adsorción (20).

Autocorrelación: Es la dependencia estadística de variables en una misma serie de tiempo (21).

Isotermas de adsorción: Es una representación a temperatura constante de el número de moles adsorbidos del adsorbato frente a su concentración en el equilibrio de reacción (20).

Tenería: Fábrica donde se curten y trabajan las pieles (22).

ANEXOS

Anexo No 1.

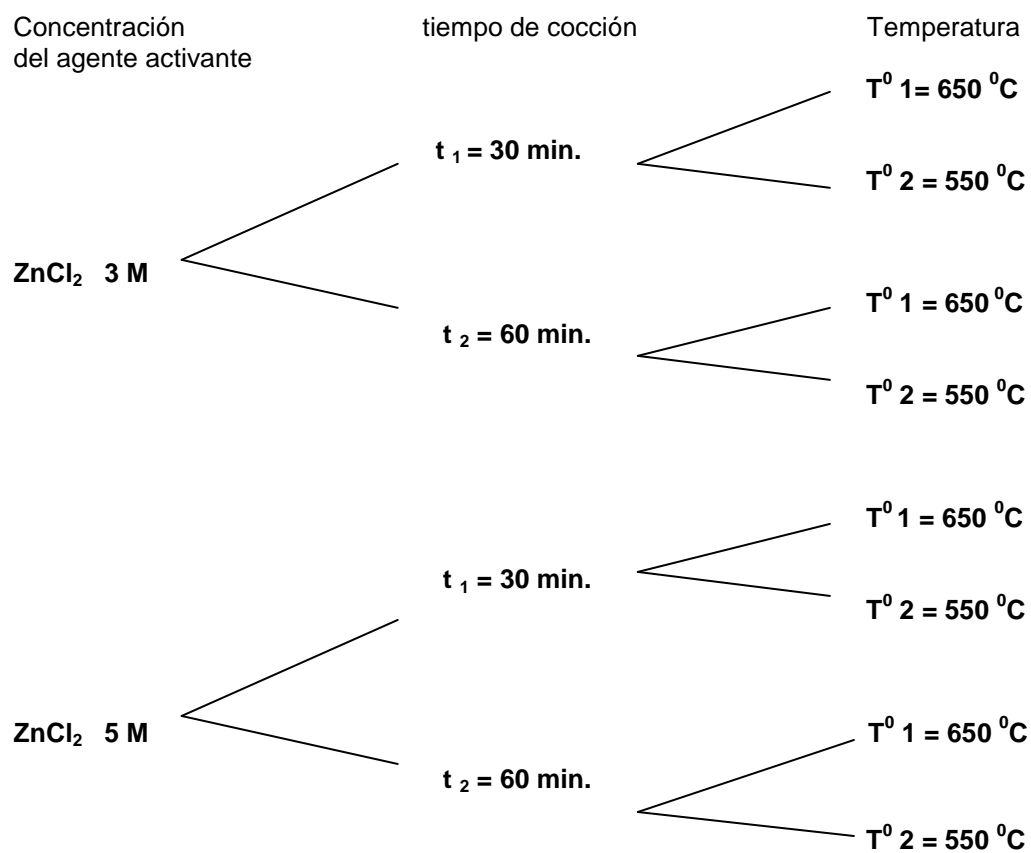


Figura n^o 13: diseño 2³. Combinación de variables.

Anexo No 2

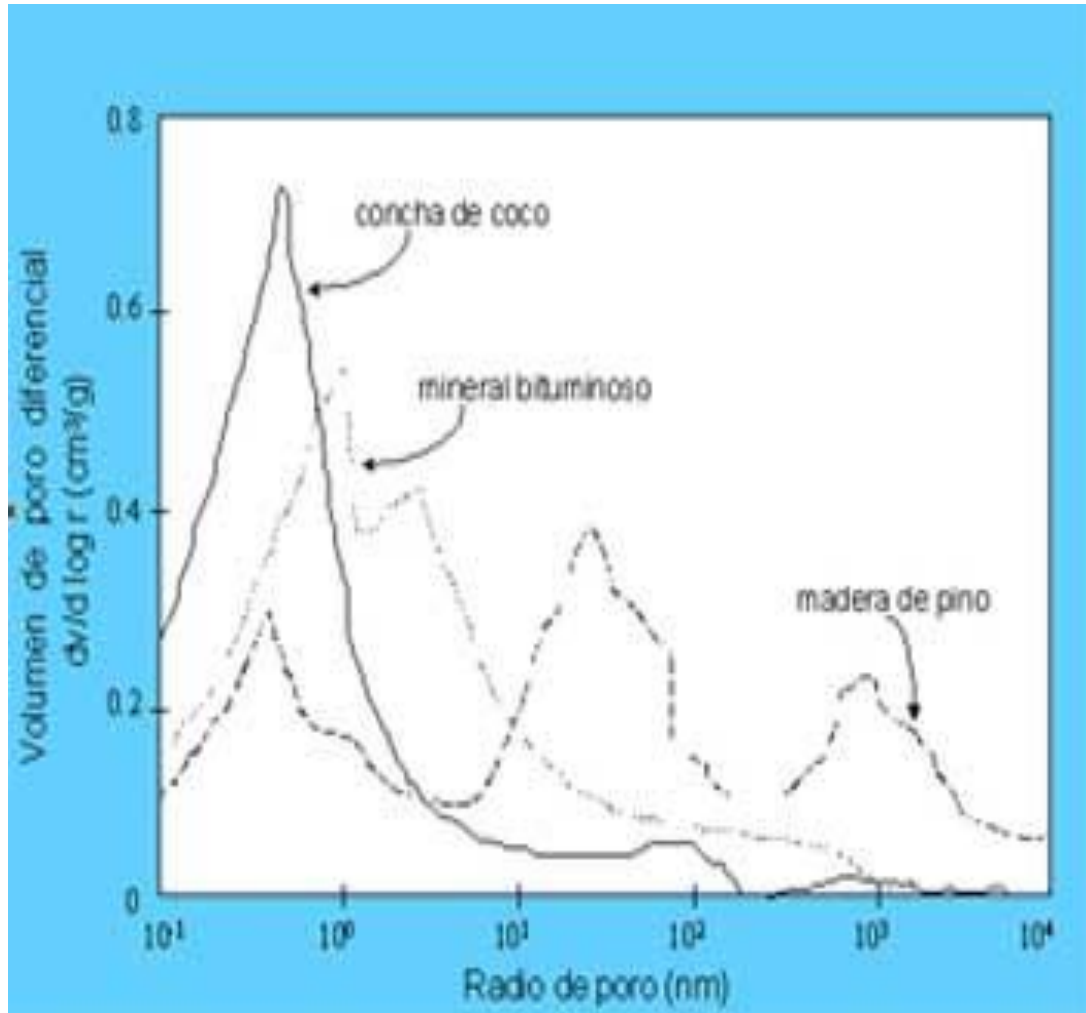


Figura N°14: radio medio de poro.

Anexo No 3

ALGUNOS USOS DEL CARBON ACTIVADO



a) Purificación de agua



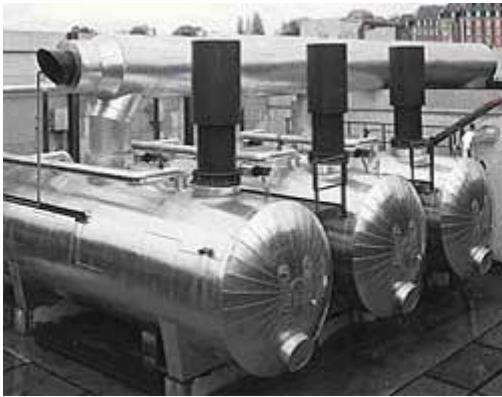
b) Aguas Residuales



c) Tratamiento de agua en procesos industriales.



d) Tratamiento de emisiones atmosféricas.



e) Purificación de aire y gases



f) Decoloración de vinos, zumos y vinagres



g) Decoloración de azúcar y caramelo



h) Mascarillas de gases



i) Eliminación olores en plantillas de zapato

Figura nº15: Algunos usos del carbón activado

Anexo No 4

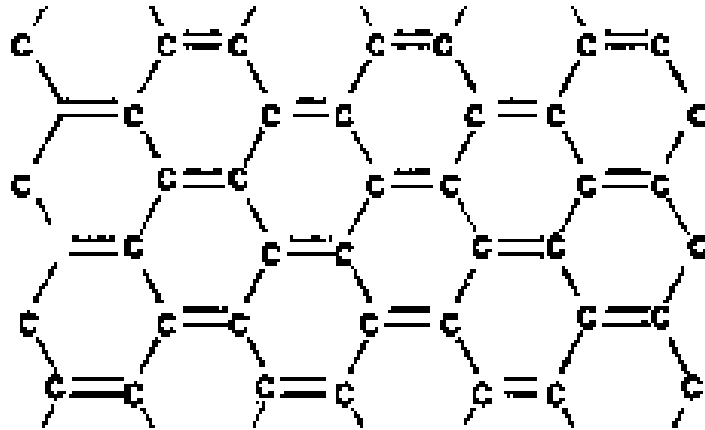


Figura n°16 Arreglo de átomos del carbón activado

Anexo No 5



Figura n°17: Porosidad de un carbón activado

Anexo No 6

carbón activo en forma de polvo



carbón activo granular

troceado



conformado



Fibras de carbón



Telas de carbón



monolitos hechos íntegramente de carbón



monolitos cubiertos de una capa de carbón



membrana de carbón sobre un tubo de acero



Figura nº18: Presentaciones del carbón

Anexo No 7

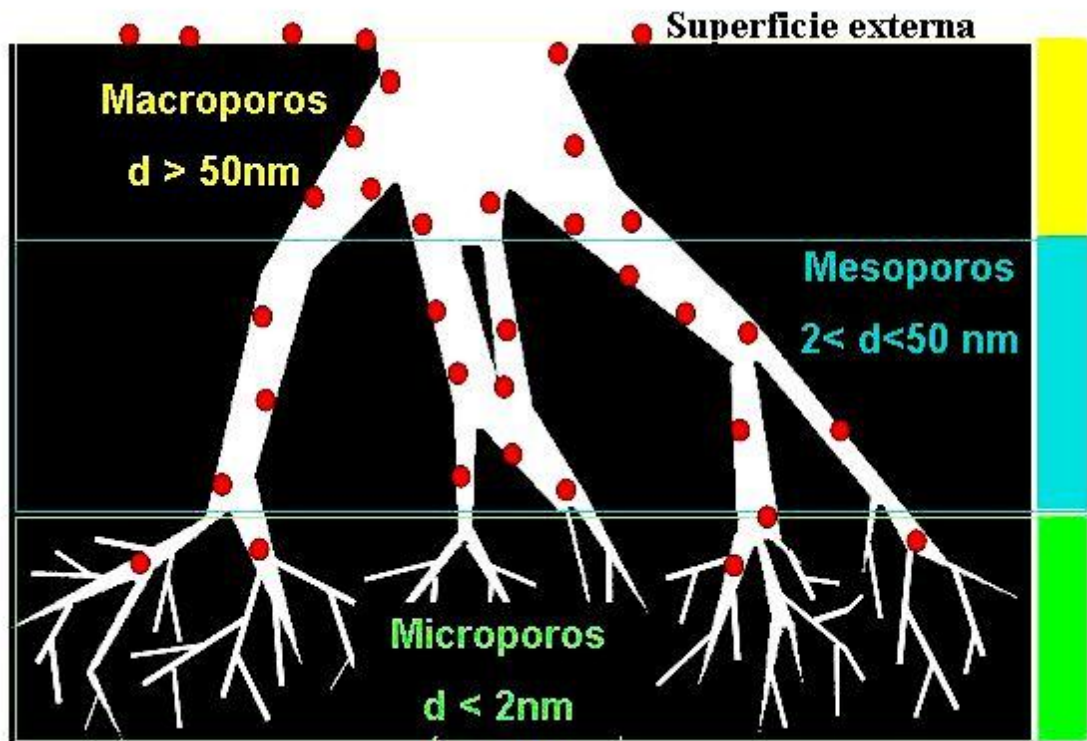


Figura N°19: Diferentes tamaños de poro.

Anexo No 8

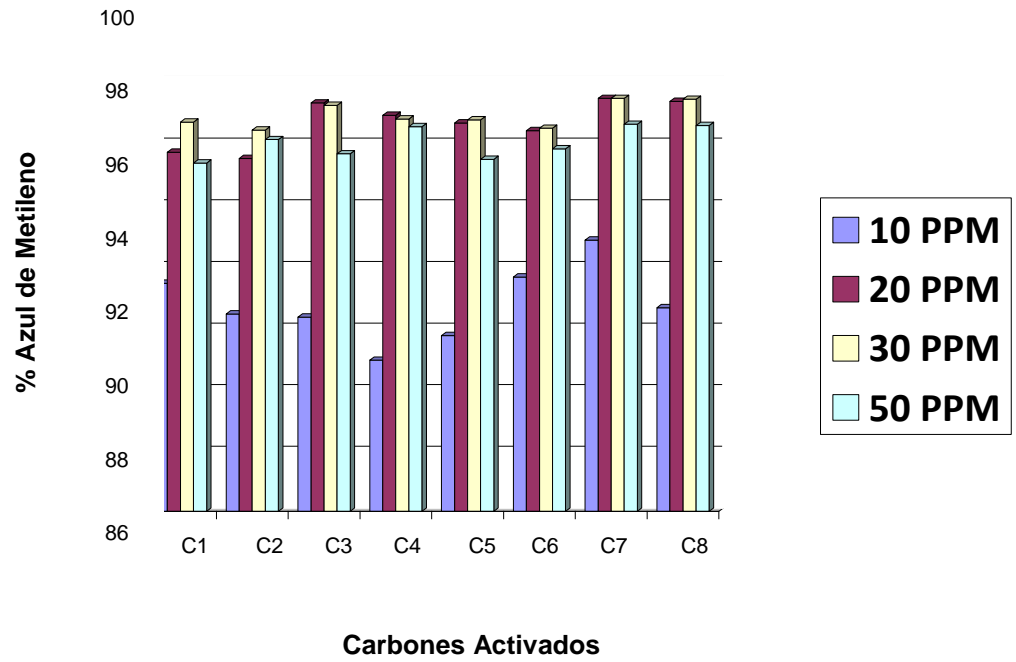


Figura N° 20 Porcentaje de adsorción de azul de metileno a diferentes concentraciones en cada carbón activado obtenido

Anexo No 9

ANALISIS DE DATOS PARA LAS ISOTERMAS DE LANGMUIR

Ejemplo de cálculos para carbón 1

Formula $X = C_0 - C$

Donde X = Concentración inicial menos concentración final de azul de metileno

C_0 = Concentración inicial de azul de metileno

C = Concentración final de azul de metileno

Para 10 ppm

$$X = 10 - 0.66$$

$$X = 9.34$$

Para 20 ppm

$$X = 20 - 0.470$$

$$X = 19.53$$

Para 30 ppm

$$X = 30 - 0.411$$

$$X = 29.59$$

Para 50 ppm

$$X = 50 - 1.347$$

$$X = 48.65$$

Cuadro N° 14: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°1.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C1	10	0.66	9.34	0.07044
	20	0.470	19.53	0.02406
	30	0.411	29059	0.01389
	50	1.347	48.653	0.02768

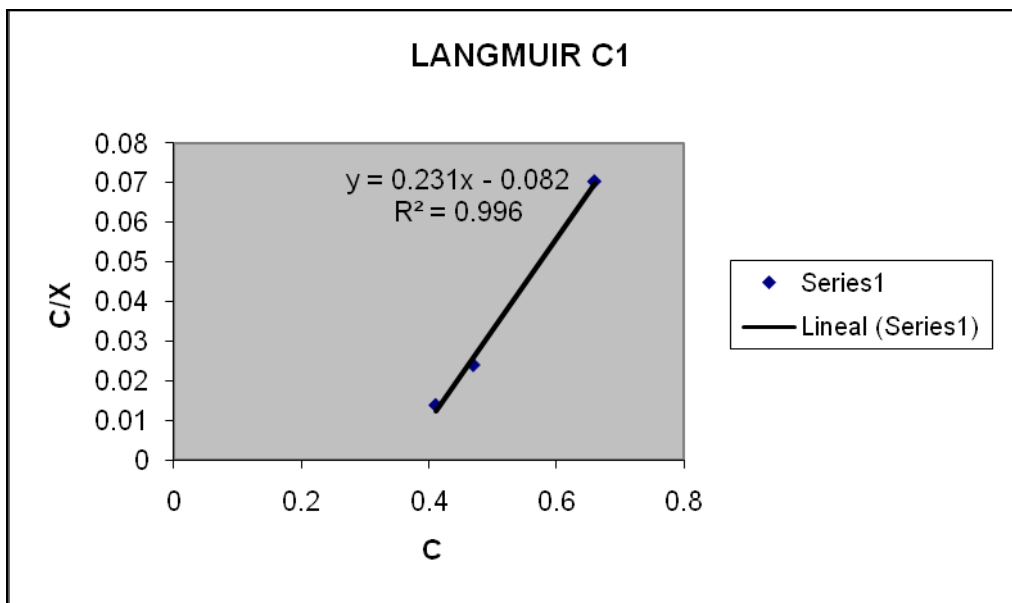


Figura N°21 Isotherma LANGMUIR para el carbón N°1

Cuadro N° 15: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°2.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C2	10	0.76	9.24	0.08225
	20	0.511	19.49	0.02622
	30	0.488	29.51	0.01654
	50	0.972	49.03	0.01982

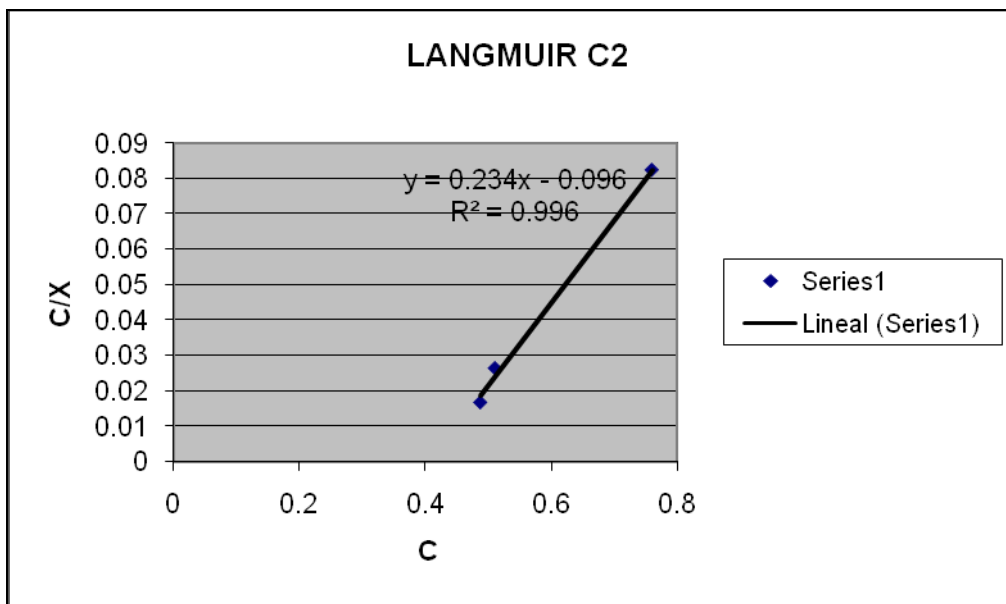


Figura N°22 Isotherma LANGMUIR para el carbón N°2

Cuadro N° 16: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°3.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C3	10	0.77	9.23	0.08342
	20	0.150	19085	0.00756
	30	0.252	29.75	0.00847
	50	1.195	48.80	0.02449

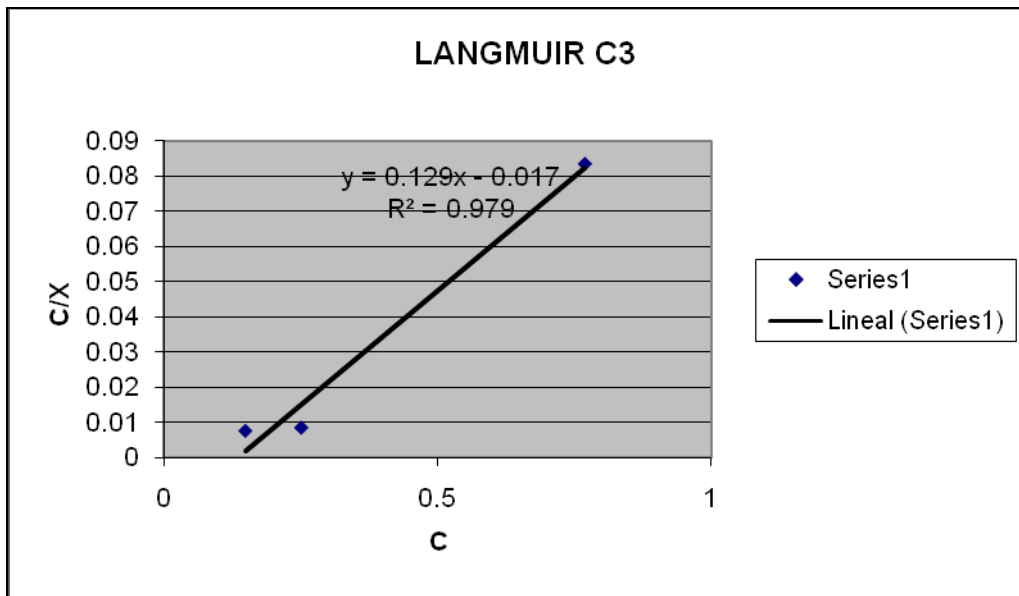


Figura N°23 Isooterma LANGMUIR para el carbón N°3

Cuadro N° 17: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°4.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C4	10	0.910	9.09	0.10011
	20	0.225	19.77	0.01138
	30	0.382	29.62	0.01290
	50	0.761	49.24	0.01545

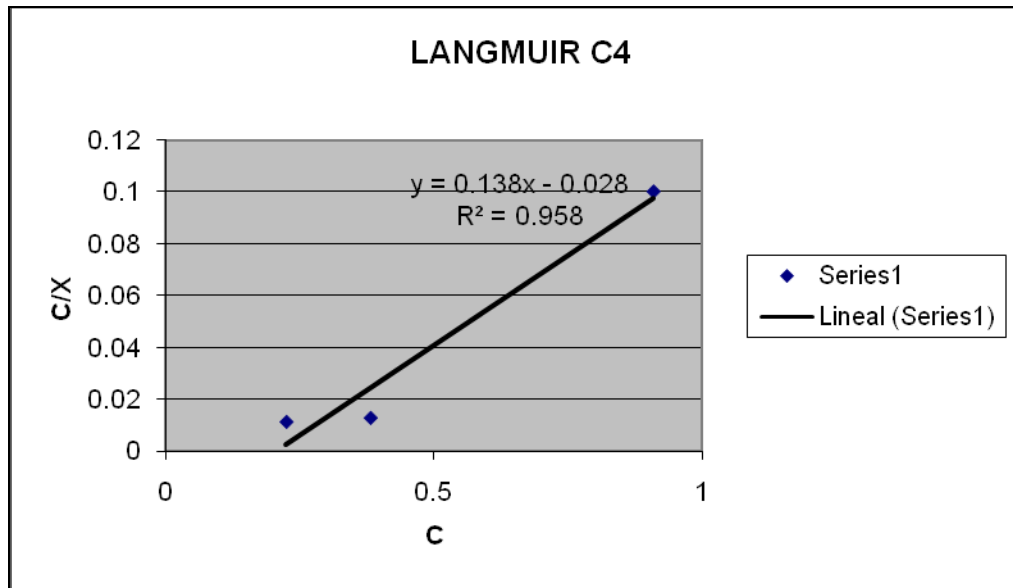


Figura N°24 Isoterma LANGMUIR para el carbón N°4

Cuadro N° 18: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°5.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C5	10	0.83	9.17	0.09051
	20	0.280	19.72	0.01420
	30	0.388	29.61	0.01310
	50	1.293	48.71	0.02654

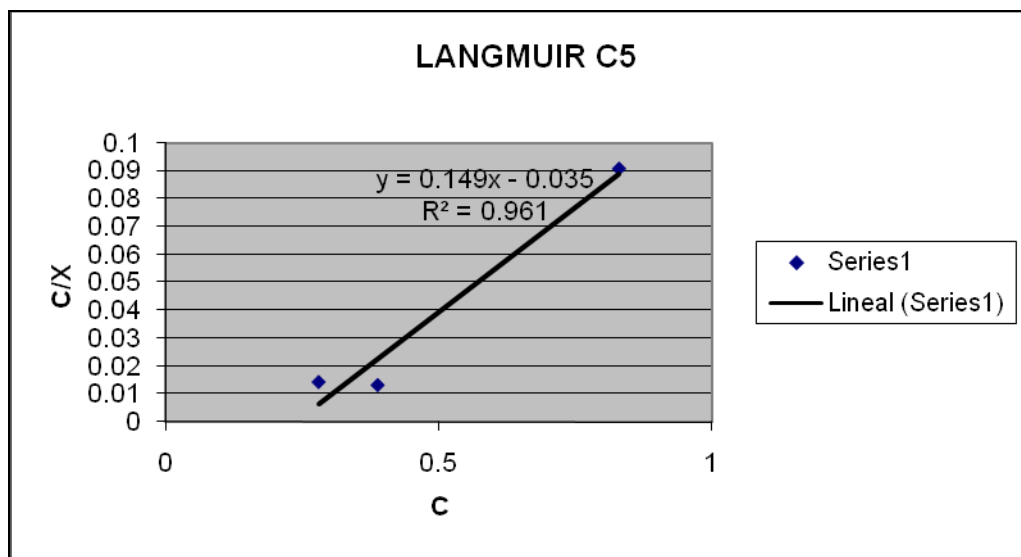


Figura N°25 Isoterma LANGMUIR para el carbón N°5

Cuadro N° 19: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°6.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C6	10	0.64	9.36	0.06838
	20	0.33	19.67	0.01677
	30	0.470	29.53	0.01592
	50	1.115	48.88	0.02281

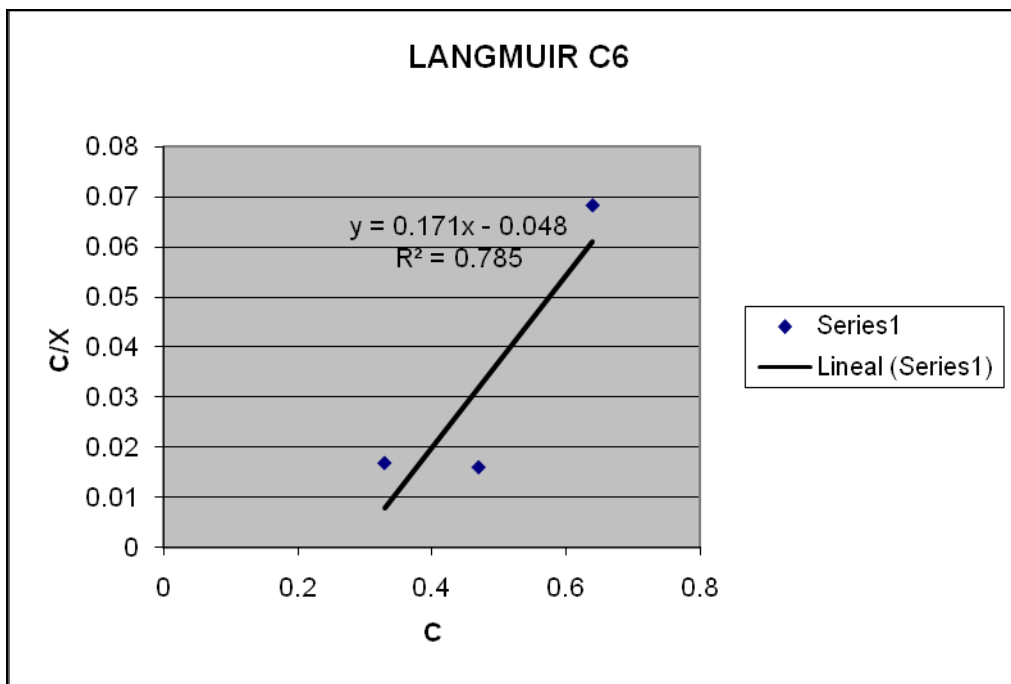


Figura N°26 Isoterma LANGMUIR para el carbón N°6

Cuadro N° 20: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°7.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C7	10	0.52	9.48	0.05485
	20	0.120	19.88	0.00604
	30	0.176	29.82	0.00590
	50	0.720	49.28	0.01461

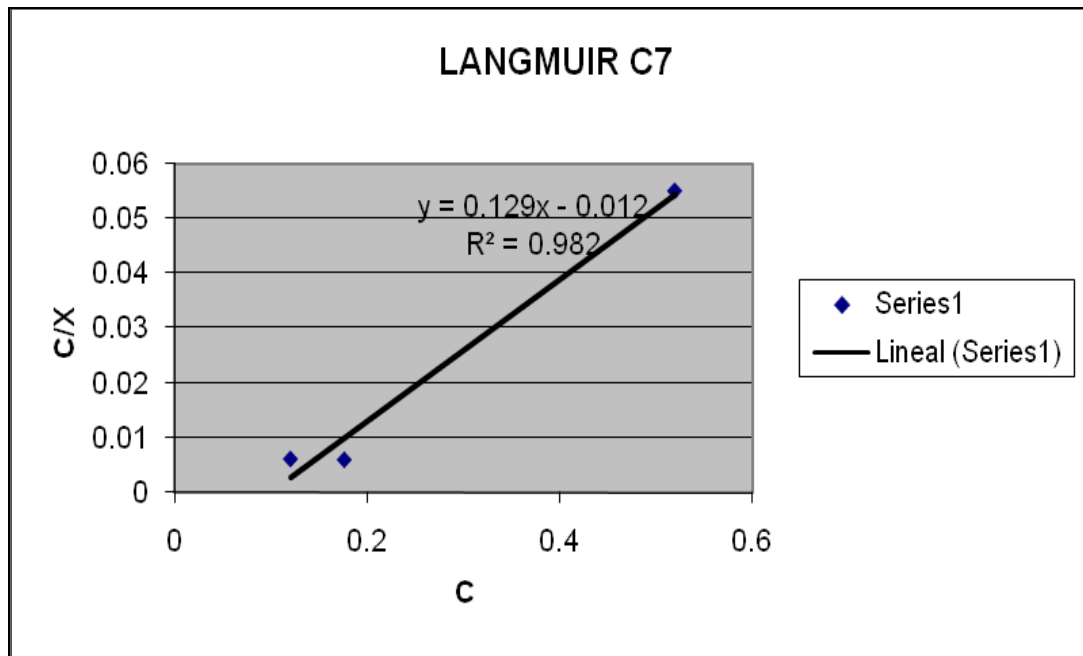


Figura N°27 Isotherma LANGMUIR para el carbón N°7

Cuadro N° 21: Resultados obtenidos para elaborar la isoterma de LANGMUIR del carbón N°8.

Muestra	C ₀	C	X	C/X
C8	10	0.74	9.26	0.07991
	20	0.140	19.86	0.00705
	30	0.188	29.81	0.00631
	50	0.735	49.26	0.01492

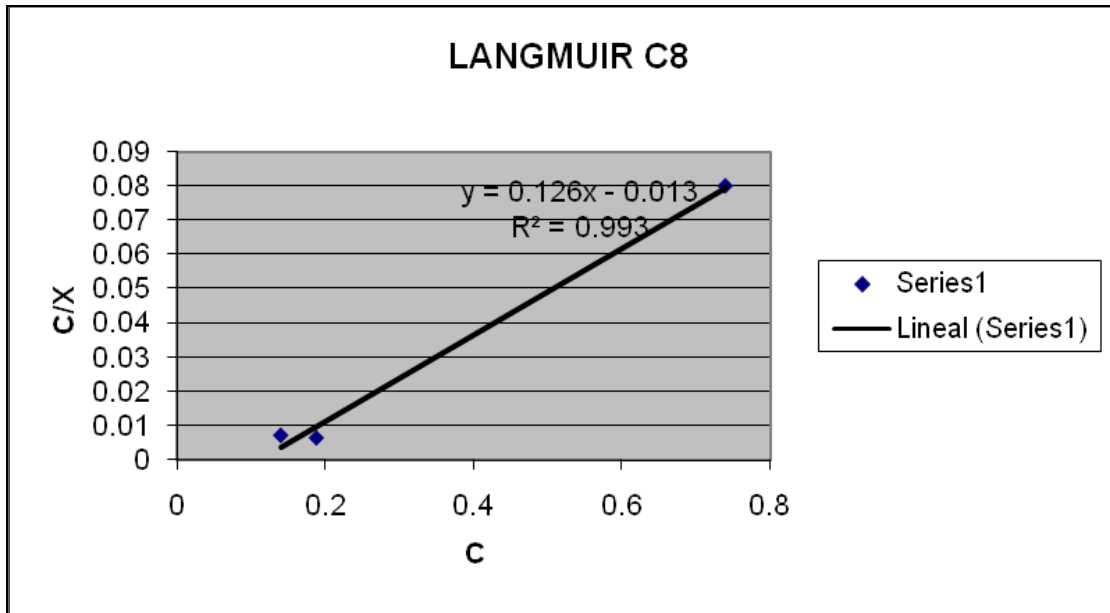


Figura N°28 Isooterma LANGMUIR para el carbón N°8

ANALISIS DE SUPERFICIE ESPECÍFICA A PARTIR DE
ISOTERMA DE LANGMUIR

Nº de carbón	Concentración de activo	Tiempo (minutos)	Temperatura (°c)	Superficie especifica (m ² / g)
1	3M	60 min	550 °c	1044.60
2	3M	30 min	550 °c	1122.17
3	3M	60 min	650 °c	1389.38
4	3M	30 min	650 °c	1415.91
5	5M	60 min	550 °c	1366.22
6	5M	30 min	550 °c	1267.29
7	5M	60 min	650 °c	1339.20
8	5M	30 min	650 °c	1384.45

Ejemplo de cálculo: Para el carbón N°1

Fórmulas

$$S = X_m N_o a$$

$$X_m = 1 / (\text{Pendiente} - \text{intercepto})$$

$$X_m = 1 / (0.2313 - 0.0822) \quad X_m = 6.7069$$

$$S = (6.7069) (6.23 \times 10^{23}) (25 \text{ \AA}^2) (1 \times 10^{-10} \text{ m} / 1 \text{ \AA})^2$$

$$S = 1,044.60 \text{ m}^2 / \text{g}$$

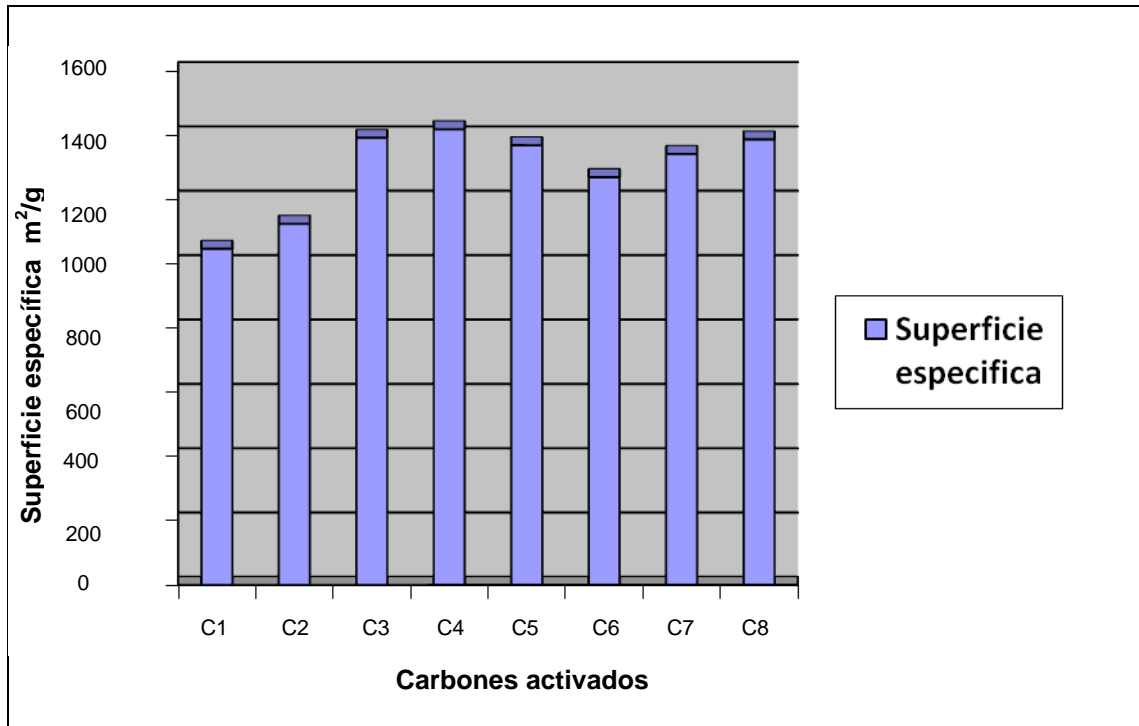


Figura N°29 Valores de superficies especificas partir de la isoterma de Langmuir, para cada uno de los carbones activos obtenidos en el laboratorio.

La figura N°29 muestra los valores de superficie específica de cada carbón obtenido en el laboratorio, pero éstas superficies no fueron utilizadas en el análisis de resultados ya que la isoterma de Langmuir solo explica la adsorción en monocapa, es decir en la capa más externa, además que no se aplica para material poroso como es el carbón.

Anexo N° 10



a) Estufa



b) Agitadores electromagnéticos



d) Crisoles de porcelana.



c) Mufia con crisoles.




f) Espectrofotómetro de llama



e) Equipo de agitación Shaker

Figura N°30 Material y Equipo utilizados en la obtención de carbones activos y la medición de cromo.

Anexo N° 11

	FUNDACION SALVADORENA PARA INVESTIGACIONES DEL CAFE										
	LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS										
	SECCION ESPECIALES										
INFORME No. : EC-41											
PROPIETARIO: PATRICIA BOLAÑOS Y KAREN TOBAR DIRECCIÓN: TELÉFONO: 22250016-25162355	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">FECHAS</th> </tr> <tr> <td>RECEPCIÓN:</td> <td>06/03/08</td> </tr> <tr> <td>ANÁLISIS:</td> <td>07/03/08</td> </tr> <tr> <td>EMISIÓN:</td> <td>07/03/08</td> </tr> </table>			FECHAS		RECEPCIÓN:	06/03/08	ANÁLISIS:	07/03/08	EMISIÓN:	07/03/08
FECHAS											
RECEPCIÓN:	06/03/08										
ANÁLISIS:	07/03/08										
EMISIÓN:	07/03/08										
RESULTADOS DE ANÁLISIS EN MUESTRAS DE LECTURA DE SOLUCIONES											
CÓDIGO DELABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	LECTURA DE CROMO mg/L									
EC-124	C1 (1)	3.80									
EC-125	C1 (2)	3.80									
EC-126	C2 (1)	4.20									
EC-127	C2 (2)	4.20									
EC-128	C3 (1)	3.50									
EC-129	C3 (2)	3.60									
EC-130	C4 (1)	3.70									
EC-131	C4 (2)	3.60									
EC-132	C5 (1)	3.60									
EC-133	C5 (2)	3.70									
EC-134	C6 (1)	3.70									
EC-135	C6 (2)	3.60									
EC-136	C7 (1)	3.60									
EC-137	C7 (2)	3.40									
EC-138	C8 (1)	3.40									
EC-139	C8 (2)	3.20									
EC-140	Cr	18.00									
EC-141	C Merck	5.00									

NOTA ACLARATORIA: El resultado del análisis corresponde a la muestra enviada por usted (es) a este Laboratorio. El muestreo es responsabilidad del usuario. El Laboratorio no autoriza la reproducción parcial sin la debida autorización por escrito.


 Lic. Reina Elizabeth Funes de Cruz
 Coordinador del Laboratorio de Servicios Analíticos


 Lic. Julio César Chávez
 Técnico Analista

El Café es Vida
 Avenida Manuel Gallardo, y 13 Calle Poniente, Santa Tecla, la libertad, El Salvador, C.A.
 PBX: (503)2288-3088, FAX(503) 2228-0669, E-mail info@procafe.com.sv, <http://www.procafe.com.sv>

Figura N° 31 Informe de análisis en la lectura de cromo. Por el método de absorción atómica de llama.

Anexo N° 12

Análisis de resultados con el sistema StatAdvisor.

El StatAdvisor crea diseño factorial que estudian los efectos de 3 factores en 16 ejecuciones. El diseño será ejecutado en 2 bloques. El orden de los experimentos se ha aleatorizado totalmente. Esto protege contra los efectos de variables ocultas. Con lo que se obtienen los siguientes gráficos resultantes:

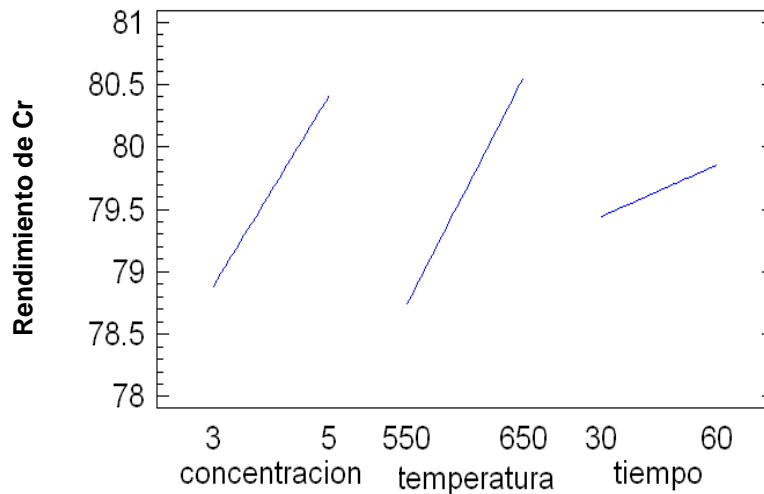


Figura N° 32 Gráfico de efectos principales para la adsorción de cromo.

Este gráfico de las tres variables utilizadas de concentración, temperatura y tiempo utilizados, muestra cuales son los factores más influyentes para incrementar la capacidad de adsorción de cromo; donde los factores concentración y temperatura son más sobresalientes.

Anexo N° 13

Análisis de resultados con el sistema StatAdvisor.

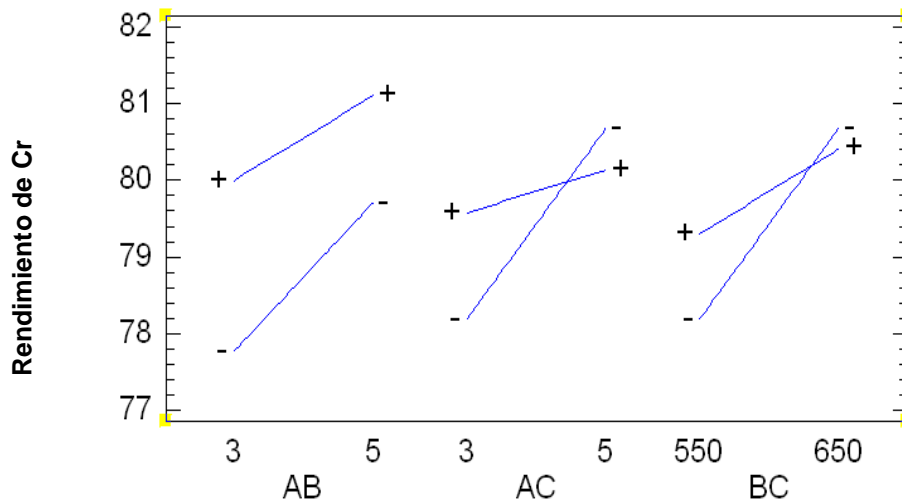


Figura N° 33 Gráfico de interacción para rendimiento de cromo.

En este gráfico podemos ver como se ven afectadas las interacciones de los tres factores utilizados en este diseño experimental. Se puede observar que no hay influencia de la interacciones entre factores A y B, en la interacciones entre A y C vemos que se puede esperar un mejor resultado a menor tiempo y mayor concentración del agente activante, y entre los factores B y C, a un menor tiempo y temperatura mayor se verá incrementada esta propiedad adsorbente de los carbones elaborados.