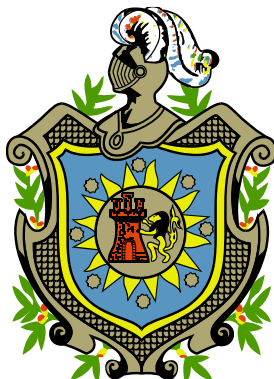


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN
QUÍMICA INDUSTRIAL**



**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES EN EL
PROCESO DE PREPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVO DE CÁSCARA DE
NARANJA VALENCIA (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck), LABORATORIOS
DE QUÍMICA UNAN-MANAGUA, II SEMETRE 2016.**

Autores:

Br. Rebeca Alejandra García López

Br. Yasser Antonio Granillo Oporta

Tutor:

PhD. Danilo López Valerio.

Managua, Abril 2017

DEDICATORIA

En primera instancia agradezco a Dios nuestro creador por haberme dado salud, sabiduría y fuerza durante el transcurso de mi vida y carrera profesional para alcanzar mis metas.

Al ser más grande de mi vida, mi madre María Margarita Oporta Marín por darme la vida, creer en mí y porque siempre me apoyaste en toda mi educación, tanto académica, como de la vida.

Yasser Antonio Granillo Oporta

DEDICATORIA

A Dios quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para poder culminar este trabajo.

A mi prometido J. Antonio Gutiérrez quien me brindó su amor, su cariño y su apoyo en todo momento a pesar de las circunstancias. Animándome siempre en la realización de este trabajo y alcanzar nuevas metas.

Rebeca Alejandra García López

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud y vida para cumplir mis meta, paciencia y fuerza para sobrellevar y afrontar las adversidades en la elaboración de la tesis.

A mi madre por ser la fuente de inspiración y motivación para superarme cada día más y lograr que este sueño se haga realidad, gracias mamá por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

A mis hermanos y familiares por ser parte de mi vida, por estar conmigo, por apoyarme siempre y representar la unión familiar.

A mis familiares que participaron de manera directa o indirecta en la realización de esta monografía.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante mi formación académica estuvieron a mi lado apoyándome en esta etapa de mi vida.

A nuestro tutor el PhD. Danilo López Valerio por compartir su experiencia y estar pendiente del desarrollo de cada etapa del proceso experimental y de redacción para la culminación del trabajo monográfico

Yasser Antonio Granillo Oporta

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios infinitamente por darme la vida, las fuerzas y permitirme cumplir esta aspiración.

A mis padres, familiares y amigos por su contribución no solo al desarrollo de este trabajo sino también a lo largo de mi vida.

A Dilan Gutiérrez porque gracias a su apoyo constante contribuyó a la realización de este trabajo y mi formación profesional.

A mi compañero de trabajo Yasser Granillo O. Por los conocimientos compartidos y adquiridos

A todos los docentes quienes me transmitieron sus conocimientos a lo largo de mi formación académica; en especial a PhD. Danilo López Valerio por ser parte fundamental en la realización de este trabajo como tutor.

Rebeca Alejandra García López

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA,
UNAN-MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yasser Antonio Granillo Oporta y Rebeca Alejandra García López, con número de carnet 11041173 y 11042196, respectivamente; estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, (UNAN-MANAGUA), al haber cursado y aprobado el pensum de la carrera de Licenciatura en Química Industrial, declaramos en honor que el trabajo monográfico titulado: ***EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES EN EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVO DE CÁSCARA DE NARANJA VALENCIA (Citrus Sinensis Linn Osbeck) II SEMETRE 2016***, escrito aquí es de nuestra autoría, no ha sido previamente presentado por ningún otro autor y hemos consultado y citado las referencias bibliográficas que se incluyeron en el documento.

Yasser Antonio Granillo Oporta
Br. Aspirante al título Lic. Química
Industrial

Rebeca Alejandra García López
Bra. Aspirante al título Lic. Química
Industrial

Managua, Abril del 2017

OPINIÓN DEL TUTOR

Managua, febrero del 2017

MSc. Rosa M. González Tapia
Dir. Dpto. de química
UNAN-Managua

El trabajo realizado por los bachilleres Yasser Antonio Granillo Oporta y Rebeca Alejandra García López, titulado “Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja Valencia (citrus Sinensis Linn Osbeck) II semestre 2016.” Para optar al título de Licenciatura en Química Industrial, se ha llevado a cabo con autonomía investigativa, iniciativa y liderazgo.

Cabe mencionar que esta investigación dará pauta a continuar en el campo de la elaboración de carbón activo, el adsorbente más usado y versátil con un amplio campo de aplicaciones. Basada en el aprovechamiento de residuos biomásicos industriales. Además sienta las bases para la innovación de nuevos proyectos de interés nacional.

Por lo tanto se hace constar que los bachilleres Granillo y García, han realizado esta investigación, fortaleciendo sus habilidades de análisis, además de invertir recursos económicos y horas de trabajo. Por lo que se avala a los bachilleres antes mencionados para que realicen los tramites de presentación y defensa del trabajo.

Sin más le saludo cordialmente.

PhD. Danilo López Valerio. Ing.

Tutor

RESUMEN

Palabras claves: carbón activo, cáscaras de naranja, activación, adsorción.

El objetivo de la investigación fue la evaluación de las condiciones operacionales en la preparación de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*), este es un residuo proveniente del proceso de manufactura de jugos en NAISA (*Nicaragua Agroindustrial S.A.*). La activación del carbón se llevó a cabo mediante un proceso químico con ácido fosfórico (H_3PO_4) como agente activante, variando la concentración del ácido, tiempo y temperatura de carbonización. Se utilizó metodología normalizada de ASTM y ANSI/AWWA para calcular los parámetros físico-químicos como: número de yodo, área superficial, porosimetría, capacidad de adsorción. También se caracterizó la cáscara de Naranja como materia prima. Posteriormente se realizaron pruebas de adsorción para evaluar su desempeño en desodorización de aceite de maní. Mediante el diseño de experimento factorial completo 2^k con 2 niveles y 3 factores, se controlaron las condiciones óptimas de las variables operacionales de la preparación de carbón activo a partir de cáscara de naranja Valencia, siendo estas: tiempo de carbonización de 3 horas, temperatura de carbonización a $450^\circ C$ y ácido fosfórico (H_3PO_4) al 26%; correspondiente al carbón activo número 4, cuya área superficial corresponde a $647 \text{ m}^2/\text{g}$ y su capacidad de adsorción igual a 95 mg/g . Concluyendo que los carbones elaborados a partir de cáscara de naranja valencia son mesoporosos presentando buenas características adsorbentes capaces de adsorber moléculas de tamaño medio como son olores y colores. Finalmente la investigación apunta a aumentar el rendimiento económico y productivo de pymes y microempresas al brindarle valor agregado a los desechos orgánicos provenientes de sus procesos, dando pauta a las procesadoras de Nicaragua a incrementar el aprovechamiento de todos los subproductos.

ABSTRACT

Keywords: active carbon, orange peels, activation, adsorption.

The objective of this investigation was the evaluation of the operational conditions in the preparation of active carbon from orange peels Valencia (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*), this is a residue provenient of the process of juice manufacture in NAISA (*Nicaragua Agroindustrial S.A*). Activation of the carbon was carried out by a chemical process with phosphoric acid (H_3PO_4) as the activating agent, varying the acid concentration, time and temperature of carbonization. A methodology ASTM and ANSI/AWWA standard was used to calculate physico-chemical parameters such as: iodine number, superficial area, porosimetry, adsorption capacity. Orange peel was also characterized as raw material. Subsequently, adsorption tests were carried out to evaluate their performance in deodorizing peanut oil. The optimum conditions of the operational variables of the active carbon extraction from Valencia orange peel were controlled by the design of a 2^k complete factorial experiment with 2 levels and 3 factors, which were: carbonization time of 3 hours, temperature of carbonization at $450^\circ C$ and phosphoric acid (H_3PO_4) at 26%; corresponding to the active carbon number 4, whose superficial area corresponds to $647\text{ m}^2/\text{g}$ and its adsorption capacity equal to 95 mg/g . Concluding that the coals made from orange peel Valencia are mesoporous presenting good adsorbent characteristics capable of adsorbing medium molecules such as odors and colors. Finally, the research aims to increase the economic and productive performance of small and medium size enterprises by providing added value to the organic wastes from their processes, guiding the processors from Nicaragua to increase the use of all sub-products.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	Planteamiento del problema	3
1.4	Justificación	4
1.5	Antecedentes	5

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	Características de la naranja	7
2.1.1	Definición	7
2.1.2	Cultivo de la naranja en Nicaragua	7
2.2	Gestión y aprovechamiento de residuos	8
2.2.1	Residuos de la naranja	8
2.3	Carbón activo	9
2.3.1	Antecedentes históricos	9
2.3.2	Generalidades del carbón activo	11
2.3.3	Propiedades	13
2.3.4	Métodos de activación	14
2.3.4.1	Activación física o térmica	14
2.3.4.2	Activación química	18
2.3.5	Tipos de carbones activos	22
2.3.6	Aplicaciones del carbón activo	22
2.4	El carbón activo en Nicaragua	24
2.5	Estructura del carbón activo y proceso de adsorción	25
2.5.1	Proceso de adsorción	26

2.5.2	Tipos de isoterma de adsorción	27
2.5.3	Ecuación de Freundlich	29
2.5.4	Ecuación de Langmuir	30
2.6	Parámetros de adsorción del carbón activo	32
2.6.1	Porosidad	32
2.6.1.1	Radio medio de poro	32
2.6.1.2	Volumen total de poro	33
2.6.2	Área superficial	33
2.6.3	Temperatura	34
2.6.4	Características físico-químicas del adsorbato	34
2.6.5	pH	34
2.6.6	Tiempo de contacto	35
2.6.7	Densidad aparente	35
2.6.8	Tamaño de partículas	35
2.6.9	Dureza	36
2.6.10	Contenido de cenizas	36
2.6.11	Materias solubles en agua	36
2.7	Índices asociados a los carbones activos	36
2.7.1	Índice de yodo	37
2.7.2	Índice de azul de metileno	37
2.7.3	índice de melaza	38
2.8	El aceite de maní en Nicaragua	38
2.8.1	Desodorización de aceites crudos	39

CAPÍTULO III: PREGUNTA DIRECTRIZ

3.1	Pregunta directriz	40
-----	--------------------	----

CAPITULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO

4.1	Tipo de estudio	41
4.2	Descripción de ámbito de estudio	41

4.3	Lugar donde se llevaron a cabo los análisis	41
4.4	Universo	41
4.5	Muestras	41
4.6	Criterios	42
4.6.1	Inclusión	42
4.6.2	Exclusión	42
4.7	Variables	42
4.7.1	Variables dependientes	42
4.7.2	Variables independientes	42
4.8	Materiales	42
4.8.1	Materiales para procesamiento de información	42
4.8.2	Materiales para recolección de información	43
4.9	Métodos	44
4.9.1	Método factorial para diseño de experimentos	44
4.9.2	Método de determinación de humedad de la cáscara de naranja Valencia (925.09 A.O.A.C)	46
4.9.3	Determinación del contenido volátil en la cáscara de naranja Valencia	46
4.9.4	Método para la determinación de cenizas en la cáscara de naranja Valencia (923.03 A.O.A.C)	46
4.9.5	Método para la determinación de carbón fijo en cáscara de naranja Valencia (ASTM D-3172)	47
4.9.6	Método de prueba estándar para la determinación de índice de yodo del carbón activado (ASTM D4607-14)	47
4.9.7	Práctica estándar para la determinación de la capacidad de adsorción de carbón activo por isoterma en fase acuosa (ASTM D3860-98/2014)	47
4.9.8	Índice de azul de metileno	47
4.9.9	Índice de ácido acético para la determinación de tipo de poro	48
4.9.10	Método de prueba estándar para contenido total de ceniza de carbón activo (ASTM D2866-11)	48

4.9.11	Método de prueba estándar para materias solubles en agua de carbón activo (ASTM D5029-98/2014)	48
4.9.12	Determinación de pH utilizando la técnica pH en el punto de carga cero, pH _{PCC}	49
4.9.13	Determinación de densidad aparente	49
4.9.14	Método de obtención de carbón activo	49

CAPÍTULO V: ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5	Organización y análisis de los resultados	51
5.1	Caracterización de cáscara de naranja Valencia (Citrus Sinensis L)	51
5.2	Obtención de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (Citrus Sinensis L)	52
5.3	Efecto de las condiciones operacionales en la obtención de carbón activo de cáscara de naranja Valencia	52
5.4	Caracterización del carbón activo (porosidad)	55
5.4.1	Índice de azul de metileno	55
5.4.2	Índice de ácido acético	56
5.5	Parámetros del carbón activo	61
5.5.1	Contenido total de cenizas en carbón activo	61
5.5.2	Materias solubles en agua del carbón activo	62
5.5.3	pH del carbón activo	63
5.5.4	Densidad aparente del carbón activo	64
5.6	Evaluación de la capacidad adsortiva del carbón activo en la desodorización de aceite de maní	65

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

6	Conclusiones	66
---	--------------	----

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

7	Recomendaciones	67
---	-----------------	----

CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA

8.1	Bibliografía	68
8.1	Webgrafía	68

CAPITULO IX: ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Zonificación de áreas aptas para el cultivo de naranja	1
Anexo 2	Producción de naranja en los periodos 2000-2016	1
Anexo 3	Áreas cosechadas con naranjas en el territorio nacional	2
Anexo 4	Producción de naranjas en Nicaragua	2
Anexo 5	Entrevistas a Pymes Nicaragüenses	3
Anexo 6	Grupos funcionales del carbón activo	4
Anexo 7	Representación de la estructura de un carbón activo	4
Anexo 8	Representación de los tipos de poros en el carbón activo	5
Anexo 9	Representación del proceso de carbonización del carbón en la activación térmica	5
Anexo 10	Tipos de Carbón Activo	6
Anexo 11	Importaciones a Nicaragua de carbón activo y materiales minerales naturales activados	6
Anexo 12	Esquema del proceso de adsorción y desorción del carbón activo	8
Anexo 13	Estructura porosa de carbones activados	8
Anexo 14	Clasificación de las isotermas según la IUPAC	9
Anexo 15	Aceite de maní en Nicaragua	9
Anexo 16	Determinación de humedad de la cáscara de naranja valencia (método 925.09 A.O.A.C)	10

Anexo 17	Determinación del contenido de material volátil en la cáscara de naranja Valencia	11
Anexo 18	Determinación de cenizas en la cáscara de naranja valencia (método 923-03 A.O.A.C)	12
Anexo 19	Determinación de carbón fijo en la cáscara naranja valencia (ASTM D-3172)	13
Anexo 20	Método de prueba estándar para la determinación de índice de yodo del carbón activado (ASTM D4607-14)	14
Anexo 21	Práctica estándar para la determinación de la capacidad de adsorción de carbón activado por isoterma en fase acuosa (ASTM D3860-98/2014)	19
Anexo 22	Índice de azul de metileno	22
Anexo 23	Índice de ácido acético para la determinación del tipo de poro	23
Anexo 24	Método de prueba estándar para contenido total de ceniza de carbón activado (ASTM D2866-11)	28
Anexo 25	Método de prueba estándar para materias solubles en agua de carbón activado (ASTM D5029-98/2014).	30
Anexo 26	Determinación de pH utilizando la técnica del pH en el punto de carga cero, pH_{pcc}	32
Anexo 27	Determinación de la densidad aparente en carbón activado	33
Anexo 28	Método de obtención de carbón activo	34
Anexo 29	Compra de métodos de evaluación para carbón activo de la ASTM	36
Anexo 30	Cotización de materiales y reactivos de productos el sol	37
Anexo 31	Caracterización de la cáscara de naranja Valencia (Citrus Sinensis L)	39
Anexo 32	Obtención de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (Citrus Sinensis L)	42
Anexo 33	Índice de yodo del carbón activo (ASTM D4607-14)	43
Anexo 34	Capacidad de adsorción de carbón activo por técnica de isoterma en fase acuosa (ASTM D3860-98)	50

Anexo 35	Índice de azul de metileno	57
Anexo 36	Índice de ácido acético	61
Anexo 37	Contenido total de cenizas del carbón activo (ASTM D2866)	83
Anexo 38	Materias solubles en agua del carbón activo (ASTM D5029-98)	85
Anexo 39	pH del carbón activo	86
Anexo 40	Densidad aparente del carbón activo a partir de cáscara de naranja Valencia	91
Anexo 41	Evaluación de la capacidad adsortiva del carbón activo en la desodorización de aceite de maní	92
Anexo 42	Glosario	93
Anexo 43	Abreviaturas y siglas	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema de la macromolécula de celulosa	19
Figura 2.2	Esquema de la macromolécula de la hemicelulosa	20
Figura 2.3	Esquema de la macromolécula de lignina	20

ÍNDICE DE FIGURAS DE ANEXOS

Figura 1.1	Áreas aptas para el cultivo de la naranja	1
Figura 2.1	Producción de la naranja en los periodos 2000-2016	1
Figura 5.1	Grupos funcionales del carbón activo	4
Figura 7.1	Representación de la estructura de un carbón activo	4
Figura 8.1	Representación de los tipos de poros en el carbón activo	5
Figura 9.1	Representación del proceso de carbonización del carbón en la activación térmica	5
Figura 10.1	Tipos de carbón activo	6

Figura 12.1	Esquema del proceso de adsorción y desorción del carbón activo	8
Figura 13.1	Estructura porosa de carbones activos	8
Figura 14.1	Clasificación de las isothermas según la IUPAC	9
Figura 15.1	Aceite de maní en Nicaragua	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.9.1.1	Diseño de experimento factorial completo	44
Tabla 4.9.1.2	Valores operacionales con niveles alto y bajo	45
Tabla 5.1.1	Características fisicoquímicas de la cáscara de naranja Valencia (citrus sinensis L)	51
Tabla 5.4.1.1	Índice de azul de metileno	56
Tabla 5.4.2.1	Ecuaciones de adsorción de Langmuir y Freundlich para el índice de ácido acético	60
Tabla 5.5.1.1	Porcentaje de contenido total de cenizas de los carbones activos	62
Tabla 5.5.2.1	Porcentaje de contenido de materias solubles en agua de carbón activo	63
Tabla 5.5.3.1	pH de los carbones activos obtenidos	64
Tabla 5.5.4.1	Densidad aparente del carbón activo	65

ÍNDICE DE TABLAS DE ANEXO

Tabla 11.1	Importaciones a Nicaragua de carbón activo y materiales minerales naturales activados en los últimos años	6
Tabla 11.2	Detalle mensual (septiembre 2015-febrero 2016) de importaciones de carbón activo a Nicaragua	7
Tabla 23.1	Soluciones de ácido acético	24

Tabla 23.2	Mililitros de hidróxido de sodio gastados en cada titulación y concentración de ácido acético	25
Tabla 23.3	Concentraciones en equilibrio de ácido acético, moles adsorbidos por gramo de carbón y cociente entre ellos	25
Tabla 28.1	Condiciones operacionales de los 8 carbones	34
Tabla 31.1	Porcentaje de humedad de la cáscara de naranja	39
Tabla 31.2	Porcentaje de material volátil de la cáscara de naranja	40
Tabla 31.3	Porcentaje de cenizas en la cáscara de naranja	40
Tabla 31.4	Porcentaje de carbón fijo en la cáscara de naranja	41
Tabla 33.1	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 1	44
Tabla 33.2	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 2	45
Tabla 33.3	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 3	46
Tabla 33.4	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 4	46
Tabla 33.5	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 5	47
Tabla 33.6	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 6	48
Tabla 33.7	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 7	48
Tabla 33.8	Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 8	49
Tabla 33.9	Cálculo del área superficial del carbón activo	50
Tabla 34.1	Lectura de turbidez carbón 1	51
Tabla 34.2	Lectura de turbidez carbón 2	52
Tabla 34.3	Lectura de turbidez carbón 3	52
Tabla 34.4	Lectura de turbidez carbón 4	53
Tabla 34.5	Lectura de turbidez carbón 5	54
Tabla 34.6	Lectura de turbidez carbón 6	54
Tabla 34.7	Lectura de turbidez carbón 7	55
Tabla 34.8	Lectura de turbidez carbón 8	56
Tabla 34.9	Capacidad de adsorción	56
Tabla 35.1	Lecturas medias de los estándares de azul de metileno	58
Tabla 35.4	Lecturas de las muestras por triplicado de azul de metileno tratadas con carbón activo	59

Tabla 36.1	Estandarización del hidróxido de sodio	62
Tabla 36.2	Estandarización del ácido acético	62
Tabla 36.3	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 1	63
Tabla 36.4	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 1	66
Tabla 36.5	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 2	68
Tabla 36.6	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 2	69
Tabla 36.7	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 3	70
Tabla 36.8	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 3	71
Tabla 36.9	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 4	72
Tabla 36.10	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 4	73
Tabla 36.11	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 5	75
Tabla 36.12	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 5	76
Tabla 36.13	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 6	77
Tabla 36.14	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 6	78
Tabla 36.15	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 7	79
Tabla 36.16	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 7	80

Tabla 36.17	Datos para la construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 8	81
Tabla 36.18	Datos para la construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 8	82
Tabla 37.1	Contenido total de cenizas de los carbones activos	84
Tabla 38.1	Porcentaje de materias solubles en agua de carbón activo	85
Tabla 39.1	pH del carbón activo 1	87
Tabla 39.2	pH del carbón activo 2	87
Tabla 39.3	pH del carbón activo 3	88
Tabla 39.4	pH del carbón activo 4	88
Tabla 39.5	pH del carbón activo 5	89
Tabla 39.6	pH del carbón activo 6	89
Tabla 39.7	pH del carbón activo 7	90
Tabla 39.8	pH del carbón activo 8	90
Tabla 40.1	Densidad aparente de los carbones activos	91

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.3.1	Efectos principales para la variable respuesta área superficial	53
Gráfica 5.3.2	Efectos principales para la variable respuesta capacidad de adsorción	54
Gráfica 5.4.2.1	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón activado 4	57
Gráfica 5.4.2.2	Isoterma de Langmuir linealizada carbón 4	57
Gráfica 5.4.2.3	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón activado 4	58
Gráfica 5.4.2.4	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 4	58

ÍNDICE DE GRÁFICAS DE ANEXO

Gráfica 3.1	Áreas cosechadas con naranjas en el territorio nacional	2
Gráfica 4.1	Producción de naranjas en Nicaragua	2
Gráfica 11.1	Importaciones a Nicaragua de carbón activo y materiales minerales naturales activados en los últimos años	7
Gráfica 23.1	Datos de x y c en una regresión lineal con MATLAB	26
Gráfica 23.2	Isoterma de Langmuir de ácido acético adsorbido	27
Gráfica 33.1	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 1	44
Gráfica 33.2	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 2	45
Gráfica 33.3	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 3	46
Gráfica 33.4	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 4	47
Gráfica 33.5	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 5	47
Gráfica 33.6	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 6	48
Gráfica 33.7	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 7	49
Gráfica 33.8	Isoterma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 8	49
Gráfica 34.1	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 1	51
Gráfica 34.2	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 2	52
Gráfica 34.3	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 3	53
Gráfica 34.4	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 4	53
Gráfica 34.5	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 5	54
Gráfica 34.6	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 6	55
Gráfica 34.7	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 7	55
Gráfica 34.8	Isoterma de capacidad de adsorción carbón 8	56
Gráfica 35.1	Ajuste de línea base para la gráfica de calibración de azul de metileno	57
Gráfica 35.2	Máxima absorbancia a una longitud onda de azul de metileno	58
Gráfica 35.3	Curva de calibración del azul de metileno	58
Gráfica 36.1	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 1	64
Gráfica 36.2	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 1	64

Gráfica 36.3	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 1	66
Gráfica 36.4	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 1	67
Gráfica 36.5	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 2	68
Gráfica 36.6	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 2	69
Gráfica 36.7	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 2	70
Gráfica 36.8	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 2	70
Gráfica 36.9	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 3	71
Gráfica 36.10	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 3	71
Gráfica 36.11	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 3	72
Gráfica 36.12	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 3	72
Gráfica 36.13	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 4	73
Gráfica 36.14	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 4	73
Gráfica 36.15	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 4	74
Gráfica 36.16	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 4	74
Gráfica 36.17	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 5	75
Gráfica 36.18	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 5	75
Gráfica 36.19	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 5	76
Gráfica 36.20	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 5	76
Gráfica 36.21	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 6	77
Gráfica 36.22	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 6	78
Gráfica 36.23	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 6	78
Gráfica 36.24	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 6	79
Gráfica 36.25	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 7	79
Gráfica 36.26	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 7	80
Gráfica 36.27	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 7	80
Gráfica 36.28	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 7	81
Gráfica 36.29	Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 8	81
Gráfica 36.30	Isoterma linealizada de Langmuir carbón 8	82
Gráfica 36.31	Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 8	82
Gráfica 36.32	Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 8	83

Gráfica 39.1	pH en el punto de carga cero del carbón 1	87
Gráfica 39.2	pH en el punto de carga cero del carbón 2	87
Gráfica 39.3	pH en el punto de carga cero del carbón 3	88
Gráfica 39.4	pH en el punto de carga cero del carbón 4	88
Gráfica 39.5	pH en el punto de carga cero del carbón 5	89
Gráfica 39.6	pH en el punto de carga cero del carbón 6	89
Gráfica 39.7	pH en el punto de carga cero del carbón 7	90
Gráfica 39.8	pH en el punto de carga cero del carbón 8	90

ÍNDICE DE FLUJOGRAMAS DE ANEXO

Flujograma 31.1	Caracterización de la cáscara de naranja Valencia (citrus Sinensis L)	39
Flujograma 32.1	Obtención de carbón activo a partir de cáscara de naranja Valencia (Citrus Sinensis L)	42
Flujograma 33.1	Análisis de índice de yodo del carbón activado	43
Flujograma 34.1	Análisis de la capacidad de adsorción del carbón activo	50
Flujograma 35.1	Análisis del índice de azul de metileno	57
Flujograma 36.1	Análisis del índice de ácido acético	61
Flujograma 37.1	Análisis del contenido total de cenizas de carbón activo	83
Flujograma 38.1	Análisis del porcentaje de materias solubles en agua de carbón activo	85
Flujograma 39.1	Análisis del pH del carbón activo	86
Flujograma 40.1	Análisis de la densidad aparente del carbón activo	91
Flujograma 41.1	Evaluación de la capacidad adsorptiva del carbón activo optimizado en la desodorización del aceite de maní	92



I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la adsorción es considerada una de las mejores técnicas de remoción de contaminantes, Para este proceso resultan de interés materiales con gran superficie interna, (y por lo tanto poco volumen) como es el carbón activo; el adsorbente más versátil y usado. La adsorción por carbón activo elimina eficazmente un amplio rango de compuestos tóxicos; y la naturaleza química de los átomos de carbono que conforman el carbón activo, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodean al carbón.

En este trabajo se evalúan las condiciones operacionales y sus efectos sobre el área superficial y la capacidad de adsorción en la obtención de carbón activo de cáscara de naranja, recolectadas en NAISA S.A. (Nicaragua agroindustrial S.A.) Fabricantes de productos “doña coco” jugos de frutas “real” y bocadillos “dos montes”, donde las cáscara de naranjas son tratadas como desechos sin ningún beneficio de las mismas.

La activación del carbón se realiza por método químico con ácido fosfórico (H_3PO_4) como agente activante, variando la concentración (26-30) %, temperatura (380-450) °C y tiempo (2-3) horas de carbonización. Se realiza un diseño experimental haciendo uso de Minitab17 para determinar el número de ensayos a ejecutar e identificar la influencia de las variables operacionales en el proceso y establecer los efectos sobre las propiedades características del carbón activo obtenido.

Además se caracteriza la cáscara de naranja, la porosidad del carbón activo obtenido mediante índice de azul de metileno e índice de ácido acético, se calcularon los parámetros asociados al carbón activo obtenido como el contenido total de cenizas, materias solubles en agua, así mismo se determinó pH_{pcc} (pH en el punto de carga cero) y Densidad aparente para cada muestra. Finalmente se realiza la evaluación cualitativa del producto obtenido, en la desodorización de una muestra de aceite de maní.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

Evaluar las principales condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo usando cáscaras de naranja Valencia mediante tratamiento químico.

1.2.2. Objetivos Específicos:

1. Caracterizar la cáscara de naranja Valencia (Citrus Sinensis L) para su uso en la producción de carbón activo, por medio de contenido de cenizas, material volátil, carbón fijo y humedad, utilizando metodología certificada (ASTM y la A.O.A.C.).
2. Obtener carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (Citrus Sinensis L) mediante activación química usando ácido fosfórico (H_3PO_4) a concentraciones, temperaturas y tiempo variables.
3. Calcular los parámetros asociados al carbón activo tales como área superficial, porosidad y capacidad de adsorción mediante metodología certificada (ASTM).
4. Determinar los parámetros coligados al carbón activo tales como contenido total de cenizas, materias solubles en agua, pH_{pcc} , y densidad aparente mediante metodología certificada (ASTM).
5. Evaluar la capacidad adsorptiva del carbón activo en la desodorización de aceite de maní.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alto costo de los carbones activos utilizados en la industria nicaragüense debido a que no son producidos en el país sino importados de otros países, su creciente demanda y la cantidad de desechos orgánicos contaminantes generados por la industria crean la necesidad de brindar una alternativa para el aprovechamiento de los residuos generados en las industrias transformadoras de cítricos mediante la obtención, caracterización y evaluación de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia.

Los carbones activos son sustancias auxiliares de vital importancia para muchos sectores de la industria. En Nicaragua la mayoría de empresas lo utilizan para el tratamiento de aguas de proceso. Según los informes del comercio exterior (COMEX) 2016 anualmente en Nicaragua se importa un valor promedio de 792 020,8 dólares en carbón activado.

Los usos del carbón activo no se limitan solamente al sector industrial sino también medioambiental y medicinal, son preparados a partir de materiales con un alto contenido de carbono, especialmente, materiales orgánicos como la cáscara de naranja.

En Nicaragua la naranja es una de las frutas más explotadas en el comercio y procesamiento de cítricos, un porcentaje significativo es destinado a la industria alimenticia y microempresas en forma de zumos y mermeladas, donde se genera residuos orgánicos que deben ser gestionados y revalorizados.

A nivel nacional se dispone de una buena cantidad de materia prima para la elaboración de carbón activado ya que la mayoría de empresas y microempresas optan por desechar los residuos orgánicos en vertederos controlados o sirven de alimento para animales sin tener un mayor beneficio económico.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Mediante la elaboración de carbones activos a partir de residuos agroindustriales como la cáscara de naranja (la cual es una fuente renovable), se presenta diversas ventajas; permite la eliminación de residuos contaminantes realizando una gestión eficaz incrementando su valor añadido, aumenta la posibilidad de obtener carbones activados a menor costo y reducir importaciones

Según un estudio realizado por Pinzón y Cardona de la universidad de Pamplona Colombia, en el año 2010, la cáscara de naranja presenta alto contenido en carbono, bajo contenido de cenizas y alta capacidad de intercambio catiónico, lo cual puede ser considerada como materia prima para producción de carbón activo. En Nicaragua este remanente orgánico es subproducto de la industria transformadora de alimentos a la cual se dará valor agregado y generar interés por la producción de carbón activo en nuestro país.

Nicaragua tiene buen desempeño como productor de cítricos y es importante utilizar las materias primas, no solo utilizando la proporción más significativa de la producción en actividades de transformación, sino también aprovechar la cantidad considerable de residuos que se generan.

1.5 ANTECEDENTES

En 2002 Medina B. & Villegas P., trabajaron el “**Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales**”. Concluyeron que es más recomendable la activación química para las maderas y los residuos agroindustriales, en cambio para las semillas y cáscara de frutos como la caoba africana la variante más adecuada resulto ser la activación física.

También en el 2010, Primera O., Colpas F., Meza E & Fernández R., de la Universidad de Cartagena, Colombia, trabajaron en “**Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo**”. Concluyeron de que los carbones activados obtenidos fueron más selectivos para absorber cadmio que plomo y que la remoción de estos metales pesados fue de mayor facilidad cuando se encontraban solos que combinados.

Así mismo en 2012, Peña K., Giraldo L. & Moreno J., trabajaron en la “**Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química**”, concluyeron que el incremento en la concentración de la solución de ácido fosfórico (agente activante) desarrolla en las muestras una mayor área superficial y una tendencia similar en cuanto al volumen de microporo; además presenta influencia sobre la química superficial del material carbonoso.

En el mismo año Garzón J. & González L., investigaron “**Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja**”, determinaron que el pH con mayor eficiencia para la adsorción de Cr (VI) resultó ser de 3 con un 86.05% de remoción en 60 minutos y para valores inferiores se produce una competencia entre los iones de Cr⁶⁺ y H⁺ por los lugares activos.

Un año más tarde Baltodano & Kuan, de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). Nicaragua, realizaron el trabajo **“Evaluación de capacidad adsorptiva del Carbón activado Industrial “Darco” en agente surfactante dodesil benceno sulfonato de sodio lineal presente en los detergentes realizados en los laboratorios de química UNAN-Managua.”** Concluyeron que el carbón activado “Darco” logra eliminar el SDBS poseyendo alta capacidad adsorptiva y una considerable proporción de micro y mesoporosidad.

Además en 2014 Jiménez J., estudiaron el **“Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado”**. Encontró que en los carbones activos obtenidos a partir de la cáscara y corona de la piña, al aplicar la prueba de absorción del azul de metileno determinaron 90% de remoción del colorante empleado en todos los casos.



II. MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA NARANJA

2.1.1 Definición

Citrus X sinensis, naranjo o naranjo dulce es un árbol frutal del género citrus que forma parte de la familia de las rutáceas. Su fruto es la naranja ácida, con un pH entre 2.5 y 3, según la madurez, tamaño y variedad de la pieza. Por su contenido en azúcares simples no destaca tanto el sabor ácido. La temporada de cosecha es en invierno (Mayo, Octubre) y pueden producir de 500 a 1500 frutos por temporada.

El componente principal de la naranja es la vitamina C la cual forma parte de las necesidades diarias del cuerpo humano. También contiene sustancias no-nutritivas entre las que cabe destacar la presencia de fitoquímicos, tales como flavonoides (con efectos antioxidante, antiinflamatorio y antitumoral) y limonoides (anticancerígeno) (Morales y Noriega, 2015)

2.1.2 Cultivo de naranja en Nicaragua

En Nicaragua 11,077 productores utilizan 21,100 hectáreas para cultivar cítricos. Esas labores emplean a 4,000 personas de forma directa y a 5,000 indirectamente. El cultivo de naranjas ocupa el 80% de la producción total de cítricos en Nicaragua, mientras que el 10% corresponde a las mandarinas, el 7% a la de limones y el 3% a otros productos. (Lacayo, 2013)

Según estudios MAGFOR, Nicaragua tiene potencial para el cultivo de naranja en todas las zonas del estado, principalmente en la región Pacífico y central del país (Anexo 1). Exceptuando las de temperaturas muy bajas (López y Alfaro, 2013).

De acuerdo a la (FAO 2016) la producción de naranja en los períodos 2000-2016 ha sido de 117, 638 toneladas por año (Anexo 2). Así mismos las áreas cosechadas en el territorio nacional han aumentado (Anexo 3) y por lo tanto la producción de este fruto ha ido en ascenso. (Anexo 4).

2.2 GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

En la industria alimenticia existe interés y preocupación por lograr el mejor aprovechamiento de los productos y subproductos a fin de lograr mayor rendimiento económico o cuando menos minimizar los gastos que supone la gestión de estos subproductos.

Los residuos sólidos producidos en la transformación de cítricos, en algunos casos pueden considerarse como subproductos si son aprovechables para la elaboración de otros productos. Los residuos restantes que quedan tras el máximo aprovechamiento en la industria transformadora también se pueden utilizar con otros fines.

Actualmente en la industria alimenticia los principales destinos de los residuos sólidos orgánicos generados en sus procesos, son para alimentación animal y abono orgánico debido al alto contenido en humedad que presentan estos residuos. A este tipo de materiales debe dársele un rápido gestionamiento por problemas de descomposición y por otro lado su transporte aumenta el costo del mismo. (Rosas, 2009)

2.2.1 Residuos de la naranja

En el proceso de extracción de naranja, residuos tales como la cáscara, los hollejos y las semillas son conocidos como citropulpa. Este producto es una materia prima altamente utilizada en otros países para alimentación de ganado en varias presentaciones: fresco, ensilado o deshidratado, o bien mezclado en una ración de concentrado. Además, ha sido utilizado por la industria de alimentos concentrados para animales en sustitución de materias primas tradicionales como el maíz.

El desarrollo creciente de agroindustrias, como la de cítricos ha generado gran producción de residuos agroindustriales. Estas cifras de producción muestran la futura disposición de residuos cítricos, teniendo en cuenta que en el proceso de extracción, se obtiene como residuo entre el 45 y 60% de su peso y está distribuido en: cáscaras (50 a

55% del residuo), el hollejo (de 30 a 35%) y semillas (alrededor del 10%) (Garzón y González, 2012). Lo que hace que se obtenga alta cantidad de residuos durante su procesamiento.

En Nicaragua existen pymes y microempresas comprometidas con la calidad y las buenas prácticas de manufactura que elaboran productos a partir de materia prima natural, la mayoría de las grandes empresas que elaboran productos con sabor a naranja, utilizan materia prima sintetizada o pulpa concentrada importada en sus procesos.

Nicaragua cuenta con esta materia prima para elaborar carbón activo, muchas empresas no obtienen beneficio de sus subproductos, entre las pymes tenemos Finca Santa Clara, NAINSA S.A, Planta Láctea la Norteña, quienes elaboran diferentes productos a partir de naranjas y gastan grandes sumas de dinero adquiriendo carbón activo. (Anexo 5)

2.3 CARBÓN ACTIVO

2.3.1 Antecedentes históricos

El uso de los materiales de carbón se pierde en la historia, de forma que es prácticamente imposible determinar con exactitud cuando el hombre comenzó a utilizarlos. Inicialmente se empleó como adsorbente el carbón vegetal, o simplemente maderas parcialmente desvolatilizadas o quemadas antes que el carbón activo.

Los primeros escritos sobre la adsorción en carbones porosos datan del año 1550 A.C, encontrados en un antiguo papiro egipcio, y posteriormente, aplicaciones descritas por Hipócrates y Plinio el Viejo, principalmente con fines medicinales. En el siglo dieciocho, carbones hechos de sangre, madera y animales, se utilizaron para la purificación de líquidos. Todos estos materiales, que pueden considerarse como precursores de carbones activados, sólo estaban disponibles en polvo.

La primera aplicación documentada del uso de carbón activado en fase gas data del año 1793, cuando el Dr. D.M. Kehl utilizó el carbón vegetal para eliminar los olores emanados de heridas gangrenadas y la primera aplicación industrial del carbón activo tuvo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto durante 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente.

En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activo en fase gas, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activo utilizadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

El término adsorción no fue utilizado hasta 1881 por Kayser para describir como los carbonizados atrapaban los gases. Aproximadamente por estas fechas R. Von Ostrejko, considerado el inventor del carbón activo, desarrolla varios métodos para producir carbón activo tal y como se conoce en nuestros días, más allá de simples carbonizados de materiales orgánicos o del carbón vegetal.

El hecho de que el carbón activado tenga la propiedad de adsorber metales preciosos en solución primeramente fue publicado Lazowski en 1847. Esta información atrajo considerable interés, como es evidente por la publicación de 46 artículos técnicos entre 1848 y 1890. Este proceso consiste en la disolución de oro y plata en solución de cianuro de sodio, pasando la solución clarificada en varios lechos de carbón. El carbón es quemado para recuperar los materiales preciosos y el residuo fundido.

Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir carbón activo. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales; lo cual resultó la base de lo que hoy en día es la activación química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o CO₂, es decir, una activación física, o más correctamente térmica.

La Primera Guerra Mundial, y el uso de agentes químicos durante esta contienda, trajeron como consecuencia la necesidad urgente de desarrollar filtros de carbón activo para máscaras de gas. Sin duda este acontecimiento fue el punto de partida para el desarrollo de la industria del carbón activo, y de un buen número de carbones activos usados no sólo en la adsorción de gases tóxicos sino en la potabilización de agua. A partir de este momento, tuvo lugar el desarrollo de multitud de carbones activos para aplicaciones más diversas: depuración de gases y aguas, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, etc.

Desde los años 30 se usó para eliminar el sabor y olor del agua, y desde entonces hasta nuestros días el carbón activo se ha utilizado de manera extensiva en muchas industrias, para eliminar o recuperar compuestos orgánicos como tintes o disolventes de las aguas o purificar el aire, así como en las plantas potabilizadoras, donde se usan los lechos de carbón activo para la depuración del agua de suministro urbano.

En la actualidad, el carbón activado es un producto muy cotizado en el mercado mundial, por sus innumerables aplicaciones en los campos de: la medicina, la industria biofarmacéutica y el medio ambiente. Su producción es controlada por países altamente desarrollados como Holanda, Reino Unido, Japón, Alemania y los Estados Unidos (Pilamonta, 2013).

2.3.2 Generalidades del carbón activo

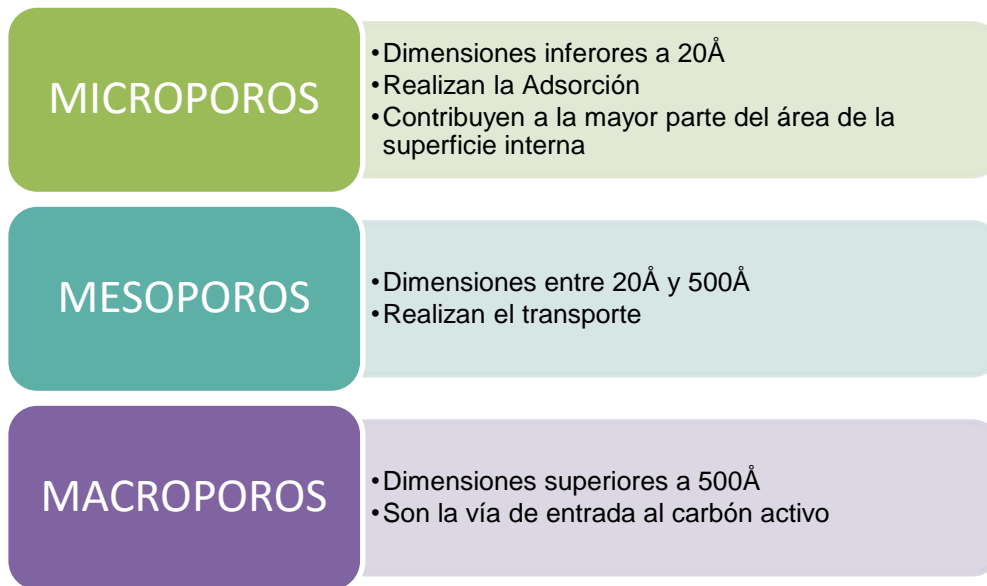
El carbón activo son materiales porosos, amorfos y preparados químicamente para que tengan un elevado grado de porosidad y alta superficie específica interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo componen, le dan la propiedad de atraer y atrapar ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón. A esta propiedad se le llama “adsorción”; al sólido que adsorbe se le denomina adsorbente y a la molécula atrapada, adsorbato. (Soto, 2007)

La actividad del carbón activo en los procesos de adsorción viene dada fundamentalmente, por la naturaleza de la materia prima y el proceso de activación utilizado en la producción del mismo. Su capacidad adsorbente se ve muy favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares, dada su estructura química, además las reacciones químicas en su superficie están influenciadas por centros activos, dislocaciones y discontinuidades, donde los carbones tienen electrones desapareados y valencias insaturadas presentando mayor energía potencial. (Márquez, 2007)

La unión entre el carbón y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de Van der Waals. Éstas son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles. El área específica del carbón activo oscila desde 600 a 2000 metros cuadrados por gramo. Tanto en el carbón en estado granular como en forma de polvo, esta superficie es casi enteramente interna; es el área de la estructura porosa creada en los dos pasos seguidos en la expulsión de los componentes volátiles de las materias primas carbonosas y la oxidación del residuo (Anexo 6).

El carbón activo está formado estructuralmente por capas, dejando unos espacios que corresponden a los poros. Esta estructura del carbón activo, constituida por un conjunto irregular de capas de carbono con espacios producidos por los huecos creados por el plegamiento de las capas, es lo que constituye la porosidad. (Castro, Flores y Martínez 2009) (Anexo 7)

Según la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) los poros se clasifican en tres grupos principales (Anexo 8):



2.3.3 Propiedades.

Las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado son: elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, pero la porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante. En general, los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido.

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la superficie y la porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie (apolar) del carbón. En estos casos, la fijación al carbono de “heteroátomos”, principalmente oxígeno e hidrógeno, formando estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, lactosas, carbonilo, etc., elevan la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente y pueden imprimir un carácter ácido-base al carbón (Pilamonta, 2013).

2.3.4 Métodos de Activación

La obtención de carbón activo está basada en dos etapas fundamentales: La carbonización de la materia prima y la activación del producto carbonizado. En general todos los materiales carbonosos pueden ser transformados en carbón activo, siendo las propiedades del producto final dependientes de la naturaleza de materia prima, el agente activante y el proceso de activación.

La activación del material carbonizado consiste en el desarrollo de la estructura porosa antes generada, mediante la adición de agentes oxidantes. La activación puede llevarse a cabo por dos métodos: Físico y Químico.

En ambos procesos, el área superficial específica del carbón activo obtenido depende de la pérdida de peso del material durante la etapa de activación, alcanzando, generalmente un valor máximo cuando se produce una pérdida de peso entre el 30 y el 70 %. El grado de activación determina las propiedades estructurales finales del carbón activado producido. Esta estructura porosa es la característica fundamental que determina la calidad de los carbones activados. (Universidad de Sevilla, s.f)

2.3.4.1. Activación física o Térmica.

El método de activación térmica se efectúa en dos etapas: en la primera de ellas, denominada carbonización o pirólisis, se obtiene el carbonizado por descomposición térmica de la materia prima. Éste constituye un producto de estructura porosa poco desarrollada, que presenta propiedades adsorptivas muy limitadas. En la segunda etapa, denominada activación, el carbón es sometido a la acción de gases que aceleran este proceso, tales como vapor de agua, dióxido de carbono, oxígeno, etc.

Este proceso se efectúa a temperaturas que varían desde 800 hasta 1000°C y como resultado, se obtiene un producto de estructura porosa muy desarrollada, con elevadas propiedades de adsorción, que constituyen la base de su amplia y variada aplicación industrial.

En la carbonización la descomposición térmica de la materia prima carbonosa de partida conduce a dos fracciones:

- Una fracción volátil, rica en hidrógeno, que está formada por gases vapores y alquitranes (que son líquidos o sólidos a temperatura ambiente).
- Y un residuo sólido, rico en carbono, denominado carbonizado.

La estructura de la materia prima inicial (carbón en este caso) se fracciona como consecuencia de la rotura de los enlaces menos estables (puentes de metileno entre anillos aromáticos, éter, tioeter, etc.), dando lugar a un gran número de radicales muy reactivos, parte de los cuales estabilizan vía adición de hidrógeno, originando compuestos que son volátiles; otros radicales pueden sufrir reacciones de condensación y polimerización, dando lugar al residuo sólido carbonizado. Dicho residuo se encuentra enriquecido en carbono y en anillo aromáticos en comparación con la materia prima inicial.

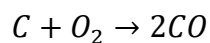
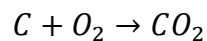
Por otro lado, los productos gaseosos formados pueden sufrir reacciones secundarias en fase gas debido a la acción de la temperatura, las cuales no afectan prácticamente a la estructura del carbonizado obtenido. El carbonizado en esta etapa presenta unas formaciones cristalógraficas relativamente organizadas denominadas cristales grafiticos elementales. Estos cristales se agrupan de forma irregular, de modo que siempre quedan huecos muy estrechos entre ellos, que además pueden estar bloqueados por la deposición del residuo generado por el craqueo de alquitranes en su salida de la partícula. Por tanto, el carbonizado obtenido tiene una pequeña capacidad de adsorción que necesita ser incrementada en una etapa posterior. (Anexo 9)

Durante el proceso de carbonizado, si los gases de producto de la pirolisis son eliminados rápidamente del carbonizado mediante una corriente de gas inerte, la cantidad de carbonizado obtenida será menor, pero será más reactivo, al evitarse el craqueo de

alquitranes en la superficie de la partícula, con lo cual se evita que el residuo formado en una reacción de craqueo se deposite sobre la partícula de carbonizado.

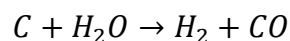
Luego de la carbonización el carbón tiene una estructura porosa desarrolla débil, pero si no es sometido a la etapa de activación posterior no puede ser utilizado como un adsorbente, esta activación térmica o física consiste en tratar la materia prima en presencia de gases (dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno) a elevadas temperaturas. En este proceso, el carbono de la estructura carbonosa reacciona con el agente oxidante, formando óxidos de carbono.

Debido a una gasificación parcial del sólido inicial, se desarrolla una gran estructura porosa en el interior de las partículas. Entre los agentes activantes, el más reactivo es el oxígeno, mientras que el menos reactivo es el dióxido de carbono. En la activación con oxígeno el carbono produce simultáneamente dióxido y monóxido de acuerdo con las siguientes ecuaciones estequiométricas.

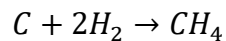
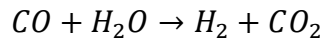


Los mecanismos de reacción, sin embargo, todavía no son totalmente esclarecidos. Parece ser que tanto el monóxido como el dióxido de carbono son productos primarios de la reacción, y la proporción CO/CO₂ aumenta con un incremento de temperaturas. Este agente activante es raramente utilizado ya que lleva consigo muchas dificultades. Al ser exotérmica la reacción, es muy difícil controlar la temperatura del proceso, y al aumentar localmente la temperatura, la reacción estaría controlada por difusión y no se desarrollaría la estructura interna, sino que se quemaría su superficie.

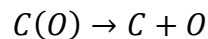
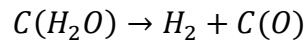
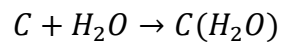
En la activación con vapor de agua la reacción básica del carbono con el vapor de agua es endotérmica:



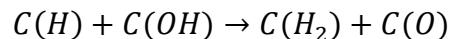
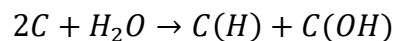
Esta reacción fue estudiada extensamente, no solo desde el punto de vista del proceso de activación, sino porque también es la reacción principal de obtención del gas de agua. Además, los productos de esta reacción pueden reaccionar posteriormente tanto en fase homogénea como en fase heterogénea de acuerdo con las siguientes reacciones;



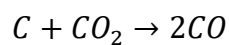
Muchos grupos de investigación han presentado un mecanismo de reacción basado en un conjunto de pasos sencillo, mediante la formación de complejos, que se presenta a continuación:



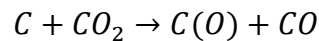
El hidrógeno produce un efecto inhibitor debido a la formación del complejo superficial C (H₂) en los centros activos de la estructura carbonosa. Por otro lado, Long y Sykes propusieron que la primera etapa del mecanismo era la adsorción disociativa de la molécula de agua, formando dos complejos superficiales:



Por tanto esta reacción es inhibida por la presencia de hidrógeno mientras que la influencia del monóxido de carbono es prácticamente insignificante, aunque plantea controversias. En la activación con dióxido de carbono la reacción heterogénea entre el carbono y el monóxido de carbono, viene representada por:



La reacción en la superficie carbonosa de gasificación del carbón con dióxido de carbono transcurre según el siguiente mecanismo:



Las investigaciones cinéticas de estas reacciones con distintos tipos de materias carbonosas no son muy concluyentes sobre la inhibición por formación de complejos superficiales en los centros activos por productos de reacción.

Las reacciones del carbón tanto con dióxido de carbono como con agua necesitan absorción de calor para producirse, razón por la cual las partículas de carbón deben estar en contacto óptimo con el agente activante, es decir, deben estar el gas a una temperatura ligeramente superior a la temperatura de reacción.

2.3.4.2 Activación química

Este proceso se desarrolla en una sola etapa, calentando en atmósfera inerte una mezcla del agente activante con el material de partida. Las sustancias más usadas son: ácido fosfórico (H₃PO₄), Cloruro de zinc (ZnCl₂), ácido sulfúrico (H₂SO₄), aunque también se han usado sulfuros y tiocianatos de potasio, cloruros de calcio y magnesio, hidróxidos de metales alcalinos, entre otras sustancias, siempre en dependencia de la materia prima original a utilizar y el mayor o menor volumen de poros de un tipo o de otro que se quiera obtener.

Los parámetros fundamentales que controlan el proceso de activación química y el producto a obtener son: la relación de impregnación, la temperatura de activación y el tiempo de residencia.

La activación química con $ZnCl_2$:

Fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad, debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del $ZnCl_2$. no obstante, algunos países como China aún siguen usando este método para producir carbón activado.

La activación química con H_3PO_4 :

En la activación química con ácido fosfórico el mecanismo está poco desarrollado pero se ha realizado investigaciones para el análisis de la química superficial de los carbones activados mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), comparando los espectros generados de distintos radicales antes y después de la activación química en el carbón activado.

Se tiene que tener presente los grupos funcionales en los biopolímeros para determinar la formación de los grupos funcionales durante la activación química debido a que algunas estructuras no sufren transformaciones y otras se oxidan, es así que las estructuras de los biopolímeros inicialmente son:

- Celulosa

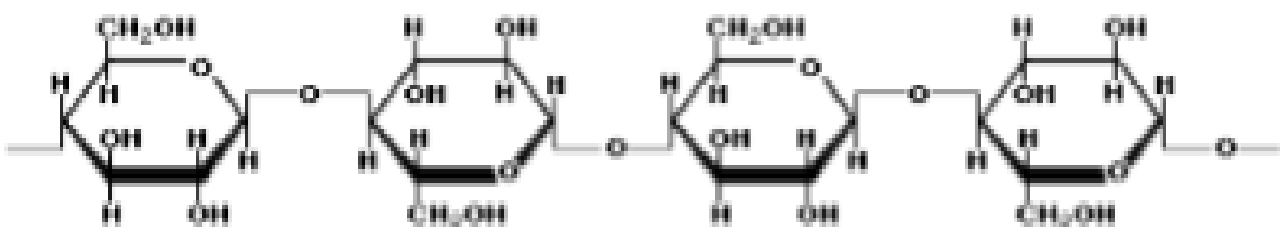


Figura 2.1: Esquema de la macromolécula de la celulosa

- Hemicelulosa

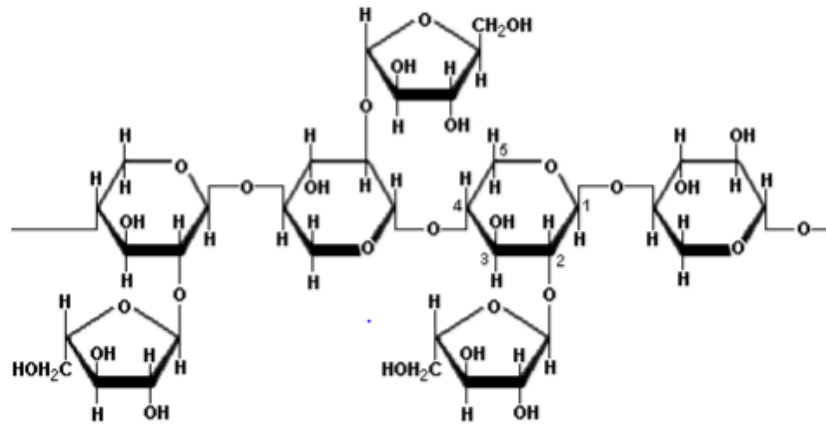


Figura 2.2: Esquema de la macromolécula de la hemicelulosa

- Lignina

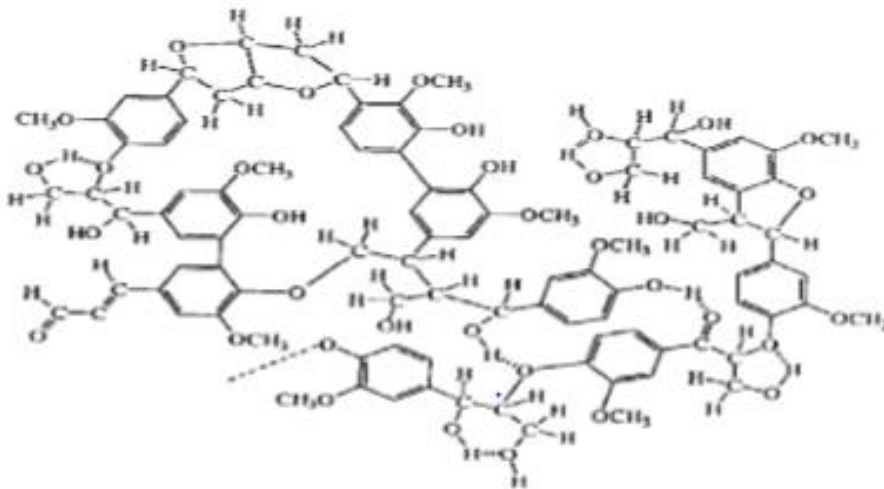


Figura 2.3: Esquema de la macromolécula de la lignina

Según investigación en el ácido fosfórico tiene un efecto deshidratante que se intensifica con el incremento de su concentración. Así, cuando el H₃PO₄ entra en contacto con el precursor, hidroliza los enlaces glicosídicos de los biopolímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina) acelerando la deshidratación y degradación del material impregnado, y

favoreciendo las reacciones de condensación aromática entre las moléculas adyacentes, con la consiguiente evolución de productos volátiles gaseosos.

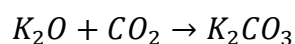
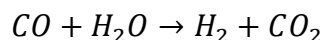
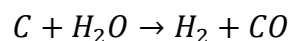
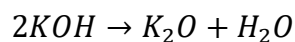
Los carbones comerciales con bajo contenido de cenizas se preparan ya sea por lavado ácido o por una adecuada selección de la materia prima entre las que se encuentran los materiales lignocelulósicos. Estos lavados se realizan con ácido clorhídrico, ácido fosfórico, esperando que los componentes inorgánicos que contiene dicho material se solubilicen y puedan ser removidos eliminando compuestos de Na, K, Ca, Mg y Fe.

La activación química con KOH:

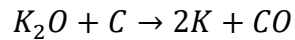
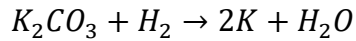
Se desarrolló durante los años 70, para producir los denominados “carbones superactivados”, con superficies específicas del orden de los 3000 m²/g. A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles para la activación con KOH son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc.

En esta activación el KOH se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física, en proporciones entre 2:1 y 4:1. Cuando la impregnación tiene lugar en medio acuoso, la activación se lleva a cabo en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte. El primero a temperaturas bajas, pero superiores a los 200°C (que se utiliza sólo para evaporar el agua y dispersar el KOH) y el segundo entre 700 y 900 °C.

Las reacciones que gobierna el mecanismo son:



Mientras que en el segundo tratamiento, por encima de 700°C las siguientes reacciones se suman a las anteriores, en las que se forma K metálico (Pilamonta, 2013):



2.3.5 Tipos de carbones activos

Los carbones activos pueden clasificarse de acuerdo al tamaño de las partículas en dos grupos: CAP y CAG (Anexo 10). (Web.archive, s.f.)

Carbón activo en polvo (CAP)	• Diámetro entre (1.5x10 ⁴ - 2.5x10 ⁴) nm
Carbón Activo Granular (CAG)	• Tamaño medio de partícula entre (1x10 ⁶ - 5x10 ⁶) nm • Se divide en dos categorías 1. Carbón activado troceado (o sin forma) 2. Carbón activado conformado (o con una forma específica, cilindros, discos)

2.3.6 Aplicaciones del carbón activo

- **Remoción de impurezas en aguas potables y tratamiento de agua en procesos industriales:** Para la purificación de agua potable se usan carbones activados impregnados con pequeñas proporciones de plata, por su efecto bactericida. En el caso de la eliminación de olores de las plantas depuradoras de aguas residuales, el carbón activado suele ser impregnado con hidróxido sódico o potásico. En el caso de tratamiento de agua en procesos industriales, el carbón activado preferido es el carbón activado granular.
- **Uso médico:** El carbón activado es utilizado para tratar envenenamientos y sobredosis por ingestión oral. Previene la absorción del veneno en el estómago. Además se utiliza en la eliminación de impurezas incoloras de productos químicos en la industria farmacéutica.

- **Recuperación de solventes:** Cuando los solventes están contaminados con impurezas que pueden ser eliminadas por adsorción, se utiliza carbón activado el cual proporciona un tratamiento a bajo costo.
- **Purificación de aire y gases:** Se hace recircular el aire pasándolo continuamente a través de una columna de carbón activado granular. Los filtros con carbón activado granular se utilizan generalmente en la purificación de aire y de gas para quitar vapores de aceite, olores y otros hidrocarburos del aire y del gas comprimido. Los diseños más comunes utilizan un principio de la filtración de una o dos etapas donde el carbón activado se introduce como medio filtrante.
- **Evitar la maduración prematura de frutas y verduras:** El carbón activado puede ser utilizado como adsorbente de etileno, con lo cual se evita la maduración prematura de frutas y verduras.
- **Recuperación de oro y plata:** Varios procesos en la minería utilizan el carbón activado para recuperar oro y plata de soluciones cianuradas. La selectividad del carbón activado por el oro es mayor que por la plata, debido a problemas de tamaños relativos de estos átomos y densidad de carga.
- **Catálisis:** El carbón activado es usado como catalizador en diversas reacciones, como soporte de otros catalizadores y como promotor de una reacción específica cuando existen dos reacciones alternativas.
- **Decoloración de azúcares, mieles y caramelos:** El carbón activado es empleado en las refinerías de azúcar de remolacha como adsorbente de impurezas coloreadas; el carbón activado proporciona un producto de mayor calidad y además permite flexibilidad en la manufacturación.

- **Decoloración de licores:** Whisky, cerveza, vodka y otros licores son mejorados por tratamientos con carbón activado especialmente para la eliminación del sabor que adquieren estas bebidas después de la destilación.
- **Industrias de aceites y mantecas comestibles:** Las industrias refinadoras de aceites y mantecas comestibles están entre los principales consumidores de carbón activado para usarlo en el proceso de purificación de elementos contaminantes y mejoramiento del color.
- **Otras aplicaciones:** Uso en filtros de cigarrillos, recuperación de yodo de aceites de petróleo, recuperación de sustancias bioquímicas adsorbibles que son muy difíciles de purificar, entre otras. (DESOTEC, s.f.)

2.4 El carbón activo en Nicaragua

En Nicaragua el mercado del carbón activo ha presentado un importante crecimiento dada sus múltiples aplicaciones y beneficios en diferentes áreas. Actualmente en Nicaragua no se fabrica este producto, sin embargo las investigaciones a nivel mundial ha incrementado en los últimos años en este campo.

Según datos de importaciones de carbón activo y otros materiales minerales naturales; a Nicaragua, el principal proveedor es Estados Unidos, el cuál presenta ascenso de sus importaciones en los últimos años (Anexo 11). Por esta razón es importante el desarrollo de microempresas productoras de carbón activo con materia prima de bajo coste a base de material biomásico, lo que permitiría mayores ganancias y dar valor agregados a los residuos agroindustriales como la cáscara de naranja siendo amigable con el medio ambiente.

2.5 ESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVO Y PROCESO DE ADSORCIÓN

Las propiedades adsorbentes de los carbones activos están determinados por su estructura porosa y por su naturaleza química, ya que contienen en su estructura pequeñas cantidades de heteroátomos tales como oxígeno, hidrógeno o nitrógeno, lo que permite que sustancias polares sean débilmente retenidas sobre la superficie del carbón activado.

Debido a que los átomos de carbono situados en los bordes de los planos presentan una alta actividad disponible, ya que no están saturados de átomos de carbono y poseen electrones libres, estos sitios están normalmente unidos a heteroátomos dando lugar a grupos funcionales superficiales que pueden modificar sus propiedades adsorbentes.

Los poros se clasifican según su tamaño bajo los principios fisicoquímicos que rigen el proceso de adsorción en cada uno de ellos. El proceso de adsorción ocurre en los microporos y mesoporos, y los macroporos sirven como medio de transporte de las sustancias que se adsorben en el interior de las partículas. El proceso de adsorción ocurre en los microporos por medio de llenado, en los mesoporos que también sirven como medio de transporte desde los macroporos hasta los microporos, la adsorción ocurre por condensación capilar.

Otra característica adicional en los carbones activados es la distribución de la macro y la mesoporosidad, ya que estas permiten el transporte hasta los microporos de la fase que se adsorbe. También puede facilitar la adsorción de partículas de mayor tamaño, normales en los procesos de adsorción en las fases líquidas.

2.5.1 Proceso de adsorción

En la actualidad, la adsorción es considerada como una de las mejores técnicas de remoción de contaminantes y entre los adsorbente el carbón activado (CA) es el más usado por su gran capacidad para adsorber numerosos compuestos debido a sus propiedades físicas y químicas. Este proceso consiste en la fijación de moléculas en la superficie de un sólido debido a la presencia de fuerzas de atracción intermoleculares en sitios específicos del sólido denominados centros activos. El proceso contrario se denomina desorción. (Anexo 12)

En términos generales el proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles presentes en la interface de una solución, pudiendo constituirse dicha interface entre un líquido y un gas, un sólido o entre dos líquidos diferentes. El sólido que adsorbe las moléculas se denomina adsorbente, la sustancia a adsorber se denomina adsortivo y la sustancia que se encuentra adsorbida se denomina adsorbato. La adsorción es un proceso exotérmico debido a la disminución de energía cinética de las moléculas del adsortivo.

La superficie del adsorbente puede ser homogénea o heterogénea. Superficies homogéneas presentan sitios activos con la misma interacción de fuerzas en toda el área disponible para la adsorción. En la práctica, sin embargo se encuentran superficies heterogéneas con sitios activos con diferentes niveles de energía. (Anexo 13).

Capacidad de adsorción depende de:



Existen dos teorías principales que describen el proceso de adsorción:

1. La teoría de cubrimiento de superficie (tiene un rango de aplicación general): inicialmente se adsorbe una capa de moléculas en la superficie (adsorción monocapa), cuando esta primera capa está completamente formada se inicia la adsorción de más moléculas sobre ellas (adsorción multicapa). A medida que se van formando más capas, las fuerzas de unión entre las moléculas y el sólido disminuyen, hasta que en capas posteriores ocurre solamente condensación.
2. La teoría de llenado de poros (Aplicable para sólidos microporosos): Propone que el llenado de los poros se realiza de manera similar al llenado de un recipiente. En los microporos el proceso de adsorción es mucho más fuerte que en superficies aplanadas, ya que las moléculas están sometidas a fuerzas de adsorción superpuestas por la cercanía de las paredes de los poros.

La adsorción puede ser:

1. Adsorción física: Unión de las moléculas al sólido, ocurre por medio de fuerzas de Van-der-Waals. Durante este proceso la estructura de las moléculas no se afecta. El equilibrio de la adsorción física ocurre en tiempos muy cortos a bajas temperaturas.
2. Adsorción química: Es un proceso mucho más lento que la adsorción física. El tiempo necesario para llegar a estado estacionario depende de presión y temperatura del proceso. En algunos sistemas puede tardar días y hasta meses en alcanzar el estado estacionario, (Gómez, Klose y Rincón, 2010)

2.5.2 Tipos de Isotermas de Adsorción

Se pueden inferir las características de los materiales porosos atendiendo a la forma de la isoterma, según seis tipos admitidas por la IUPAC. (Anexo 14)

1. La isoterma de tipo I es cóncava hacia el eje de abscisas, en el que se representa la presión relativa, y la cantidad adsorbida se aproxima a un valor constante al aumentar la presión relativa. Las isotermas de este tipo corresponden a sólidos microporoso. El límite de adsorción está determinado, en mayor extensión, por el volumen accesible frente al tamaño de poro.

2. La isoterma de tipo II es la forma normal de isoterma que se obtiene con un sólido no poroso o macroporoso. Representa una adsorción en monocapa y multicapa sin restricciones. Se admite frecuentemente que el punto B, señalado en la figura, indica el valor de presión relativa para el cual el recubrimiento de la monocapa se ha completado, indicando así el principio de adsorción por multicapa.

3. La isoterma de tipo III es convexa hacia el eje de abscisas para todo el intervalo de presión relativa. Este tipo de isoterma se presenta en materiales macroporosos o no porosos cuando existe poca afinidad entre el adsorbato y el adsorbente. Por tanto, al ser las interacciones adsorbato-adsorbente menores, no se observa el efecto de un campo de fuerzas a bajas presiones relativas.

4. La isoterma de tipo IV presenta un ciclo de histéresis, el cual se asocia con la condensación capilar propia de la adsorción/desorción en mesoporos, y un valor límite en la cantidad adsorbida para el intervalo superior de presión relativa. La parte inicial de la isoterma se atribuye a la adsorción en monocapa, puesto que coincide con la primera región de la isoterma de tipo II. Este tipo de isoterma se presenta en los materiales adsorbentes mesoporosos.

5. La isoterma de tipo V se obtiene para materiales mesoporosos, pues presenta un ciclo de histéresis, cuando existe poca afinidad entre el adsorbato y el adsorbente. Es muy poco frecuente.

6. La isoterma de tipo VI representa la adsorción escalonada en multicapa sobre una superficie uniforme no porosa. Cada uno de los escalones que presenta corresponde a una capa adsorbida. Suele presentarse por ejemplo, en la adsorción de argón a la temperatura del nitrógeno líquido (77 K) sobre negro de humo grafitizado. (Martin, 1990)

2.5.3 Ecuación de Freundlich

La isoterma de adsorción de Freundlich o ecuación de Freundlich es una isoterma de adsorción, que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto. Fue desarrollada por el matemático, físico y astrónomo alemán Erwin Finlay Freundlich.

El modelo de la Isoterma de Freundlich se basa en los siguientes fundamentos (Toribio, 2015):

- Temperatura constante.
- Adsorción localizada (sólo en las posiciones definidas de la superficie).
- Superficie heterogénea y rugosa (microporosa).
- No considera la formación de monocapa, sino varias capas en la que tiene lugar la adsorción.
- Distribución exponencial de la energía de las posiciones de adsorción.

La isoterma de adsorción de Freundlich se expresa matemáticamente como:

$$\frac{x}{m} = kp^{1/n}$$

o

$$\frac{x}{m} = kc^{1/n}$$

La ecuación de la isoterma de Freundlich se puede escribir de forma lineal de la siguiente manera (Toribio, 2015):

$$\ln q_e = \ln(K) + \frac{1}{n} \ln(C_e)$$

Donde:

- x = masa de adsorbato
- m = masa de adsorbente
- p = Presión de equilibrio del adsorbato.
- c = concentración de equilibrio del adsorbato en disolución.
- q_e = cantidad retenida sobre el sólido en el equilibrio (mmol/g o mg/g)
- C_e = concentración del líquido en el equilibrio (ppm)
- K y $1/n$ son constantes para un adsorbato y adsorbente dados

2.5.4 Ecuación de Langmuir

El modelo de Langmuir fue originalmente desarrollado para representar la adsorción de un sistema gas-sólido con carbón activado, pero ha sido ampliamente utilizado para estudiar la adsorción de un soluto en fase líquida. En este modelo, la atracción entre las moléculas y la superficie del adsorbente se basa, fundamentalmente, en fuerzas físicas y en su aplicación se asume, por un lado, que la adsorción ocurre en sitios activos idénticos de la superficie del adsorbente con energías uniformes de adsorción y, por otro, que una vez el soluto ocupa un lugar, no puede ocurrir otra adsorción en este mismo sitio.

El modelo de la Isoterma de Langmuir se basa en los siguientes fundamentos (Toribio, 2015):

- Temperatura constante.
- Adsorción localizada (sólo en las posiciones definidas de la superficie), por lo que si una molécula adsorbida ocupa un espacio, ninguna más puede tomar dicho lugar.

- Superficie homogénea.
- Formación de monocapa de las moléculas adsorbidas.
- Distribución homogénea de la energía de las posiciones de adsorción.

La isoterma de Langmuir, se puede representar de la siguiente manera (Toribio, 2015):

$$q = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e}$$

Donde:

- q_e : cantidad retenida sobre el sólido en el equilibrio (mmol/g o mg/g)
- $q_{m\acute{a}x}$: cantidad máxima retenida sobre el sólido (mmol/g o mg/g)
- C_e : concentración del líquido en el equilibrio (ppm)
- b : constante empírica de Langmuir en el equilibrio

Esta ecuación, se puede escribir de forma lineal de la siguiente manera. (Castellar, Angulo, Zambrano y Charris, 2013)

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{b q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}}$$

La isoterma de adsorción de Langmuir se desarrolló adoptando las siguientes hipótesis (Pilamonta, 2013):

1. Existe un número fijo de puntos accesibles disponibles en la superficie adsorbente, todos los cuales poseen la misma energía. Es decir toda la superficie del catalizador tiene la misma actividad para la adsorción; lo que significa que es una superficie lisa. Sin embargo, se puede emplear el concepto de superficie irregular con centros activos, si se supone que todos los centros activos tienen la misma actividad para la adsorción y que el resto de la superficie no lo tiene, o bien se puede usar una actividad promedio.

2. No hay interacción entre las moléculas adsorbidas. Esto quiere decir que la cantidad adsorbida no tiene efecto en la velocidad de adsorción por centro.
3. El grado de adsorción es inferior a una capa monomolecular completa en la superficie.
4. La adsorción es reversible.

2.6 PARÁMETROS DE ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

2.6.1 Porosidad

La correcta distribución de los tamaños de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción facilitando sitios de adsorción y apropiados canales para transportar el adsorbato. El método estándar de caracterización para la determinación del volumen de macro y mesoporos es la intrusión de mercurio. Este método se basa en el hecho de que el mercurio líquido penetra en la estructura porosa del carbón activado solamente bajo el efecto de la presión. . (Ures, Suárez y Jácome, 2015)

La presión aplicada es función del tamaño del poro en el que esté introduciendo el mercurio y su relación está dada por la ecuación de Washburn.

$$r = - \frac{2 \gamma \cos \theta}{p}$$

2.6.1.1 Radio Medio de Poro

Está en función básicamente del tipo de materia prima y se ve poco afectado por las condiciones operacionales. El método analítico es caro, lento y por esta razón no se evalúa con frecuencia, pero es una de las variables que más importancia tienen en la selección de un carbón activo, suele reportarse en nm.

2.6.1.2 Volumen Total de Poro

Esta variable se expresa en mg/g y está en función tanto de la materia prima como del grado de activación, es decir su valor depende del radio medio de poro y del área superficial del carbón. El método analítico para determinarlo es el mismo que el de radio medio de poro, es un parámetro indicador de la capacidad de adsorción del carbón activo.

2.6.2 Área Superficial

El área superficial específica constituye el área total por unidad de masa para un sólido. Para el caso de sólidos porosos incluye el área superficial formada por la estructura porosa del material. Su determinación se realiza a partir de mediciones experimentales de isotermas de adsorción y cálculos de la cantidad máxima adsorbida en monocapa.

Los carbones activos pueden presentar superficies específicas del orden de 500 m²/g a 2000 m²/g e incluso llegar a los 3000 m²/g. Los elevados valores de superficie específica se deben a la porosidad que presentan los materiales carbonosos. En principio, se podría creer que a mayor superficie específica mejores serán las características como adsorbente del carbón activado, puesto que habría un mayor número de centros para adsorber el adsorbato. Sin embargo esto no siempre es cierto ya que dependiendo del tamaño de las moléculas del adsorbato (puede suceder que éstas sean mayores que algunos de los poros) la superficie sea accesible.

La mayoría de estos adsorbtivos comparten las siguientes características:

- ✓ Son inertes químicamente.
- ✓ Tienen una presión de saturación elevada.
- ✓ La temperatura de adsorción se puede lograr de manera simple con sistema criogénico (Nitrógeno, Dióxido de carbono sólido, hielo).
- ✓ Tienen una forma molecular bastante cercana a una esfera.

2.6.3 Temperatura

El alcance de la adsorción puede verse incrementado con un decrecimiento de la temperatura debido a que las relaciones de adsorción son exotérmicas. Sin embargo, el incremento de la temperatura también incrementa el grado de difusión del soluto en la fase líquida hacia los centros de adsorción, lo que eventualmente conduce a una adsorción mayor.

Una diferencia importante en la adsorción de los solutos con respecto a los gases se encuentra en el rol de la temperatura. Un aumento de la temperatura incrementa la tendencia de un gas a escapar de la interfaz, lo que provoca una reducción de la adsorción. Sin embargo, en adsorción desde líquidos, la influencia de la temperatura en la afinidad de los disolventes es dominante. (Ures, Suárez y Jácome, 2015)

2.6.4 Características físico-químicas del adsorbato

En general, la adsorbancia de un compuesto incrementa al incrementar su peso molecular y al incrementar el número de grupos funcionales como enlaces dobles y halógenos. Las moléculas grandes son adsorbidas sobre CA mejor que las moléculas pequeñas. El grado de solubilidad del soluto está también relacionado de forma directa con la adsorción.

Existe una relación inversa entre la capacidad de adsorción de un soluto particular y su solubilidad en el disolvente desde el cual se produce la adsorción. Una alta solubilidad implica que los enlaces soluto-disolvente son más fuertes que las fuerzas de atracción entre el soluto y el adsorbente. (Ures, Suárez, y Jácome, 2015)

2.6.5 pH

Las moléculas orgánicas forman iones negativos a altos valores de pH, iones positivos a valores bajos de pH y moléculas neutras a valores intermedios de pH. La adsorción de la mayoría de materiales orgánicos es mayor en condiciones neutras. En general, la adsorción de la fase líquida de contaminantes orgánicos por CA incrementa con la

reducción de pH. Este efecto resulta de la neutralización de cargas negativas en la superficie del CA a valores bajos de pH.

La neutralización de cargas negativas reduce los impedimentos a la difusión y conduce a un mayor número de centros de adsorción activos. El alcance de este efecto varía con la técnica de activación del carbón. Las diferencias de valores de pH puede a su vez aumentar debido a grupos funcionales ácidos o básicos sobre el CA. Estos grupos pueden ser liberados por el simple contacto con agua destilada mejor que los grupos funcionales fijados a la superficie. Una relación inversa ha sido hallada entre la capacidad de adsorción y la acidez de la superficie. (Ures, Suárez y Jácome, 2015)

2.6.6 Tiempo de contacto

Un suficiente tiempo de contacto es requerido para que puedan interactuar las moléculas de la sustancia que se adsorbe con el sólido adsorbente y se logre alcanzar el equilibrio, maximizando la eficiencia de adsorción.

2.6.7 Densidad aparente

Es el peso en g/cm³ de carbón totalmente seco en aire, es decir incluye el volumen de los poros y el de los espacios entre las partículas. Esta variable es la base para establecer el volumen de cama necesaria para una masa de carbón activo granular. También sirve como referencia para la identificación de carbones activos de calidad, ya que densidades mayores entregan un mejor volumen de actividad. (Soto, 2007)

2.6.8 Tamaño de partículas

Tamaños menores proveen radios de adsorción más rápidos el cual reduce la cantidad de tiempo de contacto requerida. Cuanto más fino es el tamaño de las partículas de un determinado carbón activado, mejor es el acceso al área superficial y más rápida es la tasa de cinética de absorción. En sistemas de fase vapor, esto se debe considerar junto con la caída de presión, que afecta los costos energéticos.

Una elección cuidadosa del tamaño de las partículas puede proveer significativos beneficios operativos. (Soto, 2007)

2.6.9 Dureza

Mide la resistencia al agotamiento de los carbones activados y es un indicador importante para mantener su integridad física, mantener las fuerzas friccionales impuestos por repercusiones, etc. (Soto, 2007)

Existen varios métodos para evaluarla, aunque desafortunadamente ninguno de ellos simula las condiciones reales que provocan la erosión y el rompimiento del carbón en las diferentes etapas de su uso.

2.6.10 Contenido de ceniza

Son el residuo que queda después de calcinar el carbón a 650 °C hasta llegar a peso constante. Es un indicador de la calidad del carbón consumido. Reduce toda la actividad del carbón activado y la eficiencia de reactivación, la cantidad y composición de las mismas puede influir en la adsorción y en ciertas propiedades del carbón activo. (García, 2013)

2.6.11 Materias solubles en Agua

Son las cenizas (y/o materia inorgánica) que se disuelven en agua. En ciertas aplicaciones el producto tratado se puede ver afectado por la cantidad y el tipo de estas sustancias. En caso de tratamientos de agua esta propiedad puede cobrar importancia cuando afecta al pH, siendo una estimación de la pureza de los carbones activados en relación a las sustancias extractables en estos medios (Hernández, Otero, Falcón y Yperman, 2017)

2.7 ÍNDICES ASOCIADOS A LOS CARBONES ACTIVADOS

Los niveles de adsorción de un carbón activado pueden ser medidos mediante los siguientes índices:

2.7.1 Índice de yodo

Es el parámetro fundamental usado para caracterizar el funcionamiento del carbón activado, mide el nivel de actividad (números más grandes indican mayor grado de activación). Es equivalente al área de superficie del carbón activado en m²/g, esto se debe a que el yodo se adsorbe con mucha eficiencia en una capa monomolecular y su tamaño le permite alojarse hasta en los poros más pequeños en los que es llevado a cabo la adsorción. El yodo disminuye en proporción al grado de saturación del carbón activado, por lo tanto también puede utilizarse para estimar el tiempo de vida útil que resta a un carbón en uso. (García, 2013)

2.7.2 Índice azul de metileno

Facilita la medida de la estructura de mesoporos. El azul de metileno es una de las moléculas más reconocidas de prueba para valorar la capacidad de remoción de los carbones para tamaños moderados de las moléculas a ser adsorbidas (tamaño de la molécula ≥ 1,5 nm)

La disolución de azul de metileno, es mezclada con el carbón activado y agitado 200 rpm a temperatura ambiente. Después que el equilibrio es alcanzado, la disolución se filtra y la concentración de azul de metileno se determina mediante espectrofotometría, midiendo la absorbancia a 668 nm. La masa adsorbida en el carbón es calculada según:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m}$$

Donde:

- q_e = Masa adsorbida del azul de metileno en el carbón.
- C_o y C_e = Concentraciones del colorante (mg/L) al inicio y en el equilibrio respectivamente
- V : Volumen de la solución acuosa (L)
- m : Masa del carbón activado usado. (Padrón, Rodríguez y Gómez, 2013)

2.7.3 Índice de melaza

Brinda la medida de la estructura de macroporos y es un índice importante para la decoloración. Este método es aplicable a cualquier tipo de carbón activo y se basa en la comparación de las mediciones de absorbancia entre una solución de azúcar cruda tratada con carbón activo y una solución de azúcar crudo sin carbón activado, mediante un espectrofotómetro.

Con este ensayo se pretende formar una representación de la cantidad de macroporos de los macroporos con tamaño similar al de la molécula de azúcar. Se expresa como el porcentaje de decoloración de la muestra obtenido mediante la medición de la absorbancia de un fotocolorímetro. (Herrera, 2004)

2.8. EL ACEITE DE MANÍ EN NICARAGUA

El aceite de maní es prácticamente un desconocido en nuestro país, porque hasta la fecha no ha sido incluido en nuestros hábitos alimenticios, pero no en otros países en los que se está dando a conocer en los últimos años, como Holanda, Francia y Estados Unidos.

A esos países, Nicaragua ha exportado la suma de US\$23 millones hasta agosto del 2013, según el Centro de Exportaciones e Inversiones de Nicaragua, CEI. Las exportaciones en ese rubro tuvieron un crecimiento de 118% en el 2012, respecto al 2011. Si el valor de las exportaciones de aceite de maní va creciendo cada año, los volúmenes no se van quedando atrás. Hasta agosto del 2013, según el CEI, se exportaron 12 millones de kilogramos del producto, mientras que en todo el 2012 se exportaron 15 millones.

El aceite de maní no es uno de los principales productos de exportación del país, pues apenas representa el 1.4% del total de las ventas al exterior, pero Nicaragua tiene una posición destacada en el mundo. Según el CEI, Nicaragua es el tercer exportador mundial de aceite de maní, solo detrás de Argentina y Brasil. La única empresa que produce aceite de maní en Nicaragua es Aceitera El Real (El nuevo diario, 11/11/2013).

El aceite de maní Nicaragüense está presentando un potencial crecimiento en el mercado internacional por esta razón se ha decidido evaluar el carbón activo a partir de cáscara de naranja Valencia en la desodorización de aceite de maní crudo con el objetivo de dejar el campo de investigación abierto a generaciones futuras que deseen invertir sus conocimientos en generar opciones viables para la reducción de gastos operacionales en la elaboración de productos de crecimiento actual en Nicaragua.

2.8.1 Desodorización de aceites crudos

Después de eliminar del aceite crudo los ácidos grasos libres, fosfolípidos, agua, proteínas, hidratos de carbono, pigmentos y otros compuestos de alto peso molecular, todavía contiene bajas concentraciones de sustancias volátiles provenientes de la oxidación y responsables de olores indeseables, como cetonas o aldehídos y, en ciertos aceites, ácidos grasos libres de menos de 12 átomos de carbono.

El proceso de desodorización consiste en calentar el aceite a 230-260°C y hacer circular una corriente de vapor desaireado que arrastre los compuestos volátiles; esto es posible ya que existe una gran diferencia entre la volatilidad de estos últimos y la de los triacilglicéridos. El proceso se efectúa a presión reducida (aproximadamente 5 mm de Hg) para evitar el deterioro del aceite, aunque en ocasiones se añaden antioxidantes o agentes secuestradores, como el ácido cítrico para eliminar la acción catalizadora de los metales en la oxidación.

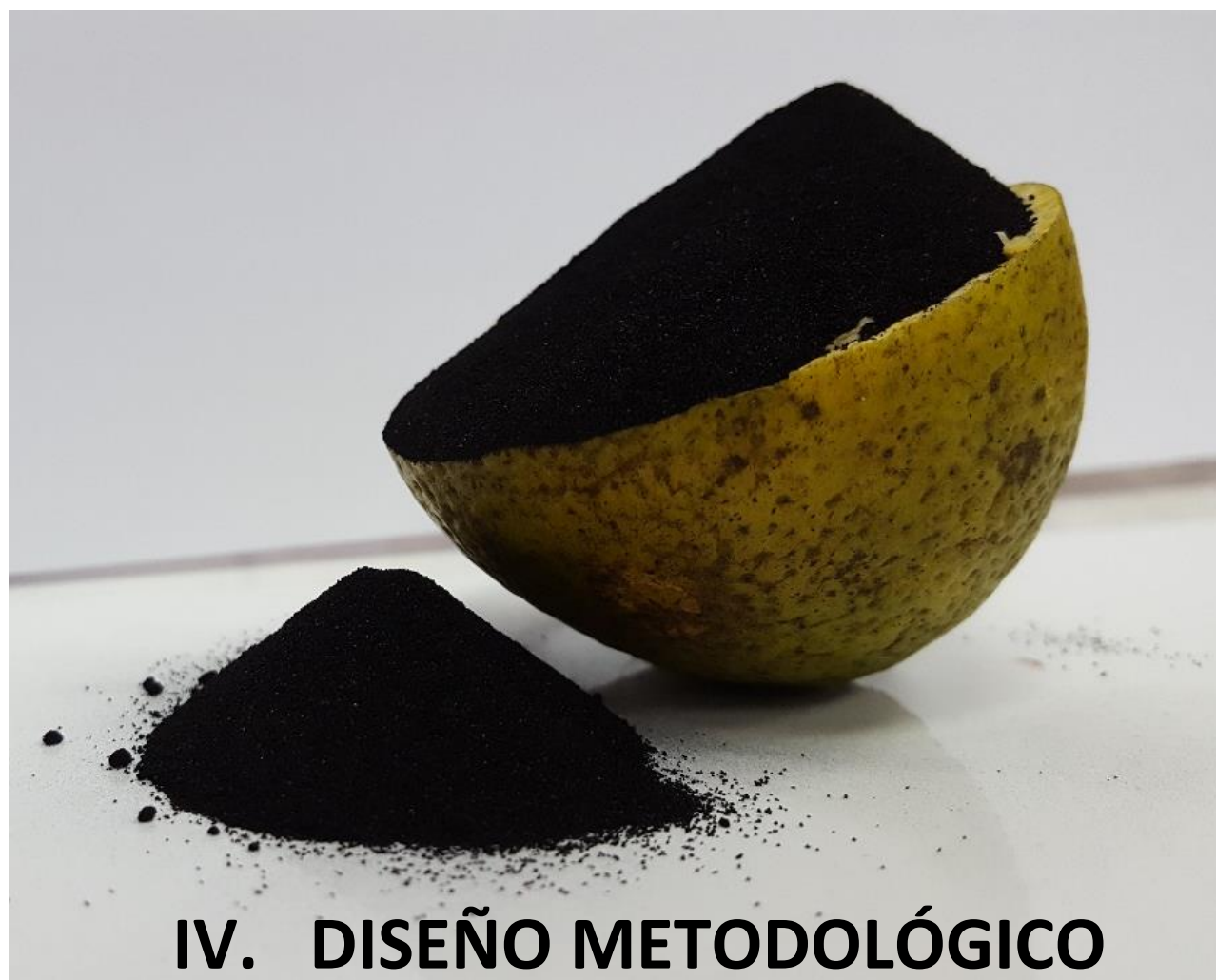
Cabe indicar que el material recuperado de la desodorización contiene, además de las sustancias oloríficas, otras de importancia comercial, como son los tocoferoles, tocotrienoles, fitosteroles y ácidos grasos libres; éstas se recuperan mediante reacciones de esterificación con un alcohol, por saponificación, cristalización, destilación o por extracción fraccionada. (Badui, 2006)



III.PREGUNTA DIRECTRIZ

3.1 PREGUNTA DIRECTRIZ

¿Se obtiene carbón activo con buenas características adsorbentes mediante activación química a partir de cáscaras de naranja Valencia?



IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo De Estudio

La presente investigación metodológica es de tipo experimental cuantitativo y cualitativo, la cual tiene como propósito relacionar variables mediante un método experimental; teniendo control sobre las condiciones operacionales en la obtención de carbón activo de cáscaras de naranjas, se realizaron pruebas experimentales para calcular los parámetros fisicoquímicos del producto mediante métodos normalizados como es ASTM y ANSI/AWWA. Finalmente la evaluación del producto obtenido optimizado en la desodorización de aceite de maní.

4.2 Descripción del ámbito de estudio

El ámbito de estudio comprende la química industrial, en los procesos de producción, ya que se evalúan las condiciones operacionales en la elaboración de carbón activo a partir de cáscara de naranja.

4.3 Lugar donde se llevaron a cabo los análisis

El lugar está conformado por 3 laboratorios. El espacio comprende el laboratorio 107 y el laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos LFQA, del Departamento de Química de la UNAN-Managua ubicado en el Recinto Universitario Rubén Darío. También se desarrollaron pruebas de turbidez en el laboratorio de aguas residuales de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

4.4 Universo

El universo está conformado por las cáscaras de naranjas desechadas por la industria transformadora de naranja NAISA S.A ubicada en Managua, Nicaragua.

4.5 Muestras

Las muestras para el estudio de las condiciones operacionales en el proceso de elaboración de carbón activo están conformadas por 6g de cáscara de naranja fresca para la caracterización fisicoquímica de la materia prima y 2400g de cáscara seca

preincinerada para la elaboración de los carbones activos. La muestra final está conformada por 100 ml de aceite de maní los cuales se utilizaron para la evaluación de desodorización del carbón activo optimizado obtenido a partir de cáscaras de naranja.

4.6 Criterios

4.6.1 Inclusión

1. Cáscaras secas de naranja valencia (Citrus Sinensis L Obs.)
2. Cáscaras con un período de secado de 30 días.

4.6.2 Exclusión

1. Cáscaras de naranja húmedas.
2. Cáscaras de naranja con moho.
3. Cáscaras de naranja en estado de descomposición.

4.7 Variables

4.7.1 Variables dependientes

- Área superficial
- Capacidad adsortiva

4.7.2 Variables independientes

- Concentración de ácido fosfórico
- Temperatura de carbonización
- Tiempo de carbonización

4.8 Materiales

4.8.1 Materiales para procesamiento de información

En la presente investigación se utilizaron los siguientes programas de procesamiento de información:

1. Microsoft Office Word 2013: Se utilizó para edición y elaboración del documento; y procesamiento de textos.
2. Microsoft Office Excel 2013: En este software se realizaron cálculos y gráficos de los resultados obtenidos.
3. Microsoft Office Visio 2013: Se realizaron diagramas de flujo y de proceso.
4. Minitab 17: Este programa se utilizó para realizar el diseño de experimento y procesamiento de datos.

4.8.2 Materiales para recolección de información.

Se utilizaron las siguientes herramientas de recolección de información:

1. Revisión bibliográfica	3. Google Chrome	5. Grabaciones
2. Observación	4. Entrevistas	6. Visitas a establecimientos.

En la investigación se utilizó la interpretación de datos estadísticos y aspectos teóricos para la agroindustrialización que permitieron confirmar la importancia de agregar valor a los subproductos de los procesos alimentarios. Otro aspecto importante contemplado es la visita y entrevista a propietarios de pymes procesadoras de diferentes productos a partir de naranjas y los datos estadísticos de instituciones y registros de asociaciones que respaldan la importación de este producto y su uso diario en las industrias nicaragüenses.

Se realizó revisión bibliográfica de tesis de grado, monografías, libros de texto, artículos científicos, revistas científicas, y páginas de empresas comerciales; todas ellas enfocadas en la producción de carbón activo.

Se utilizaron censos agrícolas a nivel mundial, centroamericano y nacional; divulgado por el ministerio agroforestal (MAGFOR), la organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación (FAO) y la página oficial de comercio exterior (COMEX).

Así mismo se utilizaron tablas para la recolección de información de visitas a industrias transformadoras de naranja y datos de experimentos.

4.9 Métodos

4.9.1 Método factorial completo para diseño de experimentos

Este método permitió estudiar los efectos que pueden tener varios factores sobre una respuesta. Al realizar el diseño de experimento, el hecho de variar los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez permite estudiar las interacciones entre los factores.

Tabla 4.9.1.1: Diseño de Experimento factorial completo¹

Nº	[H ₃ PO ₄]	T.	t.
		Carbonización	Carbonización
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	1	2	2
5	2	1	1
6	2	1	2
7	2	2	1
8	2	2	2

¹ Fuente: Propia, elaborado en Minitab 17

Si se calcula el diseño de experimento factorial completo 2^k

$$2^3 = 8$$

Donde:

2 = niveles

3 = variables

8 = el conjunto de posibles combinaciones

Se trabaja 8 diferentes combinaciones con las 3 variables a 2 niveles. Lo que permite evaluar las variables y sus interacciones al mismo tiempo. Los niveles en la tabla 4.9.1.1 son representados por los números 1 y 2 donde: 1 representa el nivel bajo y 2 el nivel alto de cada variable.

Tabla 4.9.1.2: Valores operacionales con niveles alto y bajo

	Variables operacionales	Unidad de medida	Niveles	
			Bajo (1)	Alto (2)
A	Concentración de ácido fosfórico	Porcentaje (%)	26	30
B	Temperatura de carbonización	Grados Celsius (°C)	380	450
C	Tiempo de carbonización	Horas (H)	2	3

4.9.2. Método de determinación de humedad de la cáscara de naranja valencia (925.09 A.O.A.C)

Se determinó la humedad de la cáscara de naranja valencia por el método 925.09 A.O.A.C (Asociación de químicos analíticos oficiales) se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra. (Calderón, S.f.)

Existen diferentes métodos para la determinación de humedad pero este método es conveniente, rápido y preciso porque se llega a la temperatura deseada rápidamente. (Anexo 16)

4.9.3 Determinación del contenido de materia volátil en la cáscara de naranja valencia.

Para la determinación de materia volátil se emplea la metodología propuesta por Council for Mineral Technology, 1987. (Jerez, 2014). Consiste en obtener el contenido de volátiles relacionando el peso de la muestra, el peso del crisol y el peso de la muestra tratada según el procedimiento. (Anexo 17)

4.9.4 Método para la determinación de cenizas en la cáscara de naranja valencia (923.03 A.O.A.C).

La determinación de las cenizas se realizó mediante el método 923.03 de la A.O.A.C (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales) donde se mide el contenido de cenizas de la cáscara de naranja Valencia calcinando una muestra de cáscara de naranja usando una mufla hasta que las cenizas se tornaran blancas o grisáceas. (Anexo 18)

4.9.5 Método para la determinación de carbón fijo en cáscara de naranja valencia (ASTM D-3172)

El contenido de carbón fijo en cáscara de naranja valencia, se determinó por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles. (Anexo 19)

4.9.6 Método de prueba estándar para la determinación de índice de yodo del carbón activado (ASTM D4607-14).

Se basó en una isoterma de adsorción en tres puntos, a una solución de yodo se trató con tres pesos diferentes de carbón activado en condiciones especificadas. Las soluciones tratadas de carbono se filtraron para separar el carbono de la solución de yodo tratado (infiltrado). El yodo que quedo en el filtrado se midió por titulación. La cantidad de yodo eliminado por gramo de carbono se determinó para cada dosis de carbono y los datos resultantes se utilizaron para trazar una isoterma de adsorción. La cantidad de yodo adsorbido (en miligramos) por gramo de carbono a una concentración de yodo residual de 0,02 N se expresa como el número de yodo. (Anexo 20)

4.9.7 Práctica estándar para la determinación de la capacidad de adsorción de carbón activado por isoterma en fase acuosa (ASTM D3860 - 98 /2014).

Esta práctica consistió en la determinación de la capacidad de absorción de carbón activado para constituyentes absorbibles poniéndose en contacto una solución acuosa con carbón activado, determinando la cantidad de los componentes extraídos de la solución mediante el cálculo de la capacidad de adsorción de una parcela isoterma de Freundlich. Los pesos de muestra de carbón activado ajustados en dependencia de la concentración de constituyentes absorbibles en la solución acuosa. (Anexo 21)

4.9.8 Índice de azul de metileno

Una disolución de azul metileno se mezcló con el carbón activado y se agito a 1000 rpm a temperatura ambiente. Después que el equilibrio fue alcanzado, la disolución se filtró y la concentración de azul de metileno se determinó mediante espectrofotometría,

midiendo la absorbancia a 695.5 nm; modificado a partir de (Padrón, Rodríguez y Gómez, 2013) (Anexo 22).

4.9.9 índice de ácido acético para la determinación de tipo de poro

Para la determinación del tipo de poro se realizó una prueba de isoterma de adsorción con el ácido acético glacial, a partir de una solución madre de ácido acético glacial se prepararon 12 disoluciones a distintas concentraciones las cuales se sometieron con una masa constante del carbón activo (1g) en agitación constante durante 3h, se filtró y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) previamente estandarizado para conocer las concentraciones en equilibrio del ácido acético (CH₃COOH), (Dunicz, 1961) las cuales se utilizarón para construir la gráfica de la isoterma de Langmuir y Freundlich. (Anexo 23)

4.9.10 Método de prueba estándar para Contenido Total de ceniza de carbón activo (ASTM D2866-11).

Una muestra exactamente pesada de carbón activado secado se colocó en un horno de mufla a temperatura controlada durante un período de tiempo. Cuando se alcanzó un peso constante, el crisol se enfría a temperatura ambiente en un desecador y se volvió a pesar. El peso del carbono incinerado se expresó como un porcentaje del peso de la muestra original de carbono. (Anexo 24)

4.9.11 Método de prueba estándar para materias solubles en agua de carbón activo (ASTM D5029-98 /2014).

Un peso conocido de carbón activado se colocó en un aparato de reflujo de tipo II con agua grado reactivo. La mezcla se calentó a reflujo durante 15 min bajo condiciones específicas. Seguidamente el carbono se separa por filtración y una alícuota del filtrado se evaporó a sequedad. El contenido de materias solubles en agua se determinó pesando el residuo seco y expresando el resultado como un porcentaje del peso de carbono seco. (Anexo 25)

4.9.12 Determinación de pH utilizando la técnica del pH en el punto de carga cero, pH_{pcc} .

Es una técnica que se fundamenta en la neutralización de los sitios ácidos y básicos presentes en el carbón activado, con una solución que no interfiera con las cargas de la superficie del carbón como lo es el cloruro de sodio. En la experimentación se espera obtener un pH constante a diferentes masas de carbón activado, al cual se le denomina punto de carga cero pH_{pcc} . (Mojica et al., 2011)

Se obtuvo una gráfica para la titulación másica y de esta se obtiene el pH en el punto de carga cero que se muestra en la gráfica cuando el valor del pH se hace constante. (Anexo 26)

4.9.13 Determinación de densidad aparente.

Para la determinación de la densidad aparente se empleó el método de la probeta. (Padrón, Rodríguez y Gómez, 2013) Se pesó una cantidad de carbón activado en el volumen dado de una probeta graduada y se calculó la densidad aparente por el cociente de la masa entre el volumen ocupado por el carbón activo en la bureta. (Anexo 27)

4.9.14 Método de obtención de carbón activo

- **Obtención de la materia prima**

El material de partida son las cáscaras de naranja valencia de la variedad Citrus Sinensis L Osbeck, provenientes de la pyme NAISA S.A. ubicada en Managua. Se selecciona la cáscara a secar; sobre una superficie lisa durante un período mayor de 20 días al aire libre, a temperatura ambiente.

- **Pre incineración**

Se preincineran las cáscaras de naranja secas en una mufla a razón de 5°C/min hasta alcanzar 120°C, una vez alcanzada la temperatura se dejan por 40 minutos.

- **Trituración**

Triturar la cáscara de naranja previamente precarbonizada, con un mortero hasta alcanzar un tamaño de partícula < 500µm.

- **Activación química**

Para la activación de cada carbón se procesan 300 g de cáscara pre incinerada y triturada de naranja valencia; se adiciona el agente activante (H_3PO_4) a una concentración de 26% y 30% v/v dependiendo el número de ensayo, en relación 1:3 (por cada gramo de muestra pre carbonizada 3 mL de ácido). Mezclar con una varilla de vidrio hasta alcanzar la homogeneidad de la muestra.

- **Carbonización**

Se introduce la mezcla en una mufla para ser sometido a carbonización a razón de $10^{\circ}C/min$ hasta alcanzar $380^{\circ}C$ o $450^{\circ}C$ y dejarlo por 2 o 3 horas, según número de ensayo.

- **Lavado**

Seguidamente se lava el carbón obtenido con agua destilada sucesivas veces para eliminación de los restos de ácido hasta alcanzar un pH próximo a la neutralidad.

- **Secado**

Secar el carbón activo durante 24 horas a $60^{\circ}C$ en un horno.

- **Trituración**

Se tritura y tamiza el carbón obtenido en malla número 40, 60, 100 y 200 ($400\mu m$, $250\mu m$, $149\mu m$ y $74\mu m$, respectivamente) para su utilización en los diferentes análisis.



**V. ORGANIZACIÓN Y
ANÁLISIS DE LOS
RESULTADOS**

5. ORGANIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Caracterización de cáscara de naranja Valencia (Citrus Sinensis L).

En la tabla 5.1.1 se muestran los valores promedio de las características físico-químicas de la cáscara de naranja valencia; cada análisis se realizó por triplicado calculándose su incertidumbre. (Anexo 31)

Tabla 5.1.1 características físico-químicas de la cáscara de naranja valencia (Citrus Sinensis L)

Nº	Característica	Promedio	Incertidumbre
1	Humedad	25.64%	±0.32
2	Materia volátil	9.88%	±0.28
3	Cenizas	5.44%	±0.11
4	Carbón fijo	84.68%	±0.18

Según (Bastidas, Buelvas, Márquez y Rodríguez, 2010), para la producción de carbón activado se debe partir de una materia prima con alto contenido de carbono, bajo contenido de ceniza y alto rendimiento en masa durante el proceso de carbonización.

En la tabla 5.1.1 se observa que los valores de humedad equivalen a la cuarta parte del porcentaje en peso de la cáscara, lo que implica que para el uso de la cáscara de naranja como precursor para carbón activo, tenga que utilizarse mucha energía para lograr eliminar la humedad, lo que implica mayores costos energéticos.

Dado que el contenido de cenizas promedio en la cáscara de naranja valencia es 5.44% esto representa una pequeña cantidad de materia inorgánica que no puede ser transformada en producto terminado (carbón activo) lo que afecta en menor grado la capacidad de adsorción del carbón activado debido a su naturaleza.

Con respecto al material volátil de cáscara de naranja valencia (9.88%), este representa la cantidad de materia prima en base seca (Vásquez y Herrera, 2006), que durante la carbonización se eliminan, lo que influye en un menor rendimiento en la producción de carbón activo.

También se observa que el carbón fijo representa un alto porcentaje (85% aproximadamente), según Carbotecnia (empresa productora de carbón activo y filtros para tratamiento de agua, Guadalajara-México) la cáscara de naranja valencia, se puede considerar como una materia prima potencial para la producción de carbón activo; esperándose alto rendimiento en el proceso de producción

Por otra parte comparando los resultados de contenido de cenizas y carbón fijo obtenidos por (Pinzón y Bedoya 2008) para la cáscara de naranja, cuyos valores son 44.43% de carbón fijo y 4.90% de cenizas, con los obtenidos en la cáscara de naranja valencia (84.68%), este es aproximadamente el doble de carbón fijo y esta diferencia se deba probablemente a la variedad de la naranja utilizada y a las características del cultivo en Nicaragua.

5.2 Obtención de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (Citrus Sinensis L)

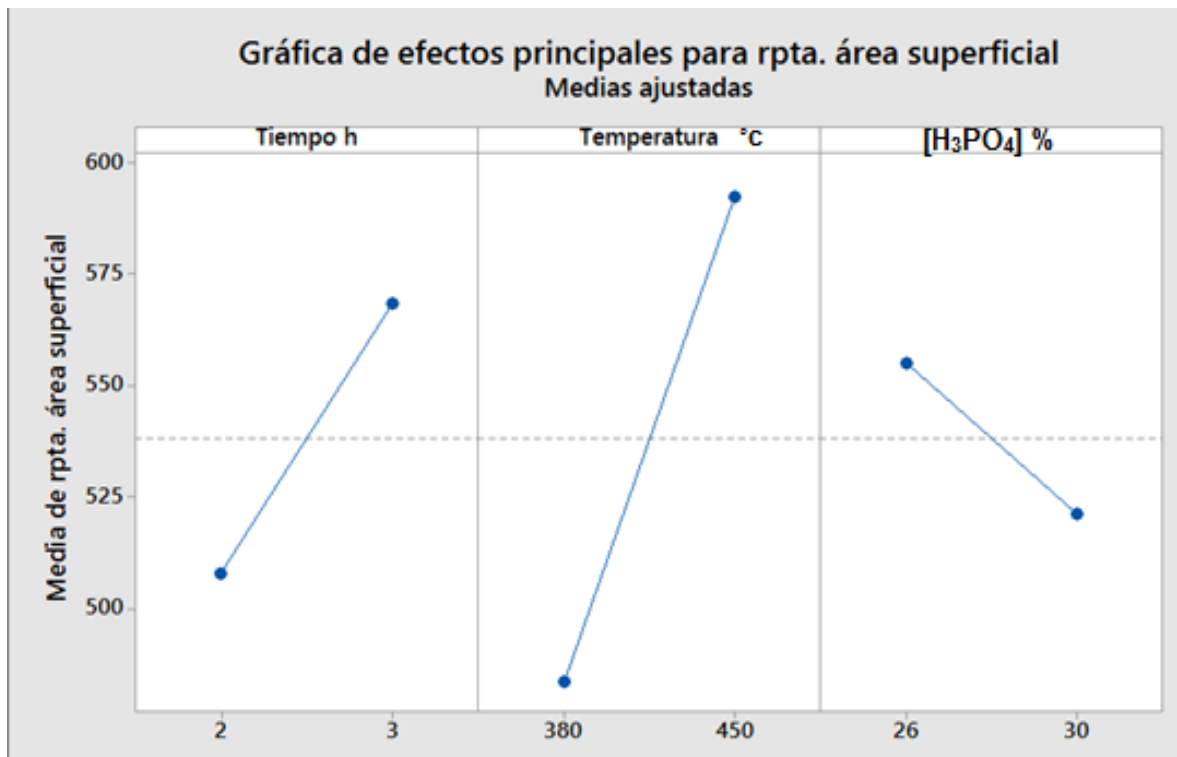
Se obtuvieron aproximadamente 165g de carbón activo terminado por cada uno de las muestra de carbón. En promedio se produjeron 1.62g de carbón activo por cada 3 g de cáscara de naranja seca, lo que implica un rendimiento del 54% en base seca (Anexo 32). Este rendimiento podría mejorar si se cuenta con el equipamiento adecuado para elaboración del carbón activo.

5.3 Efecto de las condiciones operacionales en la obtención de carbón activo de cascara de naranja Valencia

Los factores estudiados en el proceso de obtención de carbón activo a base de cáscara de naranja Valencia (citrus Sinensis L) fueron: tiempo de carbonización, temperatura de carbonización y concentración del ácido fosfórico ($[H_3PO_4]$) en porcentaje.

En las gráficas 5.3.1 y 5.3.2 se muestran los efectos de las variables sobre el área superficial y capacidad de adsorción del carbón activo a partir de cáscara de naranja Valencia respectivamente. Las gráficas se construyeron haciendo uso del diseño de experimento realizado en minitab 17 con los valores obtenidos de área superficial y capacidad de adsorción (Anexo 33 y 34)

Gráfica 5.3.1 Efectos principales para la variable respuesta área superficial (m^2/g).

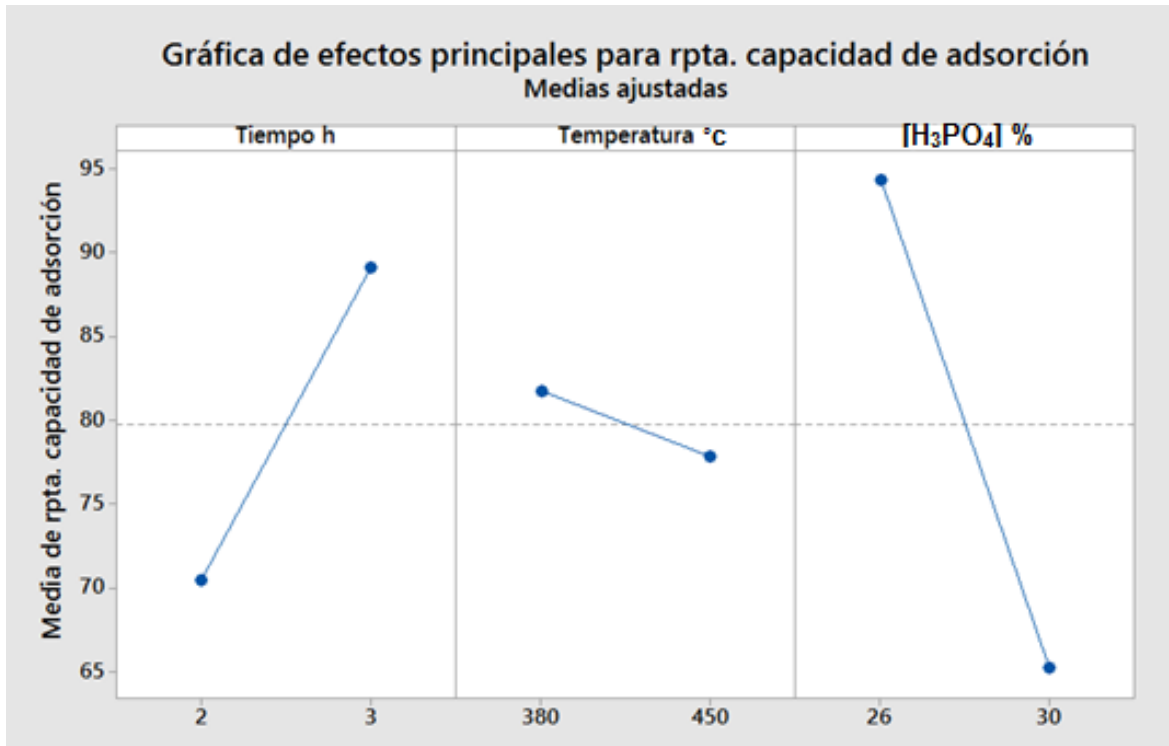


En la gráfica 5.3.1 se observa que los tres factores: tiempo de carbonización, temperatura de carbonización y concentración del ácido fosfórico tienen efecto sobre la variable respuesta área superficial siendo mayor el efecto de la temperatura de carbonización, correspondiente al nivel alto ($450^{\circ}C$). A temperaturas altas la activación es mayor; probablemente se da un horadado progresivo al carbonizado, generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un carbón activado (Grisales y Rojas, 2016).

Con respecto al tiempo de carbonización alto (3h) se obtiene mayor área superficial; debido a que hay más tiempo en que el agente activante interactúe con la materia prima (Lavado, Sun y Recuay 2012).

Con respecto al agente activante a nivel bajo (26%) tiene efecto mayor sobre el área superficial.

Gráfica 5.3.2 Efectos principales para la variable respuesta capacidad de adsorción (mg/g).



En la gráfica 5.3.2 se observa que los efectos sobre la capacidad adsorptiva los ejerce los factores concentración del agente activante a niveles bajo y tiempo de carbonización a niveles altos; sin embargo, la temperatura causa un mínimo efecto en la capacidad de adsorción.

Basado en estos efectos sobre el área superficial y la capacidad adsorción se establecen las mejores condiciones optimizadas para obtención de carbón activo a base de cáscara de naranja Valencia (*Citrus Sinensis* L) son:

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Concentración [H ₃ PO ₄],
3h	450 °C	26 %

La capacidad de adsorción que presentan los carbones obtenidos a partir de cáscara de naranja Valencia es de 95 mg/g y el área superficial estimada es de 647 m²/g, comparado con el área superficial de carbón activo a partir de cáscara de naranja de 943 m²/g obtenido por (Peña, Giraldo y Moreno, 2012) es mayor. Esta diferencia se atribuye a que los carbones obtenidos por (Peña, Giraldo y Moreno, 2012) fueron activados en una atmosfera totalmente inerte, favoreciendo una mayor generación de centros activos en la superficie del carbón.

5.4. Caracterización del carbón activo (porosidad)

5.4.1 Índice de azul de metileno

El índice de azul de metileno indica la capacidad de adsorción de moléculas que tienen un tamaño similar a las moléculas de AM (Azul de metileno); este parámetro es una indicación de la estructura de mesoporos del carbón activado y es un buen indicador para la adsorción de moléculas más grandes (Padrón, Rodríguez y Gómez, 2013).

Esta valoración de la capacidad de remoción de los carbones activados se llevó a cabo usando una disolución de azul de metileno a 23.87 ppm con una muestra de 0.1g de carbón activo (se ajustó el pH de la mezcla con soluciones de NaOH y HCl previamente estandarizadas, hasta llegar a un pH neutro), midiendo la concentración de azul de metileno resultante por medio de espectrofotometría. (Anexo 35)

Tabla 5.4.1.1 Índice de azul de metileno

Muestra	Absorbancia	Concentración en ppm	% Remoción de AM en 25 mL de solución	Incertidumbre \pm
Muestra AM	0.355	23.87	-	0.09
Blanco	-0.005	0.184	-	0.12
C1	-0.002	0.382	98.40	0.04
C2	-0.002	0.382	98.40	0.05
C3	-0.005	0.184	99.23	0.17
C4	-0.001	0.447	98.13	0.05
C5	-0.003	0.316	98.68	0.06
C6	0.001	0.579	97.57	0.08
C7	0.002	0.645	97.30	0.05
C8	0.001	0.579	97.57	0.06

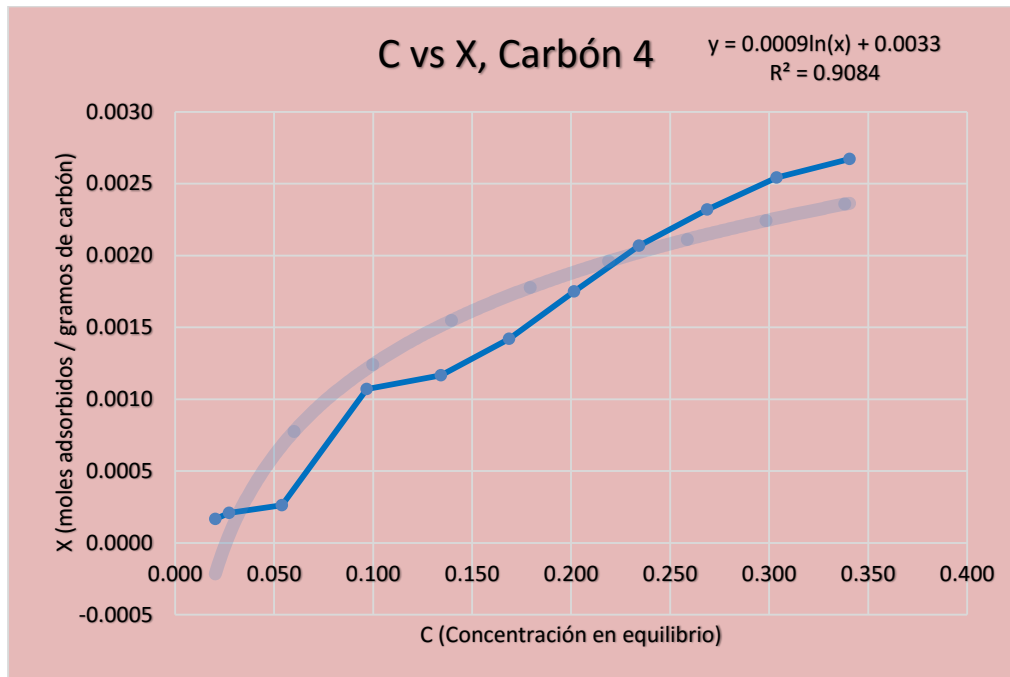
En la tabla 5.4.1 se muestra el porcentaje de remoción del azul de metileno (tratado con cada carbón producido) obtenido por lecturas del espectro UV/VIS, la cual muestra un porcentaje de remoción superior al 97% por cada 0.1 g de carbón en 25mL de solución. Por lo que se puede asumir que los 8 carbonos obtenidos poseen una gran cantidad de mesoporos capaces de retener moléculas de tamaño medio $\geq 1,5$ nm (Padrón, Rodríguez y Gómez, 2013).

5.4.2 Índice de ácido acético

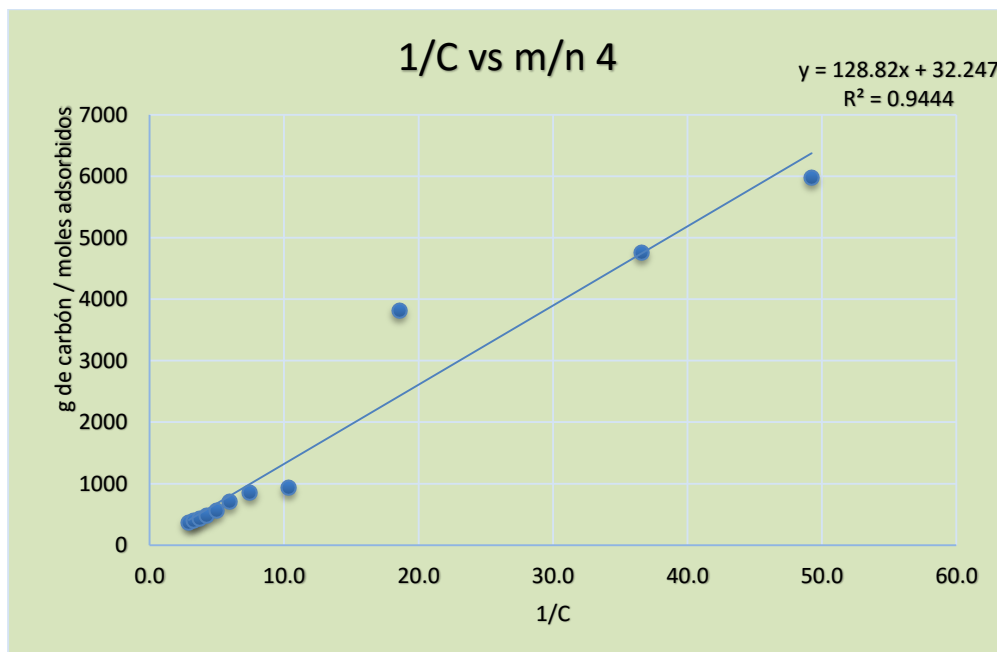
En las gráficas 5.4.2.1 y 5.4.2.3 se presentan las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich para las muestras de carbón activo número 4; y en las gráficas 5.4.2.2 y 5.4.2.4 las isotermas de Langmuir y Freundlich linealizadas para el mismo carbón activo (Anexo 36)

Se observa que las isothermas de adsorción de ácido acético de los carbones activados obtenidos presentan un comportamiento tipo IV, este tipo de isoterma se presenta en los materiales adsorbentes mesoporosos según la clasificación IUPAC (Martín, 1990).

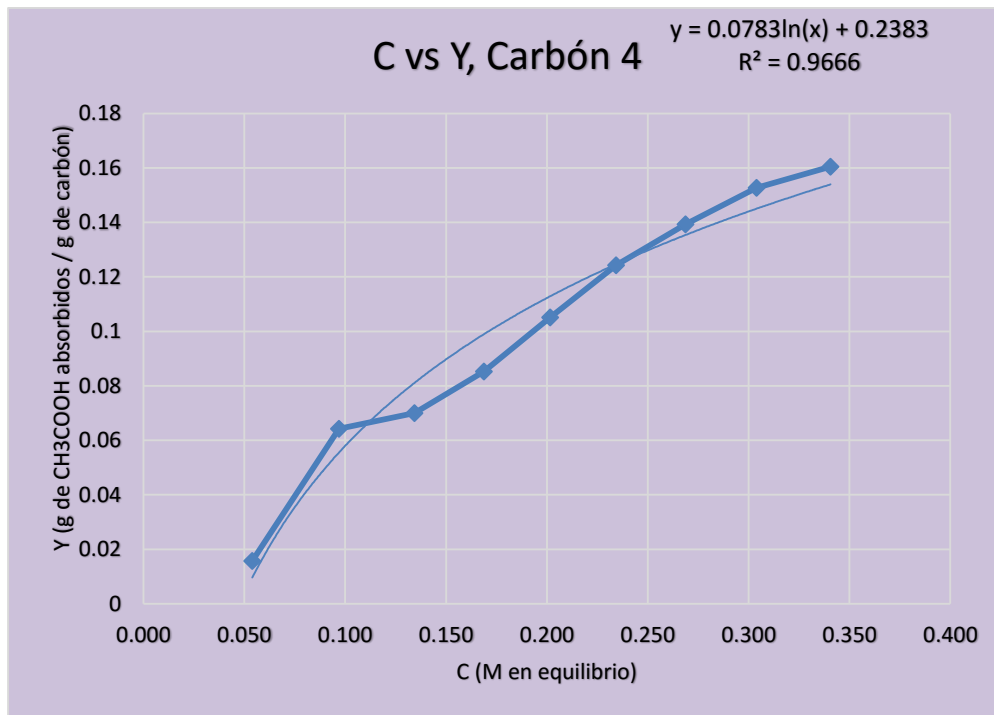
Gráfica 5.4.2.1 Isoterma de adsorción de Langmuir Carbón activo 4



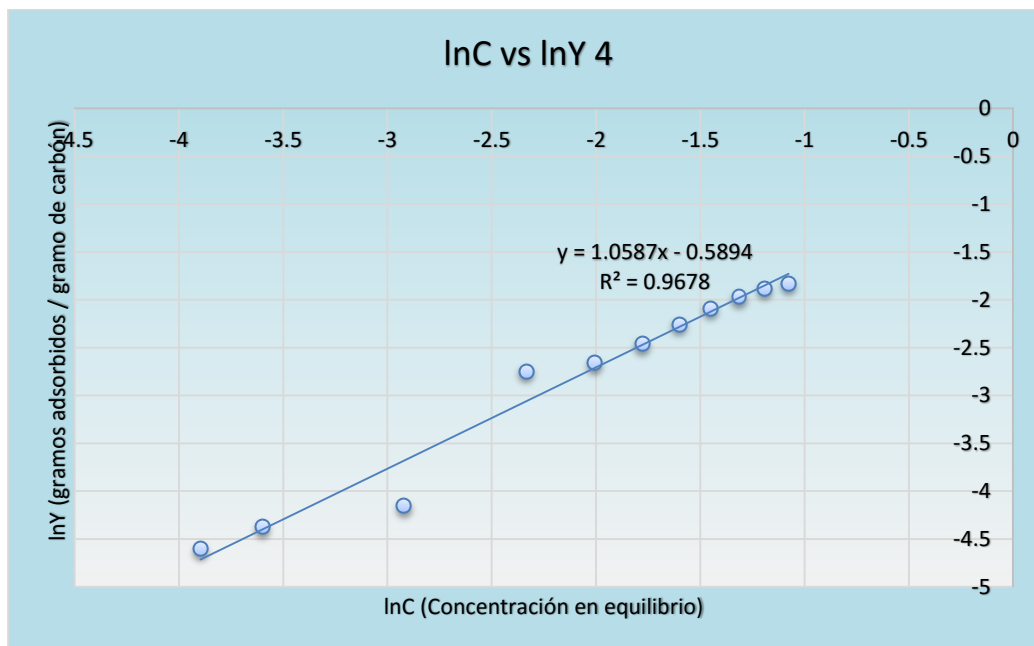
Gráfica 5.4.2.2: Isoterma de Langmuir linealizada carbón activo 4



Gráfica 5.4.2.3 Isoterma de adsorción de Freundlich Carbón activo 4



Gráfica 5.4.2.4: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón activo 4



Para determinar la ecuación de adsorción de Langmuir y Freundlich en los carbones obtenidos, se linealizaron los gráficos de la isoterma de adsorción de Langmuir (graficando el inverso de la concentración en el equilibrio vs masa del adsorbente por los moles adsorbidos de CH_3COOH (Corona, Sigüenza, Ubici, Gómez y Ortega, 2015) y Freundlich (aplicando logaritmo natural a la concentración en el equilibrio y los gramos adsorbidos de CH_3COOH por los gramos de adsorbente (Huerta, 2014).

En la tabla 5.4.2.1 se muestra la ecuación de adsorción de Langmuir y Freundlich (para los 8 carbones con su respectivo coeficiente de correlación y sus constantes), ambas ecuaciones de adsorción relacionan la cantidad retenida sobre el sólido en equilibrio y permitirán calcular la masa necesaria del material adsorbente para tratar el flujo de un líquido específico que interactúe en la superficie del mismo. (Toribio, 2015)

Tabla 5.4.2.1 Ecuaciones de adsorción de Langmuir y Freundlich para el índice de ácido acético

Nº	Ecuación de Langmuir	q _{max}	b	R ²	Ecuación de Freundlich	K	n	R ²
1	$q = \frac{7.25257 \times 10^{-3} Ce}{1 + 0.18347 Ce}$	0.03953	0.18347	0.9813	$\frac{x}{m} = 0.4127 Ce^{0.9797}$	0.4127	1.0207	0.9681
2	$q = \frac{4.56018 \times 10^{-3} Ce}{1 - 1.54882 Ce}$	-2.9443x10 ⁻³	-1.54882	0.9883	$\frac{x}{m} = 0.5552 Ce^{1.2001}$	0.5552	0.8333	0.9833
3	$q = \frac{8.06256 \times 10^{-3} Ce}{1 - 0.24807 Ce}$	-0.03250	-0.24807	0.9722	$\frac{x}{m} = 0.4264 Ce^{0.9217}$	0.4264	1.0849	0.9711
4	$q = \frac{7.76277 \times 10^{-3} Ce}{1 + 0.25033 Ce}$	0.03101	0.25033	0.9444	$\frac{x}{m} = 0.5547 Ce^{1.0587}$	0.5547	0.9445	0.9678
5	$q = \frac{4.82462 \times 10^{-3} Ce}{1 - 1.21696 Ce}$	-3.9645x10 ⁻³	-1.21696	0.9580	$\frac{x}{m} = 0.4614 Ce^{1.1144}$	0.4614	0.8973	0.9475
6	$q = \frac{8.12282 \times 10^{-3} Ce}{1 + 0.01102 Ce}$	0.01102	0.73691	0.9899	$\frac{x}{m} = 0.3375 Ce^{0.8825}$	0.3375	1.1331	0.9924
7	$q = \frac{4.75195 \times 10^{-3} Ce}{1 - 1.15743 Ce}$	-4.1056x10 ⁻³	-1.15743	0.9817	$\frac{x}{m} = 0.4180 Ce^{1.0799}$	0.4180	0.9260	0.9847
8	$q = \frac{0.01297 Ce}{1 + 3.34890 Ce}$	3.87311x10 ⁻³	3.34890	0.9839	$\frac{x}{m} = 0.3720 Ce^{0.8322}$	0.3720	1.2016	0.9954

Se observa que la isoterma de Langmuir para el carbón número 1 se ajusta mejor que la isoterma de Freundlich al tener un coeficiente de correlación superior, mientras que para los carbones número 2, 3 y 5 la isoterma de Langmuir a pesar de tener un coeficiente de correlación mayor al de la isoterma de Freundlich, está presenta un valor de q_{max} negativo, hecho que no puede ser aunque tenga un buen ajuste por lo tanto se descarta está isoterma al ser físicamente imposible aunque matemáticamente correcto. Y para los carbones 4, 6, 7 y 8 los datos quedaron mejor representados con la ecuación de Freundlich debido a que el ajuste de la recta fue mejor.

Además, valores mayores de q_{max} y K representan mayor tamaño de poros, por lo tanto mayor área superficial; así mismo se corrobora que el carbón activo número 4 presenta los mejores valores atribuidos al área superficial, dado que presenta valores de K y n con un buen coeficiente de correlación para la ecuación de Freundlich.

La ecuación de Freundlich es útil para predecir el comportamiento del carbón activado en la mayoría de las aplicaciones en fase líquida, por ello su gran importancia; cabe mencionar que la isoterma será sólo aplicable a las condiciones bajo las cuales se realizó la adsorción. (Martínez, 2012)

5.5 Parámetros del carbón activo

5.5.1 Contenido total de cenizas en carbón activo

Los análisis se realizaron por triplicado por cada carbón para determinar el contenido de cenizas (Anexo 37). En la tabla 5.4.1 se muestra el porcentaje promedio de cenizas obtenido de cada carbón.

Tabla 5.5.1.1 Porcentaje de contenido total de cenizas de los carbones activos

Carbón	% promedio de cenizas	Incertidumbre \pm
1	45.67	0.40
2	37.33	1.20
3	14.67	0.66
4	13.00	3.94
5	19.00	1.53
6	17.33	1.20
7	17.00	0.58
8	9.33	0.33

Las cenizas son materias inorgánicas que no combustionan durante la activación química y la cuantificación de la misma es necesaria debido a que la cantidad y naturaleza de las mismas afectan el desempeño del carbón activo como material adsorbente según (Lavado Sun, y Recuay, 2012) y reduce la eficiencia de reactivación del mismo. (García, 2013)

Se observa que la muestra del carbón optimizado, carbón numero 4 está en los cumplimientos de la norma AWWA la cual indica que el contenido de cenizas no debe de exceder el 15%, este contenido de cenizas podría reducirse por debajo del 1% lavando el carbón con ácidos como el clorhídrico, lo que debe ir seguido de un lavado exhaustivo con agua (Úbeda, 2012).

5.5.2 Materias solubles en agua del carbón activo

El cálculo del porcentaje de solubles en agua se realizó mediante el método de prueba estándar para materiales solubles en agua de carbón activado (ASTM D5029-98 /2014); por cada carbón se realizaron 3 réplicas (Anexo 38)

Tabla 5.5.2.1 Porcentaje de contenido de materias solubles en agua de carbón activo

Carbón	% promedio de solubles en agua	Incertidumbre \pm
1	40.37	0.24
2	28.65	1.88
3	15.08	2.06
4	17.14	0.47
5	18.31	1.33
6	19.36	1.44
7	27.96	0.15
8	20.85	0.17

En la tabla 5.5.2.1 se muestran los valores encontrados de solubles en agua del carbón activo obtenido a partir de cáscara de naranja valencia; el carbón optimizado (carbón numero 4) sobre pasa el rango de los valores típicos conocidos en carbones industriales como es el caso del carbón activado CLARIMEX 061 CAE PLUS que no sobrepasa el 4% de solubles en agua. Estos altos valores implican que parte de las cenizas se disuelven en agua, lo que podría afectar el producto tratado (gas o líquido) con el carbón en ciertas aplicaciones, alterando sus composición química y el pH.

Además dada la relación directamente proporcional que existe entre el contenido total de cenizas y el porcentaje de materia solubles en agua al disminuir el contenido cenizas, disminuiría el alto porcentaje de materias solubles que presentan los 8 carbones elaborados.

5.5.3 pH del carbón activo

En la tabla 5.5.3.1 se muestra el pH de cada carbón obtenido. El análisis del pH se realizó usando la técnica del pH en el punto de carga cero pH_{pcc} ; usando 5 pesos distintos de carbón (Anexo 39)

Tabla 5.5.3.1 pH de los carbones activos obtenidos

Carbón	pH_{PCC}
1	2.4
2	2.3
3	2.3
4	2.4
5	3.4
6	3.5
7	3.7
8	3.8

Se observa que los valores del pH_{PCC} obtenidos muestran propiedades ácidas, con valores que van desde 2.4 hasta 3.8. Esto se explica por la formación de grupos ácidos en la superficie de los carbones activados como resultado del agente activante empleado (Martínez 2012), los cuales no fueron totalmente liberados por la cantidad de agua utilizada en el lavado.

Además por el alto porcentaje de acidez que presenta el carbón se ve reducida la capacidad de adsorción del carbón activo, debido a que hay una relación inversa entre la capacidad de adsorción y la acidez de la superficie. Así mismo la adsorción de la mayoría de materiales orgánicos es mayor en condiciones neutras ya que con la neutralización de cargas negativas existen mayor número de centros de adsorción activos. (Ures, Suárez y Jácome 2015)

5.5.4 Densidad aparente del carbón activo

En la tabla 5.5.4.1 se muestran los resultados de la densidad aparente de cada carbón obtenido a partir de la cáscara de naranja valencia (Anexo 40). La densidad aparente es necesaria para determinar la masa de carbón activo, necesaria para el tratamiento de un flujo líquido o gaseoso, según las impurezas materiales que se deseen remover.

Tabla 5.5.4.1: densidad aparente del carbón activo

Carbón	densidad (g/mL)
1	0.8129
2	0.9288
3	0.6066
4	0.5441
5	0.8144
6	0.8244
7	0.7457
8	0.5678

La densidad del carbón optimizado (0.5441), número 4, supera a las especificaciones de Carbón Activado Granular CGC (según la ficha técnica del carbón activo CGC) el cual presenta una densidad aparente de 0.45g/mL, lo que significa que se deberá usar un mayor volumen de cama necesaria, para contener una determinada masa de carbón activo en comparación con el carbón activado granular CGC.

Estos valores nos permiten identificar que los carbones obtenidos son de calidad; ya que densidades mayores (en comparación con la densidad aparente del carbón activo granular CGC) entregan un mejor volumen de actividad (Soto 2007)

5.6 Evaluación de la capacidad adsorptiva del carbón activo en la desodorización de aceite de maní

El resultado de esta evaluación fue la decoloración del aceite y la eliminación del olor a maní, quedando en el filtrado un aceite inodoro e incoloro (Anexo 41). Lo que significa que el carbón absorbió moléculas de aldehídos y cetonas, las cuales le dan el olor característico a maní (Badui 2006) así también clorofila y los pigmentos carotenoides, los que dan la coloración al aceite (Garrido, Gandul, Gallardo y Mínguez 1990)



VI. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

- ❖ La cáscara de naranja Valencia es una materia prima potencial para la obtención de carbón activo debido a su alto contenido de carbón (84.68%) y su bajo contenido de cenizas (5.44%).
- ❖ El rendimiento del carbón activo es del 54% en base a cáscara de naranja seca preincinerada.
- ❖ Las condiciones óptimas para la obtención de carbón activo a partir de cascara de naranja Valencia (citrus Sinensis L) son: tiempo de carbonización de 3 horas, temperatura de carbonización a 450°C y ácido fosfórico (H₃PO₄) al 26%; para obtener un carbón con alta capacidad de adsorción (95 mg/g) y área superficial (647 m²/g).
- ❖ En base a la evaluación de carbón activo en la desodorización de aceite de maní, el carbón optimizado obtenido a partir de cáscara de naranja Valencia (citrus Sinensis L) es una alternativa para el refinamiento del aceite extraído del maní.
- ❖ El carbón activo optimizado obtenido a partir de cáscaras de naranja valencia mediante activación química (con H₃PO₄) es mesoporoso y presenta buenas características adsorbentes, capaz de remover moléculas de tamaño medio ($\geq 1,5\text{nm}$) como son olores y colores.



VII. RECOMENDACIONES

7. RECOMENDACIONES

- Debido al alto porcentaje de humedad que presenta la cáscara de naranja valencia y el alto costo energético que se requiere para eliminarla, se recomienda secar las cáscaras al sol para minimizar costos de producción de carbón activo.
- Lavar el carbón activado con ácidos para disminuir el porcentaje de cenizas y aumentar la calidad del carbón.
- Encontrar un uso adecuado para el carbón activo optimizado producido a partir de cáscaras de naranja Valencia (Citrus Sinensis L).
- Proyectar un estudio de factibilidad para la producción de carbón activo en Nicaragua, para generar valor agregado a las cáscaras desechadas de la industria transformadora de naranja en Nicaragua.
- Analizar el filtrado del aceite obtenido para cuantificar acidez y ácidos grasos libres con el fin de incorporar el carbón a los procesos de refinación de aceite.
- Agregar una etapa de recuperación del agente activante para su reutilización, disminución de costos e impacto ambiental.



VIII. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

- Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. México: PEARSON Educación.
- Chen, X. (2015). Modeling of Experimental Adsorption Isotherm Data. pages 14–22
- Dunicz, B. L. (1961). Surface area of activated charcoal by Langmuir adsorption isotherm. Journal of Chemical Education, 38(7):357
- Itodo, A., Itodo, H., and Gafar, M. (2011). Estimation of Specific Surface Area using Langmuir Isotherm Method.
- López, F. (2015). Metrología de Magnitudes Físico-Química. Managua, Nicaragua: Departamento de química UNAN-Managua.

8.1 WEBGRAFÍA

- Amerijo, I. (2011) DETERMINACIÓN DE CENIZAS, MÉTODO GRAVIMÉTRICO. Intelligent Data Analysis Laboratory. Recuperado de: <http://www.idal.cl/sgcidal/images/stories/Procedimientos/Laboratorio/Determinacion%20cenizas%20metodo%20gravimetrico.pdf>
- Arévalo, A. (2013) DETERMINACIONES CUANTITATIVAS EN NARANJA MEDIANTE TECNOLOGÍAS NIRS. Universidad Pública de Navarra. Recuperado de: http://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/8748/TyCIAA_TFM_Margarita_Ar%C3%A9valo_Mart%C3%ADn1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ávila, G. Forero, D. García, M. Guatibonza, D. Sanabria F., PRUEBA DE CENIZAS Y HUMEDAD EN NARANJA VALENCIA. Academia.edu. Recuperado de: www.academia.edu/8817362/Cenizas_y_humedad
- Bastidas, M. Buelvas, L. Márquez, M. Rodríguez, K. (2010). PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE PRECURSORES CARBONOSOS DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR, COLOMBIA. . Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. SCIELO. 2(13), (87-96). Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v21n3/art10.pdf>
- Calderón, R. (s.f.). ANÁLISIS DE ALIMENTOS I. Universidad Tecnológica de la Selva. Recuperado de: <http://www.laselva.edu.mx/rcalderon/wp-content/uploads/2012/11/Pr%C3%A1ctica-5-1PAL-An%C3%A1lisis.pdf>
- Cantera, C. (2014). REGENERACIÓN DE SALMUERAS DE LA INDUSTRIA DE ADEREZO DE ACEITUNAS (Tesis de grado). Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13132/1/TFG-I-168.pdf>
- Carbotecnia. (s.f.). CARBÓN ACTIVADO. Carbotecnia. Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>
- Castellar, G. Angulo, E. Zambrano, A. Charris (2013) EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE AZUL DE METILENO SOBRE CARBÓN ACTIVADO. Revista Actualidad y Divulgación Científica. SCIELO 16(1), 263-271. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012342262013000100030

- Castro, L. Flores, N. Martínez, A. (2009). ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de:
<http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria17/104.pdf>
- COMEX (09/2016). 3802 - CARBÓN ACTIVADO. COMERCIO EXTERIOR COMEX. Recuperado de: <http://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Nicaragua/carbon-activado--carbon-activado-materias-minerales-naturales-activadas-negro-de-origen-animal-inclu/NI/3802>
- Corona L., Sigüenza A., Ubici V., Gómez E. G., Ortega W. (2015) ÁREA SUPERFICIAL DEL CARBÓN ACTIVADO USANDO LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR. Academia.edu. Recuperado de:
http://www.academia.edu/11644462/%C3%81rea_superficial_del_carb%C3%B3n_activado_usando_la_isoterma_de_adsorci%C3%B3n_de_Langmuir
- Ciencia libre. (s.f.). EL CARBÓN ACTIVADO. Ciencia Libre. Recuperado de:
<http://cienciacatalisislibre.blogspot.com/2011/11/el-carbon-activado.html>
- CLARIMEX 061 CAE PLUS, (s.f.). ESPECIFICACIONES. Recuperado de:
http://www.dalbertinternacional.com/adminweb/data_sheet/DATA%20SHEET%20CARBON%20ACTIVADO%20061%20CAEPLUS.pdf
- Desotec. (s.f.). BIOGÁS. DESOTEC. Recuperado de:
<https://www.desotec.com/es/aplicacion/biogas>
- Desotec. (s.f.). ÍNDICE DE YODO. DESOTEC. Recuperado de:
<https://www.desotec.com/es/carbon-activo/tipos-de-carbon-activo/propiedades/indice-de-yodo>

- El nuevo diario. (11/11/2013). ACEITE DE MANÍ NICA SE ABRE PASO EN EL MUNDO. El nuevo diario. Recuperado de:
<http://www.elnuevodiario.com.ni/economia/298917-aceite-mani-nica-se-abre-paso-mundo/>
- Elena (s.f.). ISOTERMA DE FREUNDLICH. Independent.academia. Recuperado de: <https://independent.academia.edu/elena>
- FAO 2016. PRODUCCIÓN DE NARANJA EN NICARAGUA. Recuperado de:
<http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- García F. (2013). PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVO (Tesis de grado). Recuperado de: <http://zagan.unizar.es/record/12157/files/TAZ-PFC-2013-575.pdf>
- Garrido, J. Gandul, B. Gallardo, L. Mínguez, M. (1990). PIGMENTOS CLOROFILICOS Y CAROTENOIDES RESPONSABLES DEL COLOR EN EL ACEITE DE OLIVA VIRGEN. Consejo Superior de Investigaciones Cientificas. Recuperado de: http://agris.fao.org/agris-search/search.do;jsessionid=A62AFAD771400054D87832F8E3406637?request_locale=es&recordID=ES19910085227&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=
- Garzón, J. González L. (2012). ADSORCION DE CR (VI) UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA (Tesis de pregrado). Recuperado de:
[http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/68/1/Adsorci%C3%B3n%20de%20Cr%20\(VI\)%20a%20partir%20de%20c%C3%A1scara%20de%20naranja%20y%20carb%C3%B3n%20activado%20obtenido%20de%20la%20misma%20\(19.12.12\).pdf](http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/68/1/Adsorci%C3%B3n%20de%20Cr%20(VI)%20a%20partir%20de%20c%C3%A1scara%20de%20naranja%20y%20carb%C3%B3n%20activado%20obtenido%20de%20la%20misma%20(19.12.12).pdf)

- Giraldo L., García V., Moreno J., (2007) CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL EN FASE GAS Y LÍQUIDA DE CARBONES ACTIVADOS. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. SCIELO. 7-16 Recuperado de: www.scielo.org.co/pdf/ring/n27/n27a2.pdf
- Gómez, A. Klose, W. Rincón, S. (2010). CARBÓN ACTIVADO DE CUESCO DE PALMA. ESTUDIO DE TERMOGRAVIMETRIA Y ESTRUCTURA (Tesis Doctoral). Universidad de Kassel. Recuperado de: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf>
- Grisales, A. Rojas, W. (2016). OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE ACTIVACIÓN QUIMICA DE PULPA DE CAFÉ Y SU APLICACIÓN EN LA REMOCIÓN DE COLORANTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6965/628162G869.pdf?sequence=1>
- Gutiérrez, H. De la Vara, R. (2012). ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTO. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/44401609_Analisis_y_Disenio_de_Experimentos
- Guzmán, A. (2009). ANÁLISIS GRÁFICO. PARTE I. ESCALAS LINEALES Y LOGARÍTMICAS. Recuperado de: www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n75ne/analisis-grafico1.pdf
- Hernández, M. Otero, A. Falcón, J. Yperman. Y. (2017). CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL CARBÓN ACTIVADO DE CONCHA DE COCO MODIFICADO CON HNO₃. Revista Cubana de Química. SCIELO 29(1), (26-38). Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v29n1/ind03117.pdf>

- Herrera, J. (2004). EL CARBÓN ACTIVADO COMO UN PRODUCTO SECUNDARIO EN EL BOSQUE (Tesis maestría). Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/4401/1/98585713._2004.pdf
- Huerta, A. (2014). EJERCICIOS ISOTERMA DE FREUNDLICH. Adsorcionfesc. Recuperado de: <http://adsorcionfesc.blogspot.com/2014/03/ejercicio-isoterma-de-freundlich.html>
- Jerez C., (2014) DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CUESCO DE PALMISTE (Elaeis guinéens) MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA CON CLORURO DE ZINC (Tesis de pregrado). Recuperado de: bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7716/1/CD-5635.pdf
- Jiménez, J. (2014) APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS CELULÓSICOS DE PIÑA PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/37824/1/jimenezbustamantejosemiguel.pdf>
- Lacayo, L. (11/06/2013). CÍTRICOS AMENAZADOS. El nuevo diario recuperado de: <http://www.elnuevodiario.com.ni/economia/288686-citricos-amenazados/>
- López, H. Alfaro J. (2013). Zonas potenciales para el cultivo de la naranja. MAGFOR. Recuperado de: <http://www.magfor.gob.ni/prorural/programasnacionales/perfilessub/frutasyhortalizas.pdf>

- Lavado, C. Sun, M. Recuay, N. (2012). REMOCIÓN DE CROMO (VI) EMPLEANDO CARBONES PREPARADOS POR ACTIVACIÓN QUÍMICA A PARTIR DE LAS ASTILLAS DE EUCALIPTO. Revista de la Sociedad Química del Perú SCIELO, 78(1), 14-26. Recuperado de:
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000100003
- Lazo, J. Navarro, A. Sun-Kou, M. Llanos, B. (2008). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS ORGANOFÍLICAS Y SU APLICACIÓN COMO ADSORBENTES DEL FENOL. Revista Colombiana de Química REDALY. 74(1), 3-19. Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/pdf/3719/371937608002.pdf>
- Martín, J. 1990., ADSORCIÓN FÍSICA DE GASES Y VAPORES POR CARBONES., Universidad de Alicante. Recuperado de:
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4291/4/adsorcion_fisica_2.pdf
- Martínez, A. (2012) DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-HEXANO (Tesis Doctoral). Recuperado de:
http://www.tesismartinezde_yuso/repositorio/200.pdf
- Martínez, J. (2009) PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CARBONOSOS PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS (Tesis Doctoral). Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309028756010>

- Márquez, F. (2007). EL CARBÓN ACTIVADO. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN. Monografias.com. Recuperado de:
<http://www.monografias.com/trabajos45/carbon-activado/carbon-activado.shtml#ixzz4KdpkSYR0>
- Medina B., Villegas P. (2002) ESTUDIO SOBRE LA FACTIBILIDAD DE PREPARAR CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RECURSOS BIOMÁSICOS TROPICALES. Researchgate. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/265188101_ESTUDIO_SOBRE_LA_FACTIBILIDAD_DE_PREPARAR_CARBONES_ACTIVADOS_A_PARTIR_DE_RECURSOS_BIOMASICOS_TROPICALES
- Mojica, L. Ramírez, W. Rincón, N. Blanco, D. Giraldo, L. Moreno, J. (2011) SINTESIS POR ACTIVACIÓN QUÍMICA Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE SEMILLA DE EUCALIPTO PARA LA ADSORCIÓN DE FENOL EN SOLUCIÓN ACUOSA. SlideShare. Recuperado de:
<http://es.slideshare.net/GiovannyRinconSilva/sntesis-por-activacin-qumica-y-caracterizacin-de-carbn-activado-a-partir-de-cascara-de-semillas-de-eucalipto-para-la-adsorcin-de-fenol-en-solucin-acuosa>
- Morales J., Noriega L. (21/09/2015). FRUTAS. Recuperado de:
<http://biolotecnologiwork.weebly.com/>
- Moreno, J. Navarrete, L. Giraldo L. García, V. (2007). ADSORCIÓN DE FENOL Y 3-CLORO FENOL SOBRE CARBONES ACTIVADOS MEDIANTE CALORIMETRÍA DE INMERSIÓN. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales SCIELO. 18(3), 71-80. Recuperado de:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000300009

- Moreno, J., Sarria, V. Polo, A. Giraldo, L. (2007). EVALUACIÓN DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN LA OXIDACIÓN DE FENOL CON HIERRO SOPORTADO SOBRE TELA DE CARBÓN ACTIVADO. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales SCIELO. 18(2), 67-72. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000200010
- Niño, N. Riaño, N. Forero, J. Ardilla, R. Manrique, J. (2012). La cadena del Carbón. Unidad de Planeación Minero Energética UPME y Ministerio de Minas y Energía. Recuperado de: http://www.simco.gov.co/Portals/0/publicaciones/carbon_v2.pdf:
- Olmos, K. (S.F.). Índice de Azul metileno. Academia.edu. Recuperado de: http://www.academia.edu/14387674/Indice_de_Azul_metileno
- Padrón R., Rodríguez C., Gómez A., (2013) EL CARBÓN ACTIVADO, UN MATERIAL ADSORBENTE. Universidad de Matanzas. Recuperado de: <http://monografias.umcc.cu/monos/2013/Facultad%20de%20Ingenierias/mo13253.pdf>
- Pedelini, R. (02/02/2016). MANÍ - GUÍA PRÁCTICA PARA SU CULTIVO. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Recuperado de: <http://inta.gob.ar/documentos/mani-guia-practica-para-su-cultivo-0>
- Peña, K. Giraldo, L. Moreno, J. (2012) PREPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA POR ACTIVACIÓN QUÍMICA. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA. Revista Colombiana de Química REDALY, 41(2), 311-323. Recuperado de: www.redalyc.org/articulo.oa?id=309028756010

- Pilamonta, J. (2013). MEJORAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CONTAMINADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (Tesis de pregrado). Recuperado de: www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2286
- Primera O., Colpas F., Meza E., Fernández R. (2010) CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZURO DE MAÍZ PARA LA ADSORCIÓN DE CADMIO Y PLOMO. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales SCIELO. 35(1), 377-396. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000300012
- Quiminet. (12/05/2008). EL USO DE CARBÓN ACTIVADO EN PURIFICADORES DE TRATAMIENTO DE AGUA. QuimiNet. Recuperado de: <https://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-carbon-activado-en-purificadores-de-tratamiento-de-agua-28640.htm>
- Rosas, J. (2009). PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CARBONOSOS PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS (Tesis doctoral). Recuperado de: <http://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/2629>
- SINC (15/07/2013). OBTIENEN CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE LODOS DE DEPURADORA. SERVICIO DE INFORMACIÓN Y NOTICIAS CIENTÍFICAS. SINC. Recuperado de: <http://m.agenciasinc.es/Noticias/Obtienen-carbon-activo-a-partir-de-lodos-de-depuradora>
- Soto, F. (2007) EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE CARBÓN ACTIVADO (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://www.tesiscivilindustrial/chile/plantacarbonactivado/520.pdf>

- Tenoch, J. (2014) OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y ORGANOLÉPTICA DE RESIDUOS FIBROSOS DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) OBTENIDOS A 50°C Y SU INCORPORACIÓN EN UN SISTEMA ALIMENTICIO (Tesis de grado). Recuperado de: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/12220.pdf
- Toribio, E. 2015., ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LOS HIDROXIAPATITOS COMO REACTIVOS PARA LA ELIMINACIÓN DE METALES (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/26366>
- Ubeda, J. (2012). ADSORBENTES A PARTIR DE RESIDUO. ESTUDIO DE LIXIVIACIÓN DE METALES (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/18318/Jaime%20Ubeda%20Aura.pdf?sequence=1>
- Unalamed.edu. (s.f.) ANÁLISIS PRÓXIMOS. Unalmed.edu. Recuperado de: http://www.unalmed.edu.co/~ctcarbon/analisis_proximos.htm
- Universidad de Sevilla, (s.f). MANUAL DEL CARBÓN ACTIVO – Master en ingeniería del agua. Sevilla – España. Recuperado de: www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carbón%20activo.pdf
- Ures, P. Suarez, J. Jácome, A. (2015). ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVO (FT-TER-002). Universidad da Caruña Recuperado de: <https://www.wateractionplan.com/documents/186210/186348/INDITEX-FT-TER-002+ADSORCI%C3%93N+EN+CARB%C3%93N+ACTIVO.pdf/2c1f262c-2a93-4ea0-bada-b1b255052a49>

- Uribe, B. (2014) MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TURBIDEZ PRÁCTICA D3370. Prezi. Recuperado de:
<https://prezi.com/iga4ya4hqdw/metodo-estandar-para-la-determinacion-de-la-turbidez/>
- Vásquez, E. Fredy Herrera, J. (2006). METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS MADERABLES DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ “AMVA”, COLOMBIA. 59(29), 3557-3564. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. UNAL. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v59n2/a11v59n2.pdf>
- Web.archive. (s.f.). EL CARBÓN ACTIVADO. Web.archive. Recuperado de:
<http://web.archive.org/web/20090916134716/http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>
- Zapata, Z. Rojas, D. Arenas, E. Chejne, F. Londoño, C. Perz, J. (2005). Producción de carbón activado a partir de carbón subbituminoso en reactores de lecho fluidizado por proceso autotérmico. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales SCIELO. 72(147), 47-56. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v72n147/a05v72n147.pdf>

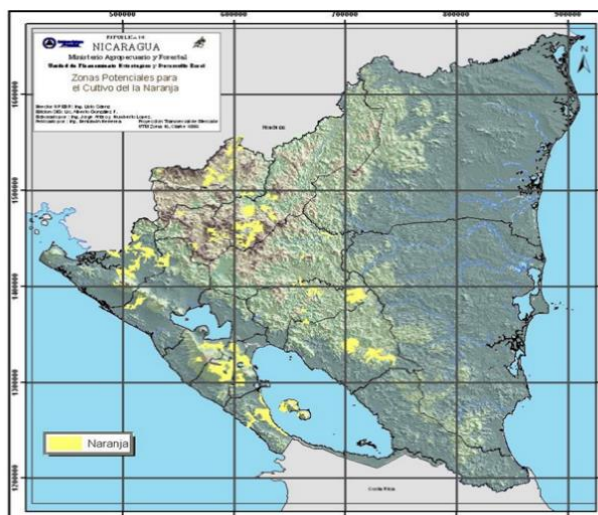


IX. ANEXOS

ANEXO 1

1.1 Zonificación de áreas aptas para el cultivo de naranja

Figura 1.1: Áreas aptas para el cultivo de naranja

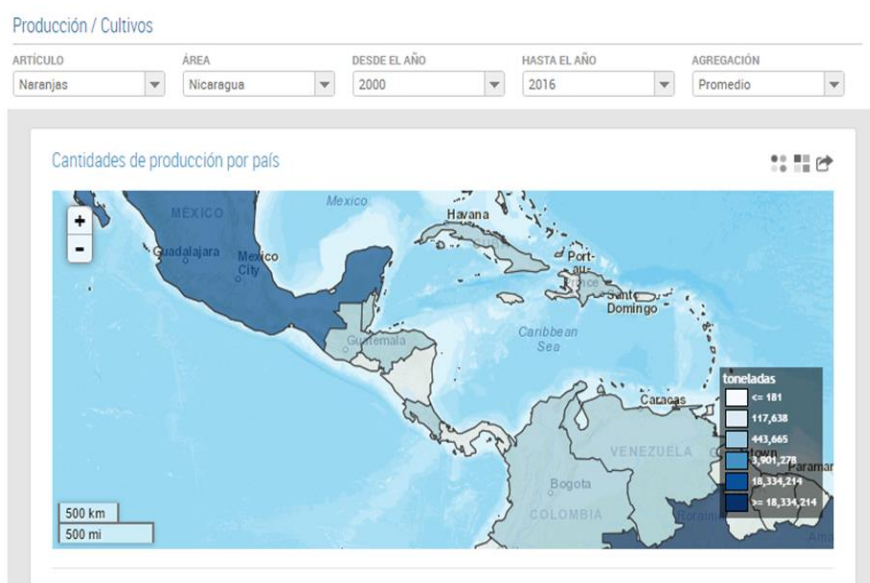


Fuente: (López y Alfaro, 2013)

ANEXO 2

2.1 Producción de naranja en los periodos 2000-2016

Figura 2.1: Producción de naranja en los periodos 2000-2016

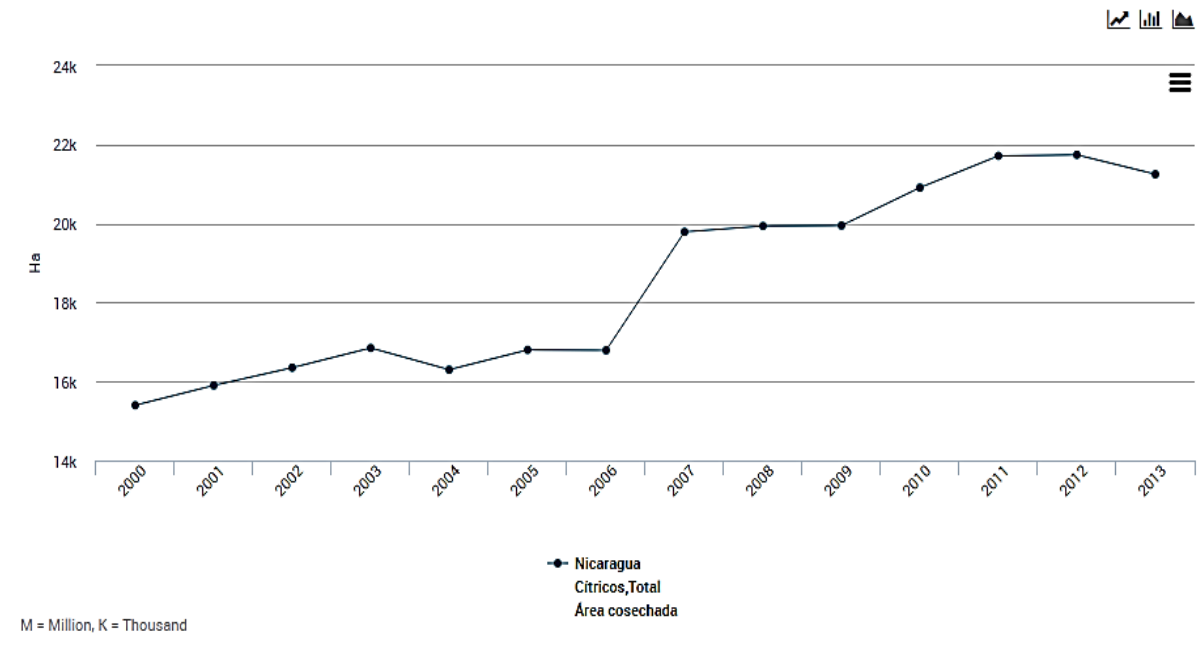


Fuente: (FAO, 2016)

ANEXO 3

3.1 Áreas cosechadas con naranjas en el territorio nacional

Gráfica 3.1: Áreas cosechadas con naranjas en el territorio nacional

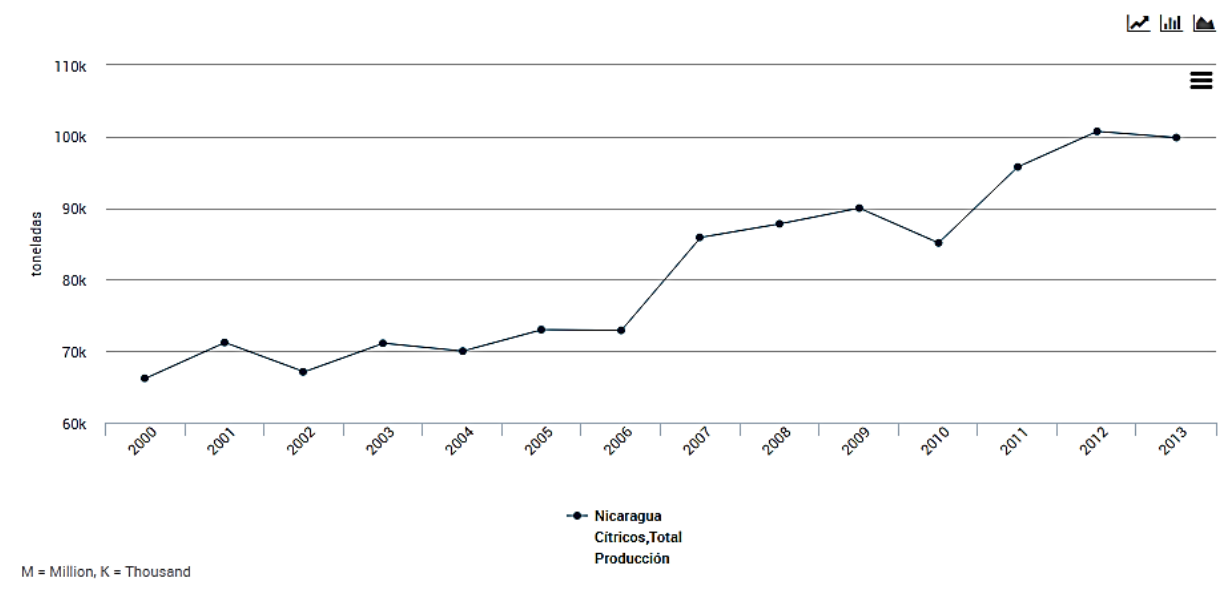


Fuente: (FAO, 2016)

ANEXO 4

4.1 Producción de naranjas en Nicaragua

Gráfica 4.1: Producción de naranjas en Nicaragua



Fuente: (FAO, 2016)

ANEXO 5

5.1. Entrevistas a Pymes Nicaragüenses



Finca Santa Clara

- Ubicación: Jinotepe, Carazo.
- Productos: Mermeladas, pulpas y jugo de naranja
- Procedencia: Finca Santa Clara, Mercado de Jinotepe, La Concepción
- Variedad: Valencia, Criolla
- Utilizan 20,000 naranjas al año dejando como subproducto el hollejo y las cáscaras
- Usan los subproductos como abono orgánico y no utilizan fertilizantes
- Poseen un filtro rústico compuesto de piedrín, arena y carbón.



NAISA S.A

- Ubicación: Managua, Nicaragua.
- Productos: Jugos naturales y frituras.
- Procedencia: Carazo, Honduras.
- Variedad: Valencia.
- Utilizan aproximadamente 750,000 naranjas al año.
- El subproductos del proceso de Jugo natural "Real" se desechan. No obtienen ningún beneficio del mismo
- Poseen un filtro de carbón activo que renuevan cada año, siendo su valor de 2000 córdobas el Kg.



Planta láctea la Norteña

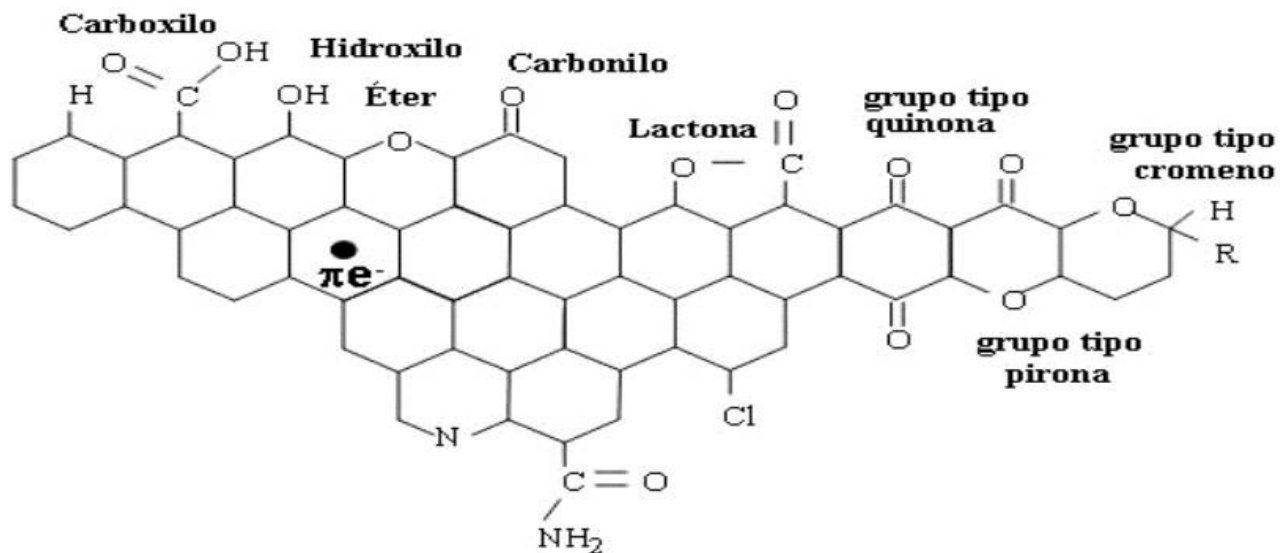
- Ubicación: Jinotega.
- Productos: Jugos de naranja, productos lácteos y derivados.
- Procedencia: Finca los Poterillos, donde hay 60 manzanas cultivadas con naranjo
- Variedad: Valencia, Washington.
- Utilizan aproximadamente 3,500,000
- El 50% del subproducto del proceso del jugo de naranja "La lechera" es usado como abono natural en Finca Los Potrerillos y el 50% restantes en desechado.

Fuente: estructurado por autores

ANEXO 6

6.1. Grupos funcionales del carbón activo

Figura 5.1: Grupos funcionales del carbón activo



Fuente: (Universidad de Sevilla, s.f.)

ANEXO 7

7.1. Representación de la estructura de un carbón activo

Figura 7.1: Representación de la estructura de un carbón activo

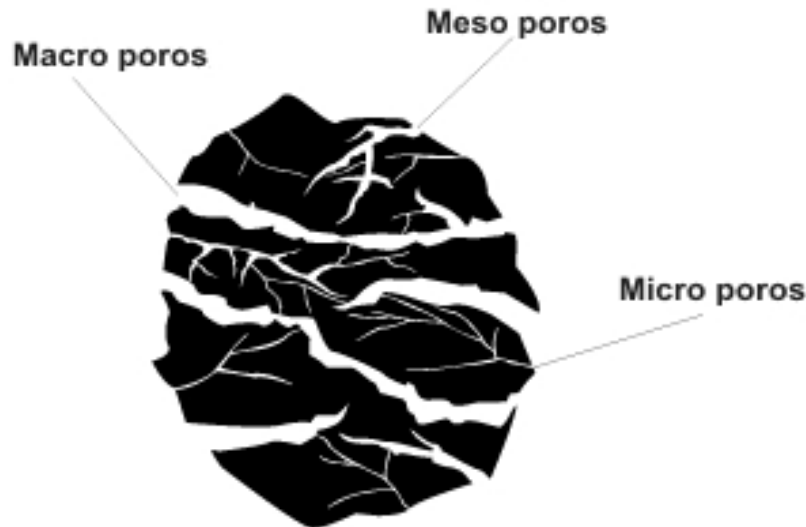


Fuente: (Mojica et al., 2011)

ANEXO 8

8.1 Representación de los tipos de poros en el carbón activo

Figura 8.1: Representación de los tipos de poros en el carbón activo

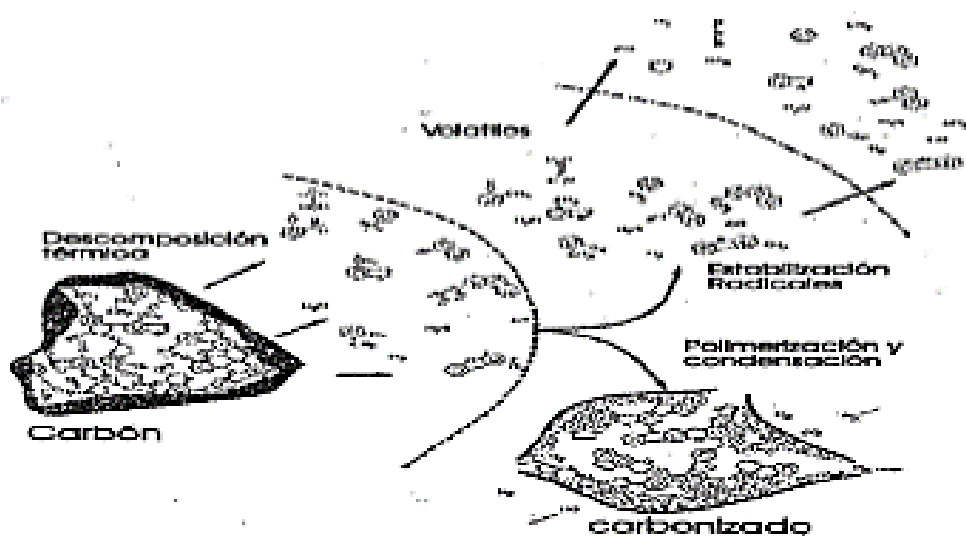


Fuente: (Universidad de Sevilla, s.f.)

ANEXO 9

9.1 Representación del proceso de carbonización del carbón en la activación térmica.

Figura 9.1: Representación del proceso de carbonización del carbón en la activación térmica.

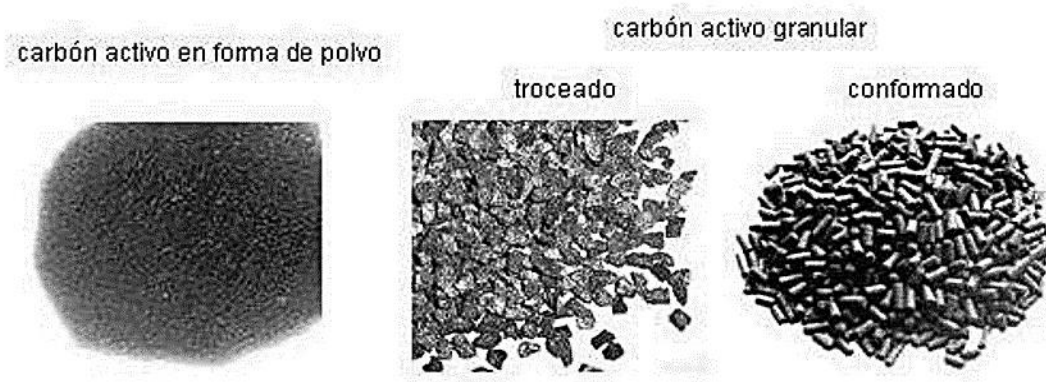


Fuente: (Pilamonta, 2013)

ANEXO 10

10.1. Tipos de Carbón Activo

Figura 10.1 Tipos de Carbón Activo



Fuente: (Soto, 2007)

ANEXO 11

11.1 Importaciones a Nicaragua de carbón activo y materiales minerales naturales activados.

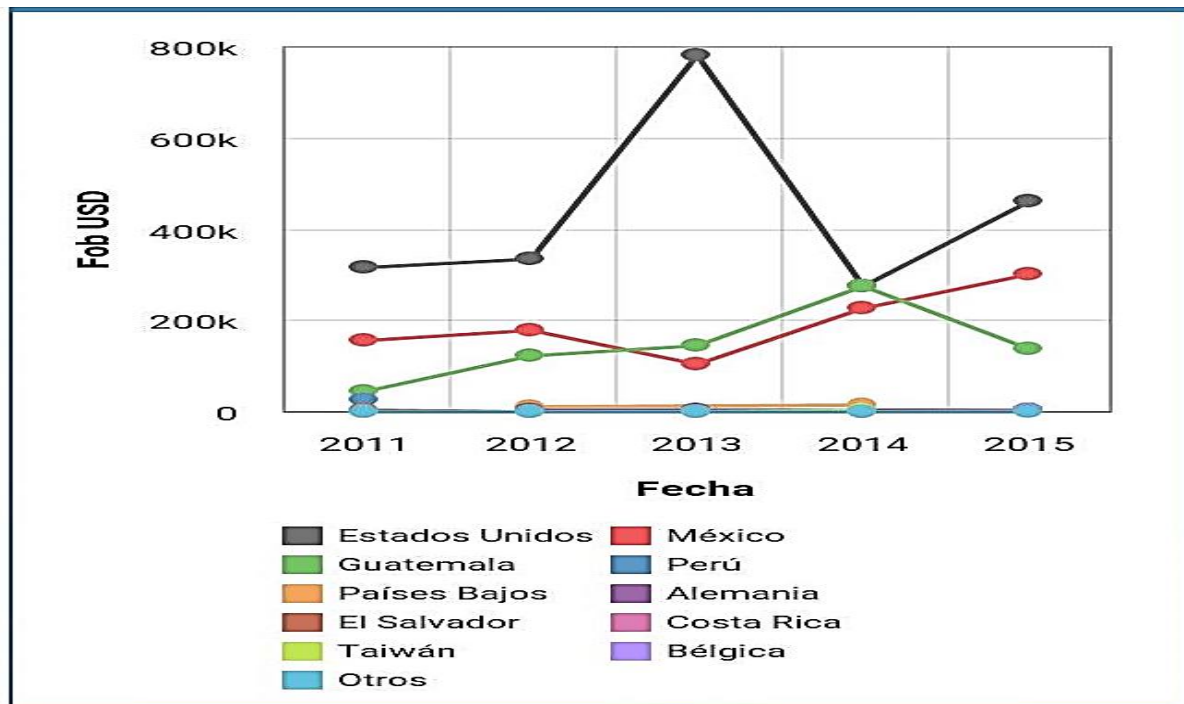
Tabla 11.1: Importaciones a Nicaragua de carbón activo y materiales minerales naturales activados en los últimos años

Tabla - Nicaragua - Importaciones - Evolución - NCE: carbón activado - carbón activado; materias minerales naturales activadas; negro de origen animal, incluido el agotado. - Anual FOB USD

Fecha	2011	2012	2013	2014	2015
Pais Exportador					
Estados Unidos	317.299	334.827	779.671	274.156	463.162
México	157.762	176.977	105.828	226.621	302.798
Guatemala	44.469	124.234	143.803	276.908	138.347
Perú	31.680				
Países Bajos		10.005		13.560	
Alemania		2.800	3.495	5.239	5.468
El Salvador	2.400	1.357	210		2.514
Costa Rica				1.778	4.403
Taiwán	638	308	1.000	2.000	
Bélgica					2.248
Otros		1.800	337		
Total	554.248	652.310	1.034.344	800.262	918.940

Fuente: (COMEX, 2016)

Gráfica 11.1: Importaciones a Nicaragua de carbón activo y materiales minerales naturales activados en los últimos años (FOB USD)



Fuente: (COMEX, 2016)

Tabla 11.2: Detalle mensual (Septiembre 2015-Febrero 2016) de importaciones de carbón activo a Nicaragua

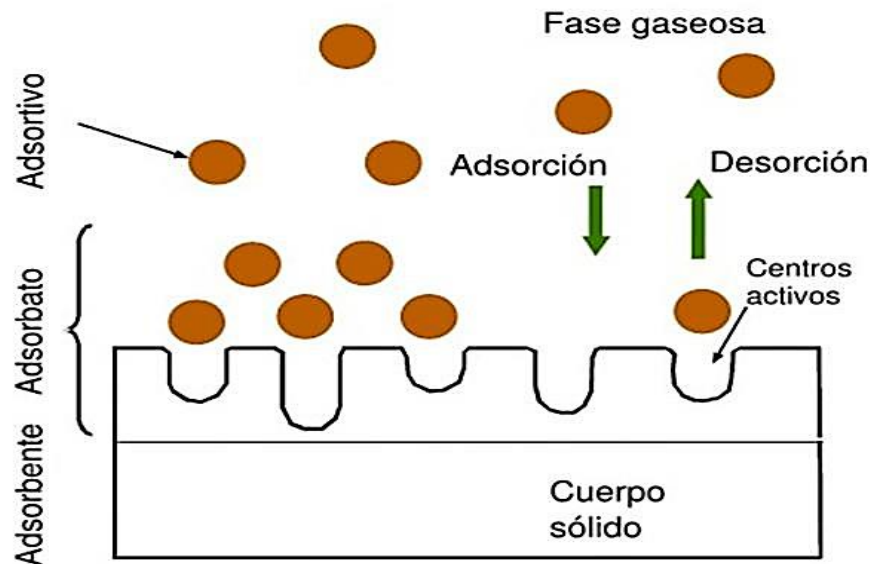
Tabla - Nicaragua - Importaciones - Evolución - NCE: carbón activado - carbón activado; materias minerales naturales activadas; negro de origen animal, incluido el agotado. - X						
Mensual FOB USD						
Fecha País Exportador	09 - 2015	10 - 2015	11 - 2015	12 - 2015	01 - 2016	02 - 2016
Guatemala	17.090	11.829	28.382	12.650	20.175	79.520
Estados Unidos	34.520				95.440	
México	11.742	6.003	42.927	27.145		
Alemania		2.750			5.300	
Costa Rica	953					
El Salvador		35				
Total	64.305	20.617	71.309	39.795	120.915	79.520

Fuente: (COMEX, 2016)

ANEXO 12

12.1 Esquema del proceso de adsorción y desorción del carbón activo

Figura 12.1 Esquema del proceso de adsorción y desorción del carbón activo

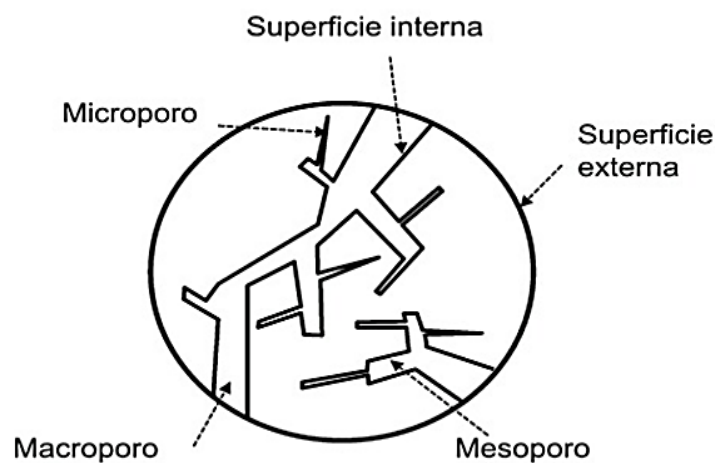


Fuente: (Gómez, Klose y Rincón, 2010)

ANEXO13

13.1. Estructura porosa de carbones activados

Figura 13.1: Estructura Porosa de Carbones Activos

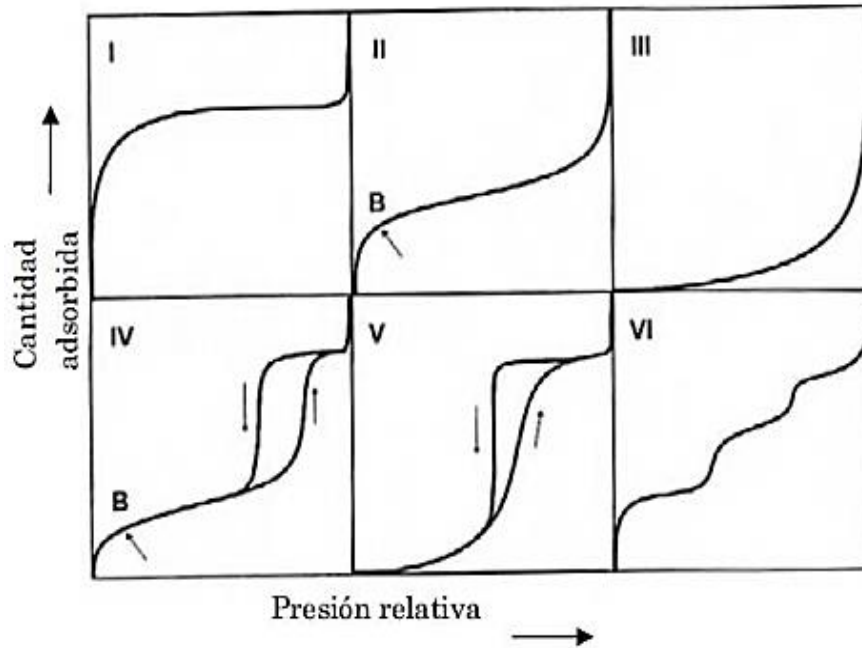


Fuente: (Gomez, Klose, y Rincón, 2010)

ANEXO 14

14.1 Clasificación de las isotermas según la IUPAC

Figura 14.1: Clasificación de las isotermas según la IUPAC



Fuente: (Martín, 1990)

ANEXO 15

15.1 Aceite de maní en Nicaragua

Figura 15.1 Aceite de maní en Nicaragua



Fuente: (El Nuevo Diario, 2013)

ANEXO 16

16.1 Determinación de humedad de la cáscara de naranja valencia (método 925.09 A.O.A.C)

Materiales

- Estufa
- Balanza analítica
- Desecador
- Crisol
- Pinzas de crisol
- Malla 10 (2000 µm)

Análisis experimental

Se pesa el crisol en una balanza analítica y se registra el dato CV

Triturar la cáscara de naranja hasta alcanzar un tamaño de malla N°10 (2000 µm)

Adicionar 2g de muestra al crisol y pesar en la balanza analítica, registrar el dato CM1

Regular la temperatura de la estufa a 105°C.

Utilizando unas pinzas colocar el crisol en el horno durante un período de 3 horas

Utilizando unas pinzas transferir el crisol a un desecador (con desecante en el fondo) hasta que alcancen la temperatura ambiente

Pesar el crisol en una balanza analítica y registrar el dato CM2

Cálculos

$$\%Humedad = \frac{CM2 - CV}{CM1 - CV} * 100\%$$

Dónde:

CM1= Cápsula con muestra 1

CM2= Cápsula con muestra 2

CV= Cápsula vacía

ANEXO 17

17.1 Determinación del contenido de materia volátil en la cáscara de naranja valencia

Materiales

- Mufla
- Balanza analítica
- Desecador
- Crisol
- Pinzas

Para la determinación de contenido de volátiles, cenizas y carbón fijo se emplea la metodología propuesta por el Council for mineral Technology (1987).

Calentar un crisol por 30 minutos en una mufla a 950°C, transcurrido este tiempo apagarla y esperar a que baje la temperatura a 150 °C.

Abrir la mufla y con ayuda de las pinzas retirar los crisoles y colocarlos en el desecador hasta temperatura ambiente.

Se pesa el crisol con su tapa en la balanza analítica y se anota el peso registrado CV.

Se procede a pesar de 1 gramo de muestra CM1.

Se introduce el crisol con su tapa en la mufla a 950°C por 7 minutos, transcurrido este tiempo apagarla y esperar a que baje la temperatura a 150 °C.

Sacar el crisol de la mufla con ayuda de las pinzas. Enfriar en el desecador hasta la temperatura ambiente y pesar en un tiempo no mayor de 2 minutos.

Pesar el crisol con la muestra y su tapa para obtener la cantidad de volátiles CM2.

$$\% \text{ Materia volátil} = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} * 100\%$$

Dónde:

C1: Masa del crisol vacío con su tapa en gramos

C2: Masa del crisol con su tapa y la muestra en gramos

C3: Masa del crisol con su tapa y la muestra seca en gramos

ANEXO 18

18.1 Determinación de cenizas en la cáscara de naranja valencia (método 923.03 A.O.A.C)

Materiales

- Mufla
- Balanza analítica
- Desecador
- Crisol
- Pinzas
- Mechero

Análisis experimental

Colocar un crisol limpio y seco por una hora en mufla a $525^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$

Sacar de la mufla utilizando unas pinzas y llevar a enfriar en un desecador a temperatura ambiente

Pesar el crisol en una balanza analítica y registrar dato como C1

Pesar 2g de muestra previamente homogenizada, registrar como C2

Precalcinar la muestra en un mechero evitando que se inflame, luego colocar en la mufla a $525^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ por 2 horas hasta que las cenizas se tornen blancas o grisáceas.

Preenfriar en la mufla apagada hasta que alcance una temperatura de 105°C .

Utilizando unas pinzas transferir el crisol a un desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente

Pesar el crisol en una balanza analítica y registrar el dato como C3

Cálculos

$$\% \text{Cenizas} = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} * 100\%$$

Dónde:

C1: Masa del crisol vacío en gramos

C2: Masa del crisol con la muestra en gramos

C3: Masa del crisol con las cenizas en gramos

ANEXO 19

19.1 Determinación de carbón fijo en cáscara de naranja valencia (ASTM D-3172)

El carbono fijo es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido. Se encuentra en el residuo de coque que queda en el crisol luego de determinadas las materias volátiles. Si a este residuo se le restan las cenizas se obtiene el carbono fijo, por lo que generalmente el porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, sino por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles.

$$CF = 100\% - (\%MV + \%CC)$$

Dónde:

%CF= Porcentaje de Carbono fijo

%MV: Porcentaje de Materia volátil

%CC: Porcentaje de Contenido de cenizas

ANEXO 20

20.1. Método de prueba estándar para la determinación de índice de yodo del carbón activado (ASTM D4607-14)



Designation: D4607 – 14

Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D4607; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative activation level of unused or reactivated carbons by adsorption of iodine from aqueous solution. The amount of iodine absorbed (in milligrams) by 1 g of carbon using test conditions listed herein is called the iodine number.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 7.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- C819 Test Method for Specific Surface Area of Carbon or Graphite (Withdrawn 1987)³
- D1193 Specification for Reagent Water
- D2652 Terminology Relating to Activated Carbon
- D2867 Test Methods for Moisture in Activated Carbon
- D3860 Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique
- E11 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E287 Specification for Laboratory Glass Graduated Burets
- E288 Specification for Laboratory Glass Volumetric Flasks
- E300 Practice for Sampling Industrial Chemicals

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.02 on Liquid Phase Evaluation.

Current edition approved March 1, 2014. Published May 2014. Originally approved in 1986. Last previous edition approved in 2006 as D4607 – 94 (Reapproved 2011). DOI: 10.1520/D4607-14.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

2.2 *NIST Publication:*

Circular 602—Testing of Glass Volumetric Apparatus⁴

3. Summary of Test Method

3.1 This test method is based upon a three-point adsorption isotherm (see Practices D3860). A standard iodine solution is treated with three different weights of activated carbon under specified conditions. The carbon treated solutions are filtered to separate the carbon from the treated iodine solution (filtrate). Iodine remaining in the filtrate is measured by titration. The amount of iodine removed per gram of carbon is determined for each carbon dosage and the resulting data used to plot an adsorption isotherm. The amount of iodine adsorbed (in milligrams) per gram of carbon at a residual iodine concentration of 0.02 *N* is reported as the iodine number.

3.2 Iodine concentration in the standard solution affects the capacity of an activated carbon for iodine adsorption. Therefore, the normality of the standard iodine solution must be maintained at a constant value ($0.100 \pm 0.001 N$) for all iodine number measurements.

3.3 The apparatus required consists of various laboratory glassware used to prepare solutions and contact carbon with the standard iodine solution. Filtration and titration equipment are also required.

4. Significance and Use

4.1 The iodine number is a relative indicator of porosity in an activated carbon. It does not necessarily provide a measure of the carbon's ability to absorb other species. Iodine number may be used as an approximation of surface area for some types of activated carbons (see Test Method C819). However, it must be realized that any relationship between surface area and iodine number cannot be generalized. It varies with changes in carbon raw material, processing conditions, and pore volume distribution (see Definitions D2652).

4.2 The presence of adsorbed volatiles, sulfur; and water extractables may affect the measured iodine number of an activated carbon.

⁴ Available from National Institute of Standards and Technology (NIST), 100 Bureau Dr., Stop 1070, Gaithersburg, MD 20899-1070, http://www.nist.gov.



5. Apparatus

NOTE 1—All volumetric measuring equipment should meet or exceed the requirements of NIST Circular 602. Volumetric glassware meeting these specifications is generally designated as “Class A”. See also Specifications E287 and E288.

- 5.1 *Analytical Balance*, accuracy ± 0.0001 g.
- 5.2 *Buret*, 10-mL capacity or 5-mL precision buret.
- 5.3 *Flasks*, Erlenmeyer 250-mL capacity with ground glass stoppers.
- 5.4 *Flask*, Erlenmeyer wide-mouthed, 250-mL capacity.
- 5.5 *Beakers*, assorted sizes.
- 5.6 *Bottles*, amber, for storage of iodine and thiosulfate solutions.
- 5.7 *Funnels*, 100-mm top inside diameter.
- 5.8 *Filter Paper*, 18.5-cm prefolded paper, Whatman No. 2V or equivalent.
- 5.9 *Pipets*, volumetric type, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, and 100.0-mL capacity.
- 5.10 *Volumetric Flasks*, 1 L.
- 5.11 *Graduated Cylinders*, 100 mL and 500 mL.

6. Reagents

6.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁵ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

6.2 *Purity of Water*—References to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D1193 for Type II reagent water.

- 6.3 *Hydrochloric Acid*, concentrated.
- 6.4 *Sodium Thiosulfate*, ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).
- 6.5 *Iodine*, United States Pharmacopeia, resublimed crystals.
- 6.6 *Potassium Iodide*.
- 6.7 *Potassium Iodate*, primary standard.
- 6.8 *Starch*, soluble potato or arrowroot.
- 6.9 *Sodium Carbonate*.

7. Hazards

7.1 Several potential hazards are associated with conducting this test procedure. It is not the purpose of this standard to address all potential health and safety hazards encountered with its use. The user is responsible for establishing appropriate

health and safety practices before use of this test procedure. Determine the applicability of federal and state regulations before attempting to use this test method.

7.2 Personnel conducting the iodine number procedure should be aware of potential safety and health hazards associated with the chemicals used in this procedure. The “Material Safety Data Sheet” (MSDS) for each reagent listed in Section 6 should be read and understood. Special precautions to be taken during use of each reagent are included on the “Material Safety Data Sheet” (MSDS). First aid procedures for contact with a chemical are also listed on its “MSDS.” A “Material Safety Data Sheet” for each reagent may be obtained from the manufacturer. Other safety and health hazard information on reagents used in this procedure is available.^{6,7,8}

7.3 Careful handling and good laboratory technique should always be used when working with chemicals. Avoid contact with hydrochloric acid or acid vapor. Care should also be taken to prevent burns during heating of various solutions during this test procedure.

7.4 The user of this test method should comply with federal, state, and local regulations for safe disposal of all samples and reagents used.

8. Preparation of Solutions

8.1 *Hydrochloric Acid Solution* (5% by weight)—Add 70 mL of concentrated hydrochloric acid to 550 mL of distilled water and mix well. A graduated cylinder may be used for measurement of volume.

8.2 *Sodium Thiosulfate* (0.100 N)—Dissolve 24.820 g of sodium thiosulfate in approximately 75 \pm 25 mL of freshly boiled distilled water. Add 0.10 \pm 0.01 g of sodium carbonate to minimize bacterial decomposition of the thiosulfate solution. Quantitatively transfer the mixture to a 1-L volumetric flask and dilute to the mark. Allow the solution to stand at least 4 days before standardizing. The solution should be stored in an amber bottle.

8.3 *Standard Iodine Solution* (0.100 \pm 0.001 N)—Weigh 12.700 g of iodine and 19.100 g of potassium iodide (KI) into a beaker. Mix the dry iodine and potassium iodide. Add 2 to 5 mL of water to the beaker and stir well. Continue adding small increments of water (approximately 5 mL each) while stirring until the total volume is 50 to 60 mL. Allow the solution to stand a minimum of 4 h to ensure that all crystals are thoroughly dissolved. Occasional stirring during this 4-h period will aid in the dissolution. Quantitatively transfer to a 1-L volumetric flask and fill to the mark with distilled water. It is important that the standard iodine solution has an iodide-to-iodine weight ratio of 1.5 to 1. Store the solution in an amber bottle.

⁶ The “Chemical Safety Data Sheet” for the subject chemical is available from the Manufacturing Chemists Association, Washington, DC.

⁷ Sax, N. I. *Dangerous Properties of Industrial Materials*, 4th edition, 1975, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY.

⁸ *NIOSH/OSHA Pocket Guide to Chemical Hazards*, 1978, U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC. Available from U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

⁵ “Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications,” Am. Chemical Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see “Reagent Chemicals and Standards,” by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the “United States Pharmacopeia.”

 D4607 – 14

8.4 *Potassium Iodate Solution (0.1000 N)*—Dry 4 or more grams of primary standard grade potassium iodate (KIO_3) at $110 \pm 5^\circ\text{C}$ for 2 h and cool to room temperature in a desiccator. Dissolve 3.5667 ± 0.1 mg of the dry potassium iodate in about 100 mL of distilled water. Quantitatively transfer to a 1-L volumetric flask and fill to the mark with distilled water. Mix thoroughly and store in a glass-stoppered bottle.

8.5 *Starch Solution*—Mix 1.0 ± 0.5 g of starch with 5 to 10 mL of cold water to make a paste. Add an additional 25 ± 5 mL of water while stirring to the starch paste. Pour the mixture, while stirring, into 1 L of boiling water and boil for 4 to 5 min. This solution should be made fresh daily.

9. Standardization of Solutions

9.1 *Standardization of 0.100 N Sodium Thiosulfate*—Pipet 25.0 mL of potassium iodate (KIO_3) solution from 8.4 into a 250-mL titration (or wide-mouthed Erlenmeyer) flask. Add 2.00 ± 0.01 g of potassium iodide (KI) to the flask and shake the flask to dissolve the potassium iodide crystals. Pipet 5.0 mL of concentrated hydrochloric acid into the flask. Titrate the free iodine with sodium thiosulfate solution until a light yellow color is observed in the flask. Add a few drops of starch indicator (8.5) and continue the titration dropwise until one drop produces a colorless solution. Determine sodium thiosulfate normality as follows:

$$N_1 = (P \cdot R) / S \quad (1)$$

where:

- N_1 = sodium thiosulfate, N,
- P = potassium iodate, mL,
- R = potassium iodate, N, and
- S = sodium thiosulfate, mL.

The titration step should be done in triplicate and the normality results averaged. Additional replications should be done if the range of values exceeds 0.003 N.

9.2 *Standardization of 0.100 ± 0.001 N Iodine Solution*—Pipet 25.0 mL of iodine solution (8.3) into a 250-mL wide-mouthed Erlenmeyer flask. Titrate with standardized sodium thiosulfate (9.1) until the iodine solution is a light yellow color. Add a few drops of starch indicator and continue titration dropwise until one drop produces a colorless solution. Determine the iodine solution normality as follows:

$$N_2 = (S \cdot N_1) / I \quad (2)$$

where:

- N_2 = iodine, N,
- S = sodium thiosulfate, mL,
- N_1 = sodium thiosulfate, N, and
- I = iodine, mL.

The titration step should be done in triplicate and the normality results averaged. Additional replications should be done if the range of values exceeds 0.003 N. The iodine solution concentration must be 0.100 ± 0.001 N. If this requirement is not met, repeat 8.3 and 9.2.

10. Procedure

10.1 The procedure applies to either powdered or granular activated carbon. When granular carbon is to be tested, grind a representative sample (see Practice E300) of carbon until 60 wt % (or more will pass through a 325-mesh screen) and 95 wt % or more will pass through a 100-mesh screen (U.S. sieve series, see Specification E11). Carbon received in the powdered form may need additional grinding to meet the particle size requirement given above.

10.2 Dry the ground carbon from 10.1 in accordance with Test Method D2867. Cool the dry carbon to room temperature in a desiccator.

10.3 Determination of iodine number requires an estimation of three carbon dosages. Section 11.4 describes how to estimate the carbon dosages to be used. After estimating carbon dosages, weigh three appropriate amounts of dry carbon to the nearest milligram. Transfer each weighed sample of carbon to a clean, dry 250-mL Erlenmeyer flask equipped with a ground glass stopper.

10.4 Pipet 10.0 mL of 5 wt % hydrochloric acid solution into each flask containing carbon. Stopper each flask and swirl gently until the carbon is completely wetted. Loosen the stoppers to vent the flasks, place on a hot plate in a fume hood, and bring the contents to a boil. Allow to boil gently for 30 ± 2 s to remove any sulfur which may interfere with the test results. Remove the flasks from the hot plate and cool to room temperature.

10.5 Pipet 100.0 mL of 0.100 N iodine solution into each flask. Standardize the iodine solution just prior to use. Stagger the addition of iodine to the three flasks so that no delays are encountered in handling. Immediately stopper the flasks, and shake the contents vigorously for 30 ± 1 s. Quickly filter each mixture by gravity through one sheet of folded filter paper (Whatman No. 2V or equivalent) into a beaker. Filtration equipment must be prepared in advance so no delay is encountered in filtering the samples.

10.6 For each filtrate, use the first 20 to 30 mL to rinse a pipet. Discard the rinse portions. Use clean beakers to collect the remaining filtrates. Mix each filtrate by swirling the beaker and pipet 50.0 mL of each filtrate into a clean 250-mL Erlenmeyer flask. Titrate each filtrate with standardized 0.100 N sodium thiosulfate solution until the solution is a pale yellow. Add 2 mL of the starch indicator solution and continue the titration with sodium thiosulfate until one drop produces a colorless solution. Record the volume of sodium thiosulfate used.

11. Calculation

11.1 The capacity of a carbon for any adsorbate is dependent upon the concentration of the adsorbate in solution. The concentrations of the standard iodine solution and filtrates must be specified or known. This is necessary to determine an appropriate carbon weight to produce final concentrations agreeing with the definition of iodine number. The amount of carbon sample to be used in the determination is governed by the activity of the carbon. If filtrate normalities (C) are not

D4607 - 14

within the range of 0.008 *N* to 0.040 *N*, repeat the procedure using different carbon weights.

11.2 Two calculations are required for each carbon dosage, as *X/M* and *C*.

11.2.1 To calculate the value of *X/M*, first derive the following values:

$$A = (N_2) (12693.0)$$

where:

*N*₂ = iodine, *N* (from 9.2).

$$B = (N_1) (126.93) \quad (4)$$

where:

*N*₁ = sodium thiosulfate, *N* (from 9.1).

$$DF = (I+H)/F \quad (5)$$

where:

- DF* = dilution factor,
- I* = iodine, mL (from 10.5),
- H* = 5 % hydrochloric acid used, mL, and
- F* = filtrate, mL.

For example, if 10 mL of HCl and 50 mL of filtrate are used:
 $DF = (100 + 10)/50 = 2.2$.

11.2.1.1 Calculate the value of *X/M* as follows:

$$X/M = [A - (DF) (B) (S)]/M$$

where:

- X/M* = iodine absorbed per gram of carbon, mg/g,
- S* = sodium thiosulfate, mL, and
- M* = carbon used, g.

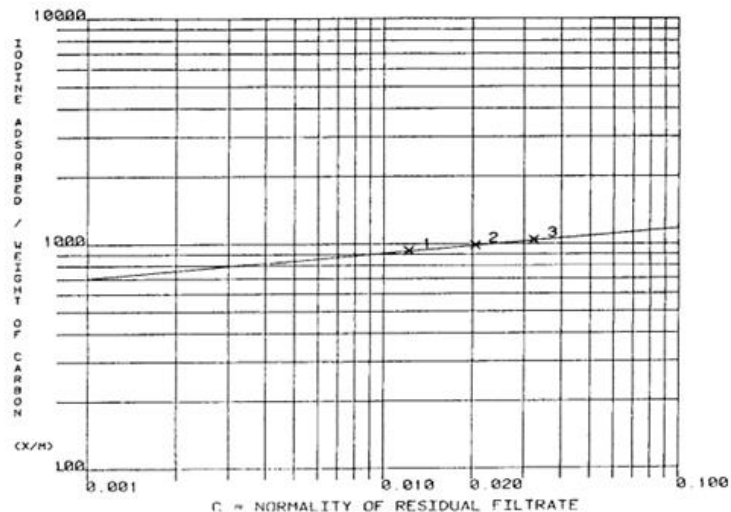
11.2.2 Calculate the value of *C* as follows:

$$C = (N_1 \cdot S)/F \quad (7)$$

where:

- C* = residual filtrate, *N*,
- N*₁ = sodium thiosulfate, *N*, and
- F* = filtrate, mL.

11.3 Using logarithmic paper, plot *X/M* (as the ordinate) versus *C* (as the abscissa) for each of the three carbon dosages (see Fig. 1). Calculate the least squares fit for the three points and plot. The iodine number is the *X/M* value at a residual



LAB NO. 4 OCT '83-3
 TDB NO. 604 PAGE 22
 TECH. PRP

POINT 1		
X/M	-	932
C	-	0.012
POINT 2		
X/M	-	984
C	-	0.020
POINT 3		
X/M	-	1040
C	-	0.032
IODINE NO.	-	964
SLOPE	-	0.111
CORR. COEF.	-	0.999

FIG. 1 Activated Carbon Iodine Adsorption Isotherm



D4607 – 14

iodine concentration (C) of 0.02 N . The regression coefficient for the least squares fit should be greater than 0.995.

11.4 Carbon dosage may be estimated as follows:

$$M = [A - (DF)(C)(126.93)(50)]/E \quad (8)$$

where:

- M = carbon, g,
- A = (N_2) (12693.0),
- DF = dilution factor (see 11.2.1),
- C = residual iodine, and
- E = estimated iodine number of the carbon.

Three carbon dosages are calculated using three values of C (usually 0.01, 0.02, and 0.03).

12. Report

12.1 The reports should include the following:

12.1.1 Complete identification of the sample, including source, manufacturer's lot number, and carbon type.

12.1.2 The iodine number adsorption isotherm, the iodine value with a 95 % confidence limit for the determination.

13. Precision and Bias⁹

13.1 Interlaboratory precision for this test method was determined by a round robin in which six laboratories partici-

pated. Activated carbon made from five different raw materials was used in the round robin.

13.2 The following criteria should be used in determining the acceptability of the results:

13.2.1 *Repeatability (Within Laboratories)*—Precision of this test method in the determination of iodine number of activated carbons ranging from 600 to 1450 iodine number is ± 5.6 % of the average value measured in milligrams iodine absorbed per gram of carbon. This range corresponds to 2 S , or the 95 % confidence limits, as defined in Practice E177. If two results determined in the same laboratory differ by more than 5.6 %, they should be considered suspect.

13.2.2 *Reproducibility (Between Laboratories)*—The between laboratory precision of this test method in the determination of iodine number of activated carbons ranging from 600 to 1450 iodine number, is ± 10.2 % of the average value, as measured in milligrams of iodine absorbed per gram of carbon. This range corresponds to 2 S or the 95 % confidence limits, as defined in Practice E177. Results obtained by two different laboratories which differ by more than 10.2 % should be considered suspect.

⁹ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D28-1001.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).

21.1 Práctica estándar para la determinación de la capacidad de adsorción de carbón activado por isoterma en fase acuosa (ASTM D3860-98/2014).



Designation: D3860 – 98 (Reapproved 2014)

Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique¹

This standard is issued under the fixed designation D3860; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the determination of the adsorptive capacity of activated carbon to remove undesirable constituents from water and waste water. It can be used to evaluate the adsorptive capacity of activated or reactivated carbon.

1.2 This practice is not recommended unless special precautions are taken to reduce loss during sample preparation and analysis.

1.3 This practice is recommended to determine the adsorptive capacity of activated carbon for the following applications, but is not limited to these applications:

- 1.3.1 Removal of color from dye mill waste water,
- 1.3.2 Removal of taste or odor constituents, or both, from potable waters,
- 1.3.3 Removal of toxicants from water,
- 1.3.4 Removal of surface active agents from water,
- 1.3.5 Removal of BOD₅ from sanitary waste waters, and
- 1.3.6 Removal of TOC from industrial waste waters.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.5 The following safety caveat applies to the procedure section of this practice: *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*.²
 - D1129 Terminology Relating to Water

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.02 on Liquid Phase Evaluation.

Current edition approved July 1, 2014. Published September 2014. Originally approved in 1979. Last previous edition approved in 2008 as D3860 – 98 (2008). DOI: 10.1520/D3860-98R14.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- D1193 Specification for Reagent Water
- D3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits
- D2652 Terminology Relating to Activated Carbon
- D2867 Test Methods for Moisture in Activated Carbon
- E300 Practice for Sampling Industrial Chemicals

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of terms used in this practice relating to activated carbon, refer to Terminology D2652.

3.1.2 For definition of terms used in this practice relating to water, refer to Terminology D1129.

4. Summary of Practice

4.1 This practice consists of the determination of the adsorptive capacity of activated carbon for adsorbable constituents by contacting the aqueous solution with activated carbon, determining the amount of the constituents removed, and calculating the adsorptive capacity from a Freundlich isotherm plot.

4.1.1 Sample weights of activated carbon may have to be adjusted, depending on the concentration of adsorbable constituents in the water.


5. Significance and Use

5.1 This practice is used when activated carbon is considered as an adsorbent in treating water. Since both granular and powdered activated carbons are commercially available, a standard practice is needed to ensure that the activated carbons are evaluated under the same test conditions. Specified particle size carbon is to be used to ensure that the same test conditions are used. The practice is generally performed at 20°C; however, other temperatures may be used and noted.

6. Interferences

6.1 The water sample must not contain any immiscible oil.

6.2 Generally, membrane filters contain a slight amount of leachable surfactants and wetting agents that might be a source of detectable error in waters having low concentrations of adsorbable constituents.

 D3860 – 98 (2014)

7. Apparatus

7.1 *Agitator*, able to keep slurried activated carbon in suspension.

NOTE 1—A wrist-action shaker or a magnetic stirrer is suitable as an agitator.

7.2 *Grinding mill*, capable of grinding material so that 95 % passes through a 325-mesh sieve.

7.3 *Vacuum or pressure-filtration apparatus*.

7.4 *Membrane filters*, 0.40 to 0.45 μm .

7.5 *Erlenmeyer flasks*, glass stoppered, 500-mL and 1000-mL capacity.

7.6 *Analytical balance*, capable of weighing to the nearest 0.1 mg.

7.7 *Oven*, forced-air circulation, capable of temperature regulation between 145 and 155°C.

7.8 *Constant temperature water bath*, capable of temperature regulation of $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

7.9 *Pipet*, 100-mL.

8. Sampling

8.1 Sample activated carbon that has been sampled according to Practice E300 and reduced in particle size so that 95 % passes through a U.S. 325-mesh sieve by wet screening or equivalent, and oven-dried according to Test Method D2867 (3 hours at 150°C is usually sufficient).

8.2 Collect water samples in accordance with Practices D3370.

9. Procedure

9.1 Table 1 is a suggested list of the activated carbon weights and solution sample volumes to be used for the expected concentrations of adsorbable constituents. Suggested carbon weights or solution sample volumes should be adjusted to obtain a maximum of 85 % adsorbate removal and a minimum of 10 % adsorbate removal.

9.2 For water containing >10 mg/L adsorbable constituents, pipet aliquots of 100 mL each into 500-mL glass-stoppered Erlenmeyer flasks. For water containing ≤ 10 mg/L, measure 500-mL aliquots into 1000-mL glass-stoppered Erlenmeyer flasks.

9.3 Add to the containers the appropriate amount of pulverized activated carbon corrected to dry basis (Table 1) in regular

intervals to allow time for filtration. Generally, a 5-min interval is adequate. Use one flask without activated carbon for a control sample.

9.4 After the addition of each activated carbon sample, swirl the flask to wet the carbon. Stopper the flask and place on the agitator. Record the time.

9.5 Allow each flask to shake or agitate for 2 h in a water bath at the desired temperature. Two hours contact time is normally sufficient to achieve steady state. However, a contact time study should be performed to verify that steady state is achieved (see 4.1).

9.6 After 2 h, immediately filter each test and control samples through separate new 0.40 to 0.45- μm membrane filters.

NOTE 2—If the water sample contains volatile constituents, use pressure filtration with nitrogen gas to reduce loss.

NOTE 3—It is recommended that each membrane filter be rinsed with 500 mL of reagent grade Type II water (Specification D1193) prior to filtration.

9.7 Immediately analyze the filtrates for the specific constituent of interest and record the results along with the corresponding carbon weight.

10. Calculation

10.1 Determine the amount of constituent adsorbed, X , as follows:

$$X = C_o V - CV$$

where:

- X = amount of constituent adsorbed, mg,
- C_o = concentration of constituents before carbon treatment, mg/L,
- C = concentration of constituents after carbon treatment, mg/L, and
- V = volume of sample, L.

10.2 Determine the amount of constituent adsorbed per unit weight of carbon, X/M , as follows:

$$X/M = \frac{(C_o V - CV)}{M}$$

where:

- M = weight of carbon, g,
- X = amount of constituent adsorbed, mg,
- X/M = constituent adsorbed per unit weight of carbon, mg/g,
- C_o = concentration of constituents before carbon treatment, mg/L,
- C = concentration of constituents after carbon treatment, mg/L, and
- V = volume of sample, L.

11. Report

11.1 See Table 2 for the recommended format for data reporting.

11.2 *Plotting of Data:*

11.2.1 Use three-cycle log/log paper and plot concentration remaining in mg/L on the abscissa and X/M on the ordinate, and then connect the points. See Fig. 1.

TABLE 1 Solution Sample Volumes and Carbon Weights for Determining Adsorbable Constituents

Concentration of Adsorbable Constituents, mg/L	Solution Sample Volume, mL	Suggested Carbon Weights (Dry Basis)
≤ 10	500	1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 25.0, and 50.0 mg
>10; 100	100	0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20, 0.40, 1.0, 2.0, and 4.0 g
>100	100	0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, and 10.0 g

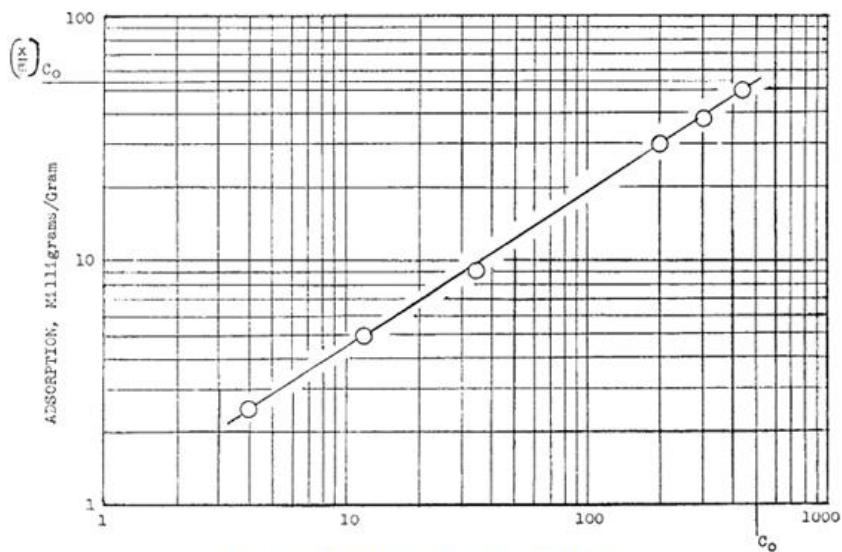
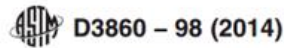


FIG. 1 Plotting of Data Concentration (C) mg/L

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

22.1 Índice de azul de metileno

Reactivos

- Agua destilada
- CH₃COOH 0.25% v/v (Ácido acético)
- HCL 0.1M (Ácido clorhídrico)
- NaOH 0.1M (Hidróxido de sodio)
- Azul de metileno grado analítico JT Baker

Materiales

- Papel filtro No. 40 Whatman
- Cinta pH o pH-metro
- Horno
- Agitador vórtex
- Espátula 2
- Desecador
- Pipeta graduada de 5, 10
- Beaker de 25mL 5
- Embudo 5
- Crisol 9
- Matraz aforado de 1L 1
- Matraz aforado de 100mL 1
- Matraz aforado de 50mL 1
- Matraz aforado de 25mL 12 (6 para los estándares)

Curva de calibración de una solución de azul de metileno

- a. Se prepara un blanco de agua destilada de 50mL y una serie de estándares de A.M. de 20mL en concentraciones variables de (10-200) mg/L a 273K
- b. Se enciende el espectrofotómetro 15 min antes de ser usado, posteriormente se selecciona el modo, la longitud de onda y se lee el blanco.
- c. Se transfiere la muestra a la celda y se lee la absorbancia a 668nm y se repite este paso hasta terminar las muestras.
- d. Hacer una gráfica con los valores de la curva de calibración.

Preparación de azul de metileno.

1. Disolver 1.2g de azul de metileno puro (grado analítico) en 100mL de H₂O destilada.
2. Dejar la solución en reposo por 3 horas
3. Utilizando una pipeta graduada tomar una alícuota de 5mL y Diluirla a 1L con CH₃COOH 0.25% v/v en un matraz aforado.
4. Medir la absorbancia a 668nm en un espectrofotómetro UV/VIS
5. Diluir 5mL de la solución en 20mL de H₂O destilada, la cual se denominará solución A

Pretratamiento del carbón activado

1. Pesar 2 gramos de carbón activo en una balanza analítica
2. Secar en una mufla la muestra de carbón activo a 383K durante 24h
3. Enfriar en un desecador por 1h

Decoloración de la solución de azul de metileno: Isotermas desde solución acuosa

1. Sumergir 0.1g de carbón activado pre-tratado en 25mL de solución A
2. Agitar constantemente (1000 rpm) por 15 minutos.
3. Utilizando un papel filtro whatman N°40 y un embudo filtrar la muestra por gravedad en un beaker de 30 mL.
4. Ajustar el pH a 7 con HCl o NaOH 0.1M utilizando cinta pH o pHmetro
5. Medir la absorbancia a 695.5nm en un espectrofotómetro UV/VIS

La masa adsorbida en el carbón es calculada según:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m}$$

Donde C_o y C_e , son las concentraciones del colorante (mg/L) al inicio y en el equilibrio respectivamente, V : volumen de la solución acuosa (L), m : masa del carbón activado usado (Padrón, Rodríguez y Gómez, 2013)^{2,3}

ANEXO 23

23.1 Índice de ácido acético para la determinación del tipo de poro

Materiales

- 12 embudos de filtración rápida
- 1 soporte universal para embudos
- 1 Bureta de 50 ml
- 12 Matraz volumétrico de 50 ml
- 1 Matraz volumétrico de 500 ml
- 1 Pinzas para bureta
- 1 pipeta volumétrica de 10 ml
- 1 soporte universal
- Papel filtro
- 12 matraces Erlenmeyer de 125 ml
- 12 tapones de hule No. 4
- Ácido acético 0.4 M 300 ml
- Hidróxido de sodio 0.1 M
- Disolución indicadora de Fenolftaleína

² http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100030

³ <http://monografias.umcc.cu/monos/2013/Facultad%20de%20Ingenierias/mo13253.pdf>

- Agitador magnético 12

Procedimiento experimental

Preparar una solución madre de ácido acético a una concentración de 0.4 M

Partiendo de la solución madre, preparar doce soluciones de ácido acético a diferentes concentraciones en cada uno de los matraces con 1 g de carbón activado en polvo.

Las soluciones se muestran a continuación

Tabla 23.1: Soluciones de ácido acético

Matraz	Ácido acético (mL)	Agua (mL)	[CH ₃ COOH] M
1	50	0	0.3943
2	45	5	0.3548
3	40	10	0.3154
4	35	15	0.2760
5	30	20	0.2365
6	25	25	0.1971
7	20	30	0.1577
8	15	35	0.1183
9	7.5	42.5	0.0591
10	4	46	0.0315
11	3	47	0.0237
12	2	48	0.0158

a) Colocar las soluciones en un agitador magnético y agitar durante tres horas aproximadamente.

b) Una vez agitadas, filtrar las soluciones con los embudos y papel filtro en los matraces Erlenmeyer.

f) Para el análisis de dicho filtrado, titular cada uno de ellos usando fenolftaleína como indicador e Hidróxido de sodio 0.1 M como base

g) Anotar los mililitros gastados de base para cada titulación en la siguiente tabla.

Nota: Los cálculos aplicados están en el anexo 36

Tabla 23.2: Mililitros de hidróxido de sodio gastados en cada titulación y concentración de ácido acético.

N	NaOH(mL)	[CH ₃ COOH] M
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Cálculos

C= Concentraciones de las soluciones de ácido acético en equilibrio

X= moles adsorbidos por gramo de carbón

L_{sol}= Litros de solución 0.05

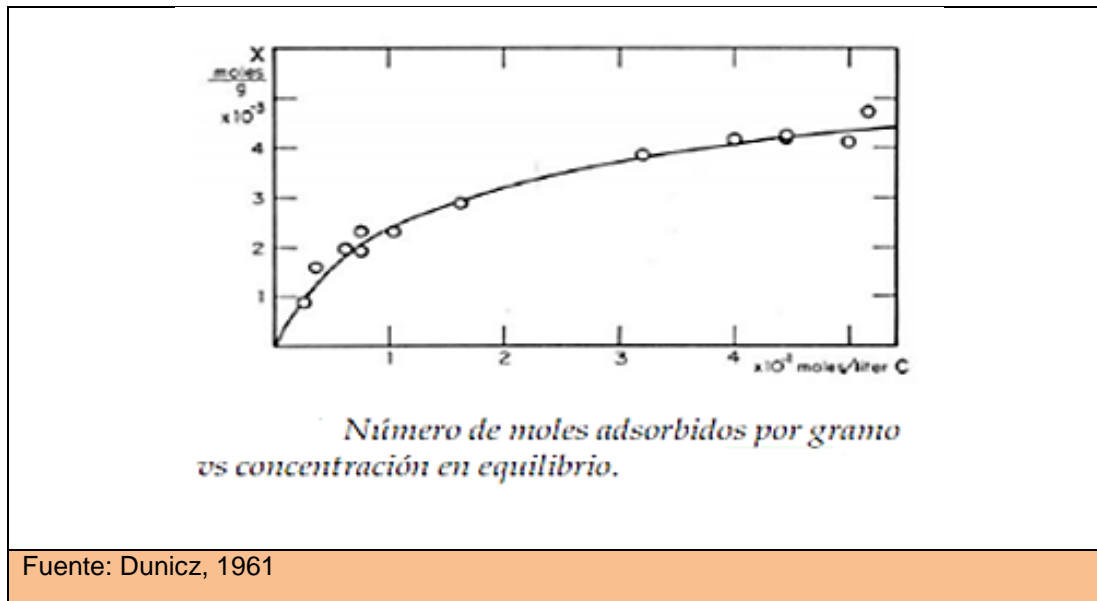
$$C = \frac{\text{mL de NaOH gastado}}{\text{mL de solución}} \times [\text{NaOH}]$$

$$X = ([\text{CH}_3\text{COOH}] - M_n)(L_{\text{sol}})$$

Tabla 23.3: Concentraciones en equilibrio de ácido acético, moles adsorbidos por gramo de carbón y cociente entre ellos.

N	C	X	C / X
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Gráfica 23.1 Datos de X y C en una regresión lineal con MATLAB® (MINITAB).



Mediante el uso de una regresión lineal [Itodo et al, 2011], la isoterma de Langmuir está expresada como:

$$\frac{C}{X} = a + bc \quad \text{ec.1}$$

C= Concentración de la solución de ácido acético dada en moles/litro

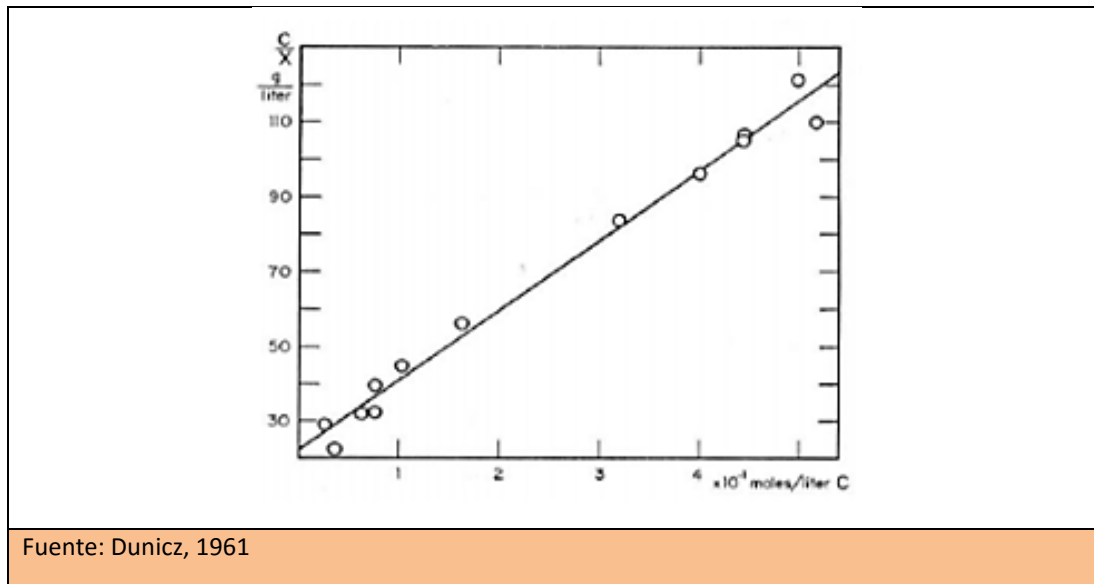
X= Es el número de moles de ácido acético adsorbidos por un gramo de carbón (moles/g)

a= Es una constante experimental dada en g/litro

b= Es otra constante experimental dada en g/mol

Ahora con el cociente de X/C graficando con respecto a la concentración en equilibrio, se obtendrá un gráfica similar a la mostrada en la gráfica 23.2.

Gráfica 23.2 Isoterma de Langmuir de ácido acético adsorbido.



De la gráfica 23.2 será de donde obtendrán los datos más significativos: El intersección con el eje 'y' y la pendiente de la gráfica.

$$\text{Pendiente} = \frac{1}{X} \quad \text{ec.2}$$

$$\text{Intersección} = \frac{1}{Xb} \quad \text{ec.3}$$

Donde b es el coeficiente de adsorción. Una vez despejado X de la ecuación (2) podremos calcular el área superficial del carbón que está dada por la siguiente expresión:

$$S = \frac{N_A}{X} \sigma$$

Donde N_A es el número de Avogadro, X el número de moles por gramo y σ es el área superficial teórica de nuestro carbón, que en este caso es $21e^{-20} \text{ m}^2$. [Dunicz, 1961]^{4,5,6}

⁴ [Chen, 2015] Chen, X. (2015). Modeling of Experimental Adsorption Isotherm Data. pages 14–22

⁵ [Dunicz, 1961] Dunicz, B. L. (1961). Surface area of activated charcoal by Langmuir adsorption isotherm. Journal of Chemical Education, 38(7):357

⁶ [Itodo et al., 2011] Itodo, A., Itodo, H., and Gafar, M. (2011). Estimation of Specific Surface Area using Langmuir Isotherm Method.

24.1 Método de prueba estándar para Contenido Total de ceniza de carbón activado (ASTM D2866-11)



Designation: D2866 – 11

Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D2866; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes a procedure for the determination of total ash content of activated carbon.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- D2867 Test Methods for Moisture in Activated Carbon
- D7582 Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Summary of Test Method

3.1 An accurately weighed sample of dried activated carbon is placed in a controlled-temperature muffle furnace for a period of several hours. When constant weight has been achieved (± 0.5 mg), the crucible is cooled to ambient temperature in a desiccator and reweighed. The weight of the ashed carbon is expressed as a percentage of the weight of the original carbon sample.

4. Significance and Use

4.1 In specific end uses, the amount and composition of the ash may influence the capabilities and certain desired properties of activated carbon.

4.2 Other automated methods for determination of ash content, such as combusting the carbon in a thermogravimetric analyzer (TGA) in flowing air or oxygen, can be used in place of this test method. A suitable method is described in Test Method D7582. For determination of the ash content of activated carbon, follow the procedure in 13.5.3 of Test Method D7582 with the exception that the furnace temperature in 13.4.3 shall be $650 \pm 25^\circ\text{C}$. The muffle furnace method shall be considered the reference test method.

5. Apparatus

- 5.1 *Muffle Furnace*, having air circulation, capable of temperature regulation of $\pm 25^\circ\text{C}$ at 650°C .
- 5.2 *High-Temperature Crucible*, high-form.
- 5.3 *Analytical Balance*, having a sensitivity of 0.1 mg.
- 5.4 *Desiccator*.
- 5.5 *Oven*, forced-air circulation, capable of temperature regulation between 145 and 155°C .

6. Procedure

6.1 Ignite the crucible in the muffle furnace at $650 \pm 25^\circ\text{C}$ for 1 h. Place the crucible in the desiccator. Cool to room temperature and weigh to the nearest 0.1 mg.

6.2 Dry an adequate sample of activated carbon to constant weight (± 0.5 mg) at $150 \pm 5^\circ\text{C}$ (3 h is usually sufficient).

NOTE 1—Some carbons can ignite spontaneously at 150°C . In this case, moist carbon should be used with a correction for moisture (in accordance with Methods D2867) applied in the calculations. In this case, the ashing should be started in a cold muffle furnace.

6.3 Weigh out to the nearest 0.1 mg sufficient dried activated carbon, so that the estimated amount of ash will be 0.1 g, into the ignited crucible and place the crucible in the furnace at $650 \pm 25^\circ\text{C}$. Ashing will require from 3 to 16 h, depending on the size and type of activated carbon. Ashing can be considered complete when constant weight (± 0.5 mg) is achieved.

6.4 Place the crucible in the desiccator and allow to cool to room temperature. After the sample has cooled in the desiccator, admit air slowly to avoid loss of ash from the crucible. Weigh to the nearest 0.1 mg.

7. Calculation

7.1 Calculate the ash content as follows:

$$\text{Total ash, \%} = [(D - B)/(C - B)] \times 100 \quad (1)$$

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.04 on Gas Phase Evaluation Tests.

Current edition approved May 1, 2011. Published June 2011. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 2004 as D2866 – 94 (2004). DOI: 10.1520/D2866-11.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.



TABLE 1 Precision

Material	A	B	C
Average Test Value	7.74	1.88	4.61
95 % Repeatability Limit ^A (Within Laboratory)	0.27	0.22	0.22
95 % Reproducibility Limit ^A (Between Laboratories)	0.41	0.54	0.48

^A The terms *repeatability limit* and *reproducibility limit* are used in accordance with Practice E177. The respective standard deviations among test results may be obtained by dividing the above limit values by 2.8.

where:

B = weight of crucible, g,

C = weight of crucible plus original sample, g, and

D = weight of crucible plus ashed sample, g.

8. Precision and Bias ³

8.1 Precision:

³ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting RR: RR:D28-1004.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).

8.1.1 *Interlaboratory Test Program*—An interlaboratory study was run in which representative samples of three types of activated carbon (coconut-shell based (*A*), coal-based (*B*), and wood-based (*C*)) were tested for ash content by six laboratories with each laboratory making three observations of each activated carbon type over three days. Practice E691 was followed for the design and analysis of the data.

8.1.2 *Test Result*—The precision information given in Table 1 in units of measurement (percent minus weight ash content) is for the comparison of two test results, each of which is the average of three test determinations.

25.1 Método de prueba estándar para materias solubles en agua de carbón activado (ASTM D5029-98/2014).



Designation: D5029 – 98 (Reapproved 2014)

Standard Test Method for Water Solubles in Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D5029; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the water soluble content of (unused) granular and powdered activated carbons. Water solubles are materials that can be extracted by distilled water under reflux conditions and are expressed as a percentage of dry carbon weight.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- D1193 Specification for Reagent Water
- D2652 Terminology Relating to Activated Carbon
- D2867 Test Methods for Moisture in Activated Carbon
- D3838 Test Method for pH of Activated Carbon
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E300 Practice for Sampling Industrial Chemicals

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terms relating to this standard are defined in Terminology D2652.

4. Summary of Test Method

4.1 A known weight of activated carbon is placed into a reflux apparatus with Type II reagent water (see Specification D1193). The mixture is refluxed for 15 min under specified

conditions. This extraction is performed using the method and apparatus described in Test Method D3838. After extraction, the carbon is separated by filtration and an aliquot of the filtrate is evaporated to dryness. Water solubles are determined by weighing the dry residue and expressing the result as a percentage of the dry carbon weight.

5. Significance and Use

5.1 In certain applications, the ash, color, conductivity, or pH of the finished activated carbon product may be influenced by the quantity of water solubles it contains. This water solubles test provides a relative indication of the quantity of soluble materials that may be extracted from various activated carbons.

6. Apparatus and Materials

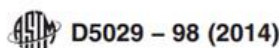
NOTE 1—All volumetric measuring equipment should meet or exceed the requirements of National Institute of Standards and Technology Circular 602, *Testing of Glass Volumetric Apparatus*, available from the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899. Volumetric glassware meeting these specifications is generally designated as Class A.

- 6.1 *Flask*, 250 mL with 24/40 ST (standard taper) neck.
- 6.2 *Condenser*, with 24/40 inner ST (standard taper) joint.
- 6.3 *Buchner Funnel*, 9 or 12.5 cm.
- 6.4 *Filter Paper, Ashless*, (~5 to 10 μ m particle retention).
- 6.5 *Glass or Porcelain Evaporating Dishes*, 100 mL capacity.
- 6.6 *Analytical Balance*, precision 0.1 mg.
- 6.7 *Drying Oven*.
- 6.8 *Desiccator*.
- 6.9 *Hot Plate*.
- 6.10 *Pipet*, 50 mL.
- 6.11 *Indicating Desiccant*.
- 6.12 *Water*, ASTM Type II or better, in accordance with Specification D1193, Type II.
- 6.13 *Thermometer*, approximately 20 to 55°C.
- 6.14 *Steam Bath*, optional.
- 6.15 *Beakers*, 250 mL.
- 6.16 *Graduated Cylinder*, 100 mL.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.02 on Liquid Phase Evaluation.

Current edition approved July 1, 2014. Published September 2014. Originally approved in 1989. Last previous edition approved in 2009 as D5029 – 98 (2009). DOI: 10.1520/D5029-98R14.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.



6.17 Laboratory Timer.

6.18 Filter Flasks, vacuum, 500 mL.

7. Sampling

7.1 Conducted sampling according to Practice E300.

8. Procedure

8.1 Determine the moisture content of the carbon in accordance with Test Method D2867.

8.2 Weigh a sample of carbon equivalent to 10.00 ± 0.01 g on a dry basis. Remove boiler flask from apparatus (see Boiler-Reflux Condenser Figure in Test Method D3838) and add carbon sample.

8.3 Bring approximately 110 mL of reagent water to a boil. Measure 100.0 ± 0.5 mL into a graduated cylinder while the water is hot. Add a small portion of the 100.0 ± 0.5 mL of water to wet the carbon. Wash down the sides of the flask with the remaining portion. Connect the flask to the condenser and place on a hot plate.

8.4 Bring the water to a gentle boil to ensure that no carbon splashes onto the side of the flask.

8.5 Boil gently for 900 ± 10 s.

8.6 Remove the flask from the hot plate and filter its contents immediately through the filter paper premoistened with the Type II water used for the test. Catch the filtrate in a 500-mL vacuum filter flask, being careful to prevent carbon fines from entering the filtrate.

8.7 Cool the filtrate to ambient temperature. (The pH may be measured on a portion of the filtrate.)

8.8 Dry the glass or porcelain evaporating dishes at $150 \pm 5^\circ\text{C}$ to a constant weight (± 0.1 mg). Evaporating dishes must be cooled to ambient temperature and stored in a desiccator between weighings. Weigh the dry evaporating dish to the nearest 0.1 mg and record.

8.9 Using a pipet, transfer a 50-mL aliquot of the filtrate to a tared glass or porcelain evaporating dish.

8.10 Evaporate the filtrate to dryness in an oven or on a steam bath until the liquid disappears. Avoid boiling to prevent loss of residue.

8.11 Dry the residue at $150 \pm 5^\circ\text{C}$ for a minimum of 1 h and ensure dryness to constant weight (± 0.1 mg). The evaporating dish containing the residue must be cooled to ambient temperature and stored in a desiccator between weighings. Weigh the evaporating dish and residue to the nearest 0.1 mg and record.

8.12 If the residue is less than 10 mg, repeat the procedure. Add the new aliquot during 8.9 to the evaporating dish containing residue from the previous aliquot.

8.13 Make two determinations on each carbon sample tested.

9. Calculation

9.1 The following equation is used for a general calculation of water solubles:

$$\text{Water Solubles, \%} = \frac{(B - A)(D)(100)}{(C)(E)} \quad (1)$$

where:

A = mass of evaporating dish, g.

B = mass of evaporating dish plus residue, g.

C = mass of carbon, g.

D = volume of water used in extraction, mL, and

E = volume of aliquot used, mL.

9.1.1 As an example, for extraction of one carbon sample, and evaporation of a 50-mL aliquot, the water solubles calculation is:

$$\text{Water Solubles, \%} = \frac{RW}{CW} \times 200$$

10. Report

10.1 Report the following:

10.1.1 Source of sample.

10.1.2 Type or designation of activated carbon.

10.1.3 Supplier name.

10.1.4 Supplier grade designation.

10.1.5 Supplier lot and batch number.

10.1.6 Moisture content in accordance with Test Method D2867.

10.1.7 Water solubles content.

10.1.8 Date of test.

10.1.9 Name and signature of technician performing test.

10.1.10 Name and signature of supervisor approving test.

11. Precision and Bias

11.1 Precision:

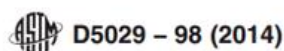
11.1.1 Repeatability—Repeatability of this test method is $\pm 20\%$ of the average value from three or more determinations. This range corresponds to $2S\%$ as defined in Practice E177.

11.1.2 Reproducibility—Reproducibility for this test method is $\pm 35\%$ ($2S\%$) of the calculated value.

11.1.3 These statements are based on a round robin trial of this test method on activated carbons from five different raw material bases tested by four different laboratories.

12. Keywords

12.1 activated carbon



ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

ANEXO 26

26.1 Determinación de pH utilizando la técnica del pH en el punto de carga cero, pH_{PCC} .

Materiales y Reactivos

- NaCl 0,1M (Cloruro de sodio)
- 1 pH-metro
- 1 Agitador, calentador
- 1 Magneto
- 1 Probeta de 10 mL
- Beaker de 50 mL

Análisis Experimental.

1. Se coloca en un beaker de 50 mL carbón activado (0.100-0.600) g.
2. Se adiciona 10 mL de solución de NaCl 0,1M
3. Se mantienen la mezcla en un termostato a 25°C y agitación constata por 2 días (48 horas).
4. Se deja decantar el carbón activado.
5. Con un pH-metro se realiza la lectura del líquido sobrenadante.

27.1 Determinación de densidad aparente en carbón activado

Materiales y Equipos

- 1 Probeta de 50mL
- 1 Espátula
- 1 Balanza analítica
- Metanol concentrado

Análisis experimental.

- a. Se emplea una probeta graduada de 50 mL, lavar con metanol concentrado y llevar a secado con corriente de aire hasta peso constante
- b. Registrar el peso de la probeta vacía y tara la balanza analítica
- c. Pesar en la probeta previamente tarada una cantidad de carbón activado obtenido que enrase los 20 ml de la probeta o hasta la máxima marca de la misma.
- d. Anotar el peso de la muestra más el peso de la probeta y será la Masa (M).
- e. Sobre una superficie de madera colocamos una toalla y procedemos a dar 100 golpes sobre la toalla.
- f. Anotar el volumen que ha quedado después de los 100 golpes será nuestro Volumen (V).
- g. Realizar los cálculos de la densidad aparente.

Cálculos:

$$D_a = \frac{W_{pr+m} - W_{pr}}{V} = \frac{g}{mL}$$

Donde:

D_a = Densidad aparente (g/mL)

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

V= Volumen registrado en la probeta después de los 100 golpes

ANEXO 28

28.1 Método de obtención de carbón activo

Materiales

- Cáscaras de naranjas
- Mufla
- Balanza analítica
- Crisol
- Mortero
- Pipeta
- Ácido fosfórico H₃PO₄ 85%
- Agua destilada
- Bomba de vacío
- Espátula
- Varilla de vidrio
- Agitador magnético
- Malla N°40 (400 µm)

Tabla 28.1: Condiciones operacionales de los 8 carbones.

Carbón	Tiempo (carbonización)	Temperatura (carbonización)	[H ₃ PO ₄]
1	2h	380 °c	26%
2	3h	380 °c	26%
3	2h	450 °c	26%
4	3h	450 °c	26%
5	2h	380 °c	30%
6	3h	380 °c	30%
7	2h	450 °c	30%
8	3h	450 °c	30%

Procedimiento

1. Seleccionar la cáscara de naranjas las cuales no deben estar en estado de descomposición o con moho; el proceso de secado puede realizarse al aire libre, durante un periodo mayor de 20 días a temperatura ambiente o en horno a 100°C hasta su sequedad.

2. Pre incinerar 100 g de cáscaras de naranja seca en una mufla a razón de 5°C/min hasta alcanzar 120°C y dejarlo por 40 minutos.
3. Triturar la cáscara de naranja previamente precarbonizada, con un mortero hasta alcanzar un tamaño de partícula < 500µm.
4. Seguidamente se adiciona en un crisol 10g de la muestra precarbonizada y el catalizador (H₃PO₄) a una concentración de 26% o 30% v/v (en relación 1:3 por cada gramo de muestra precarbonizada 3mL de ácido), mezclarlos con una varilla de vidrio hasta alcanzar la homogeneidad de la muestra.
5. Posteriormente introducir el crisol conteniendo la muestra en una mufla para ser sometido a carbonización a razón de 10°C/min hasta alcanzar 380°C o 450°C y dejarlo por 2 o 3 horas.
6. A la muestra resultante filtrar al vacío y lavar con agua destilada sucesivas veces hasta alcanzar un pH próximo a la neutralidad utilizando una bomba de vacío.
7. Finalmente, secar el carbón activo durante 24 horas a 60°C.

ANEXO 29

29.1 Compra de métodos de evaluación para carbón activo de la ASTM

13/9/2016

Techstreet | Thomson Reuters

Factura: 2581438

Su Techstreet Número de pedido: 2603498 Fecha del pedido: 04/09/2016 Forma de pago: tarjeta de crédito
Fecha de envío 09/04/2016 Método de envío: Descargar

Remítir a:

Thomson Reuters (Científico)
36588 Centro Tesoro
Chicago, IL 60694 a 6500
1-800-699-9277
1-734-780-8000
1-734-780-2046

ítem	Formato	Cantidad	Precio
D5029-98 ASTM (2014)	PDF	1	\$ 39.00 USD
D3037-93 ASTM (1997)	PDF	1	\$ 55.00 USD
ASTM D2866-11	PDF	1	\$ 39.00 USD
D3860-98 ASTM (2014)	PDF	1	\$ 39.00 USD
ASTM D4607-14	PDF	1	\$ 44.00 USD
Envío y dirección:			\$ 0.00 USD
Impuestos aplicables:			\$ 0.00 USD
Total de la factura:			\$ 216.00 USD

Envie a:

Yasser Antonio Granillo
Del puente de praderas El Doral &c
al lago
Managua
Managua
505
Nicaragua

Cobrar a:

Yasser Antonio Granillo
Del puente de praderas El Doral &c
al lago
Managua
Managua
505
Nicaragua

<http://www.techstreet.com/account/invoices/2581438>

1/2

ANEXO 30

30.1 Cotización de Materiales



PRODUCTOS EL SOL S.A.

ENTRADA HOSPITAL 'LA MASCOTA' 250 VRS. ARRIBA, SOBRE PISTA NICARAO
 Tels:(505) 2289-5249, (505) 2289-3689 Fax:(505) 2253-1220 E-Mail : info@productoselsol.com
 RUC No. J0310000110867

Cliete : REBECA GARCIA
No. Ruc :
Direccion :
Atencion : REBECA GARCIA
Correo :

PROFORMANO.:	0000004273
Fecha :	19 Sep 2016
Ejecutivo de Venta :	KATHERINE LEVA
Condiciones de pago :	0 días
Autorizado por :	_____

No.	CODIGO	DESCRIPCION	Desc.	Cantidad	PREC/DESC	TOTAL
1	9535-05	ACIDO CLORHIDRICO 36-5 38% 2.50 LTS -	0	1	32.17	32.17
2	3946-01	TIOSULFATO DE SODIO 5-HIDRATADO, CRISTALES, J-TIOSULFATO DE SODIO 5-HIDRATADO, CRISTALES, J.T.BAKER, GRADO BAKER ANALYZED ACS REAGENT 500G	0	1	26.82	26.82
3	3162-01	YODURO DE POTASIO GRANULAR 500G. ACS. J.T BA-YODURO DE POTASIO GRANULAR 500G. ACS. J.T BAKER.	0	1	123.73	123.73
4	3156-01	YODATO DE POTASIO, 500 G, J.T. BAKER -	0	1	186.69	186.69
5	4006-01	ALMIDON SOLUBLE 500G, GRADO ACS. J.T.BAKER -	0	1	112.69	112.69
6	3604-01	CARBONATO DE SODIO ANHIDRO, GRANULAR .GRADO R-CARBONATO DE SODIO ANHIDRO, GRANULAR .GRADO REACTIVO ACS. 500G.J.T.BAKER	0	1	40.07	40.07
7	11406-47-ACH	FILTROS DE MEMBRANA ESTERILES DE 0.45 UM X 47-FILTROS DE MEMBRANA ESTERILES DE 0.45 UM X 47 MM NITROCELULOSA CAJA 100 UNIDADES	0	1	87.95	87.95
8	9508-05	ACIDO ACETICO GLACIAL 2.5L J.T.BAKER. -	0	1	33.33	33.33
9	M7708-10	HIDROXIDO DE SODIO PERLAS RA ACS. 500 G J.T B-HIDROXIDO DE SODIO PERLAS RA ACS. 500 G J.T BAKER	0	1	23.50	23.50
10	2870-04	FENOLFTALEINA 125G J.T BAKER.POLVO, GRADO ACS-FENOLFTALEINA 125G J.T BAKER.POLVO, GRADO ACS.	0	1	36.39	36.39
11	FT-3-205-125	PAPEL FILTRO GRADO CUALITATIVO GRADO 292 DE 1-PAPEL FILTRO GRADO CUALITATIVO GRADO 292 DE 125 MM. CAJITA 100 UNDS. SARTORIUS.	0	1	20.43	20.43



PRODUCTOS EL SOL S.A.

ENTRADA HOSPITAL 'LA MASCOTA' 250 VRS. ARRIBA, SOBRE PISTA NICARAO
 Tels: (505) 2289-5249, (505) 2289-3689 Fax: (505) 2253-1220 E-Mail : info@productoselsol.com
 RUC No. J0310000110867

Cliente : REBECA GARCIA

No. Ruc :

Dirección :

Atención : REBECA GARCIA

Correo :

PROFORMANO.:	0000004273
Fecha :	19 Sep 2016
Ejecutivo de Venta:	KATHERINE LEIVA
Condiciones de pago :	0 días
Autorizado por :	_____

No.	CODIGO	DESCRIPCION	Desc.	Cantidad	PREC/DESC	TOTAL
12	FT-3-206-185	PAPEL FILTRO CUALITATIVO GRADO 1288, DIAMETRO-PAPEL FILTRO CUALITATIVO GRADO 1288, DIAMETRO 185 MM PAQ.100 UNDS. SARTORIUS.	0	1	20.43	20.43
13	Q473-07	AZUL DE METILENO RA 500G. J.T. BAKER. -	0	1	388.35	388.35
14	4716E40	Grade 40 Filter Paper, Ashless (Ash 0.007%), -	0	1	141.71	141.71
15	1205P14	CINTA INDICADORA PH RANGO DE 0-14. PAQ 100 TI-CINTA INDICADORA PH, RANGO DE 0-14. PAQ 100 TIRAS. THOMAS SCIENTIFIC.	0	1	20.22	20.22
16	9070-03	METANOL 4L J.T.BAKER. ALCOHOL METILICO, GRADO-METANOL 4L J.T.BAKER. ALCOHOL METILICO, GRADO ACS.	0	1	24.83	24.83
17	0260-05	ACIDO FOSFORICO (ORTHO FOSFORICO) AL 85% ACS,-ACIDO FOSFORICO (ORTHO FOSFORICO) AL 85% ACS, 2.5 L, J.T. BAKER.	0	1	55.67	55.67
18	6180-20	AGUA TRIDESTILADA CONDUCTIVIDAD MENOR DE 1.5 -AGUA TRIDESTILADA CONDUCTIVIDAD MENOR DE 1.5 MICRO SIMENS, 20L J.T BAKER.	0	1	25.50	25.50

Nota :

Emitir Cheque a Nombre de PRODUCTOS EL SOL, S.A.

Sub-Total U\$	1,400.48
Descuento U\$	0.00
Sub-Total U\$	1,400.48
Impuesto U\$	210.07
Gran Total U\$	1,610.55

 Firma del Ejecutivo de Ventas

 Firma del Cliente

El valor de esta cotización es válida por 8 días

Fuente: Productos el Sol

ANEXO 31

31.1. Caracterización de la cáscara de naranja Valencia (*Citrus Sinensis* L).

Flujograma 31.1: caracterización de la cascara de naranja Valencia (*Citrus Sinensis* L)



Tabla 31.1: Porcentaje de humedad de la cáscara de naranja

Ensayo	Crisol Vacío	Masa CNV g	Crisol con Masa deshidratada	% Humedad
1	16.07	3.01	16.83	25.25
2	16.28	3.00	17.04	25.33
3	33.78	3.00	34.57	26.33
Media	22.04	3.00	-	25.64

31.2 Cálculo para el porcentaje de humedad en cáscara de naranja valencia

$$\% \text{Humedad} = \frac{m_{\text{final}} - \text{Crisol}_{\text{vacío}}}{m} * 100 = \frac{16.83 - 16.07}{3.01} * 100 = 25.25\%$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad [\text{López, 2015}]$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 [(25.25 - 25.64)^2 + (25.63 - 25.64)^2 + (26.33 - 25.64)^2]} = 0.56$$

$$\text{Incertidumbre} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad [\text{López, 2015}]$$

$$\text{Incertidumbre} = \frac{0.56}{\sqrt{3}} = 0.32$$

Tabla 31.2: Porcentaje de material volátil de cáscara de naranja

Ensayo	Crisol Vacío	Masa CNV g	Crisol con Masa deshidratada	% MV
1	32.68	3.01	32.99	10.30
2	31.02	3.00	31.3	9.33
3	32.76	3.00	33.06	10.00
Media	32.15	3.00	-	9.87

31.3 Cálculo para el porcentaje de materia volátil en cáscara de naranja valencia

$$\% \text{Materia Volátil} = \frac{m_{\text{final}} - \text{Crisol}_{\text{vacío}}}{m} * 100 = \frac{32.99 - 32.68}{3.01} * 100 = 10.30\%$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 [(10.30 - 9.88)^2 + (9.33 - 9.88)^2 + (10.00 - 9.88)^2]} = 0.49$$

$$\text{Incertidumbre} = \frac{0.49}{\sqrt{3}} = 0.28$$

Tabla 31.3: Porcentaje de cenizas en cáscara de naranja

Ensayo	Crisol Vacío	Masa CNV g	Crisol con Masa deshidratada	% Cenizas
1	32.68	3.01	32.84	5.32
2	31.02	3.00	31.19	5.67
3	32.76	3.00	32.92	5.33
Media	32.15	3.00	-	5.44

31.4 Cálculo para el porcentaje de cenizas en cáscara de naranja valencia

$$\% \text{Cenizas} = \frac{m_{\text{final}} - \text{Crisol}_{\text{vacío}}}{m} * 100 = \frac{32.84 - 32.68}{3.01} * 100 = 5.32\%$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 [(5.32 - 5.44)^2 + (5.67 - 5.44)^2 + (5.33 - 5.44)^2]} = 0.199$$

$$\text{Incertidumbre} = \frac{0.199}{\sqrt{3}} = 0.11$$

Tabla 31.4: Porcentaje de carbón fijo en cáscara de naranja

Ensayo	% MV	% Cenizas	% Carbón fijo
1	10.30	5.33	84.38
2	9.33	5.67	85.00
3	10.00	5.33	84.67
Media	9.87	5.44	84.69

31.5 Cálculo para el porcentaje de carbón fijo en cáscara de naranja valencia

$$\% \text{Carbón } f. = 100\% - (\% \text{materia } v. + \% \text{cenizas}) = 100 - (10.30 + 5.32) = 84.38\%$$

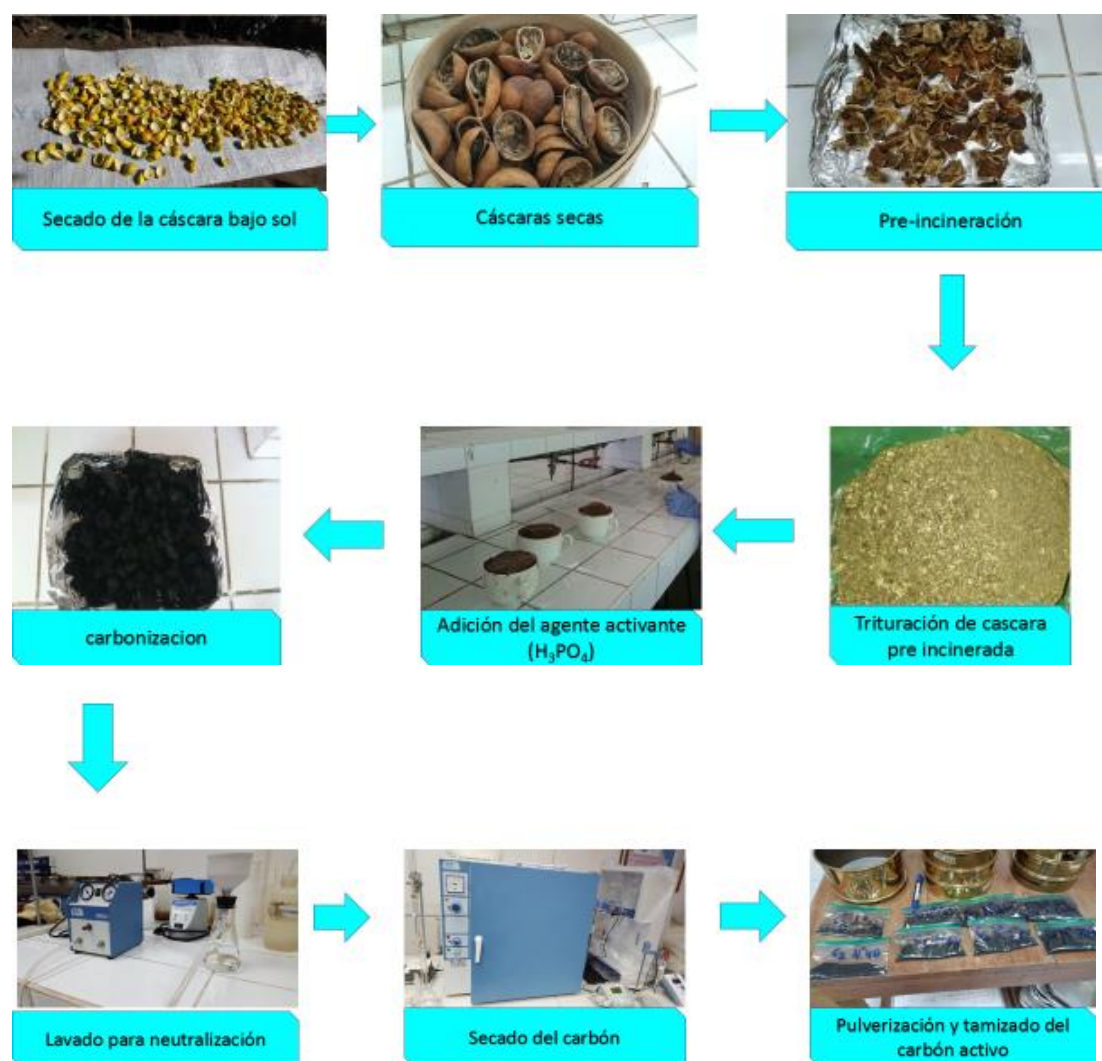
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 [(84.38 - 84.68)^2 + (85.00 - 84.68)^2 + (84.67 - 84.68)^2]} = 0.31$$

$$\text{Incertidumbre} = \frac{0.30}{\sqrt{3}} = 0.18$$

ANEXO 32

32.1. Obtención de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (*Citrus Sinensis* L)

Flujograma 32.1: Obtención de carbón activo a partir de cáscaras de naranja Valencia (*Citrus Sinensis* L)



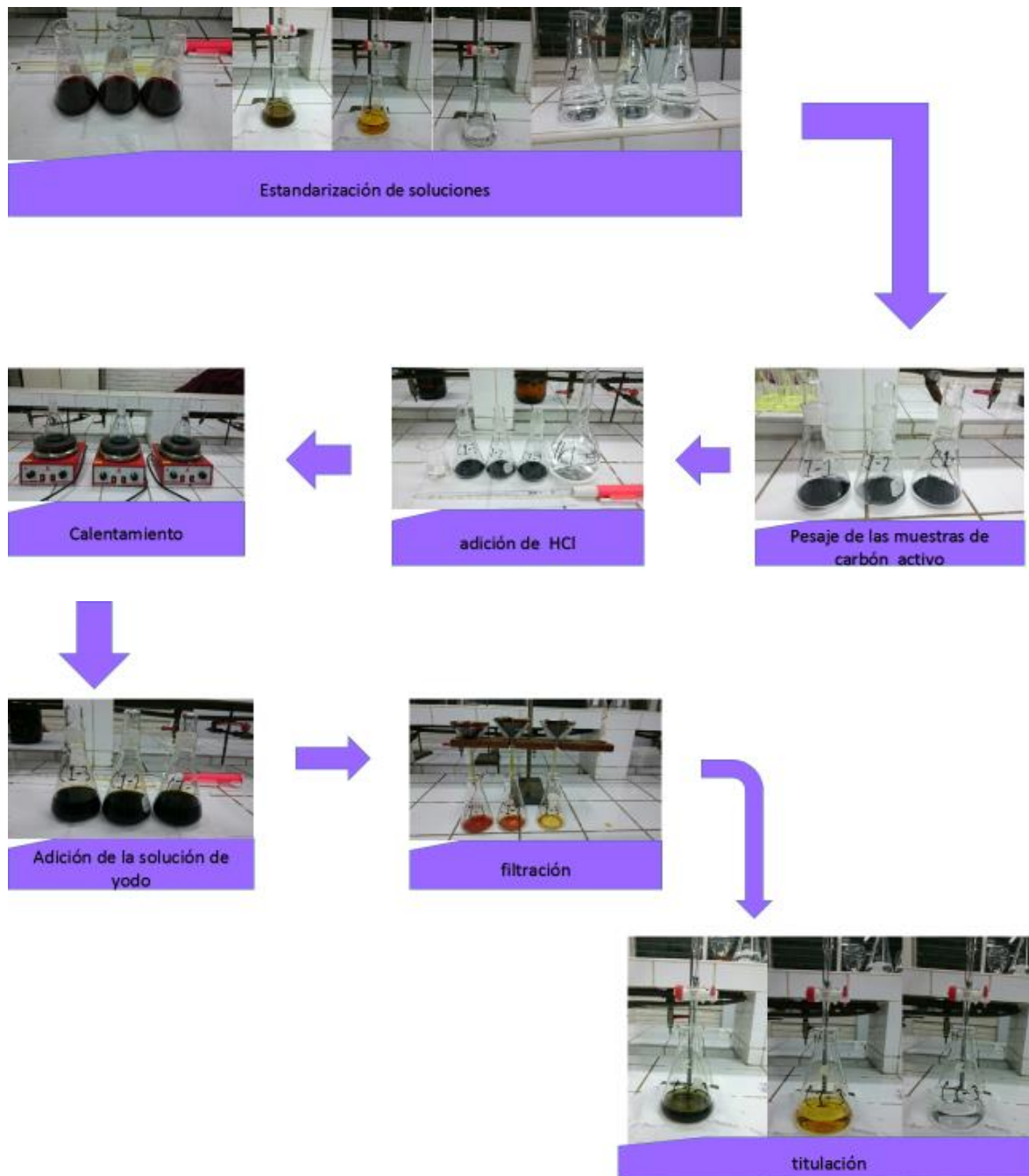
32.2 Cálculo del porcentaje de rendimiento en la obtención de carbón activado en base cáscara de naranja valencia seca

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{masa del producto obtenido}}{\text{masa de la materia prima}} * 100 = \frac{1.62g}{3.00g} * 100 = 54\%$$

ANEXO 33

33.1. Índice de yodo del carbón activo (ASTM D4607-14)

Flujograma 33.1: Análisis de índice de yodo del carbón activo



33.2 Estandarización de soluciones

$$M(\text{NaSO}_3) = \frac{V(\text{KIO}_3) * N(V)}{(\text{KIO}_3)} = \frac{(25\text{mL})(0.1\text{N})}{25\text{mL}} = 0.1\text{N}$$

$$M(I_2) = \frac{V(NaSO_3) * N(NaSO_3)}{(I_2)} = \frac{(24.77\text{mL})(0.1N)}{25\text{mL}} = 0.0991N$$

33.3 Cálculo para la construcción de la isoterma de adsorción de yodo

DF= factor de dilución

I= yodo en mL

H= HCl 5% usado en mL

F= Filtrado en mL

$$DF = \frac{I + H}{F} = \frac{100\text{mL} + 10\text{mL}}{50\text{mL}} = 2.2$$

Tabla 33.1: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 1

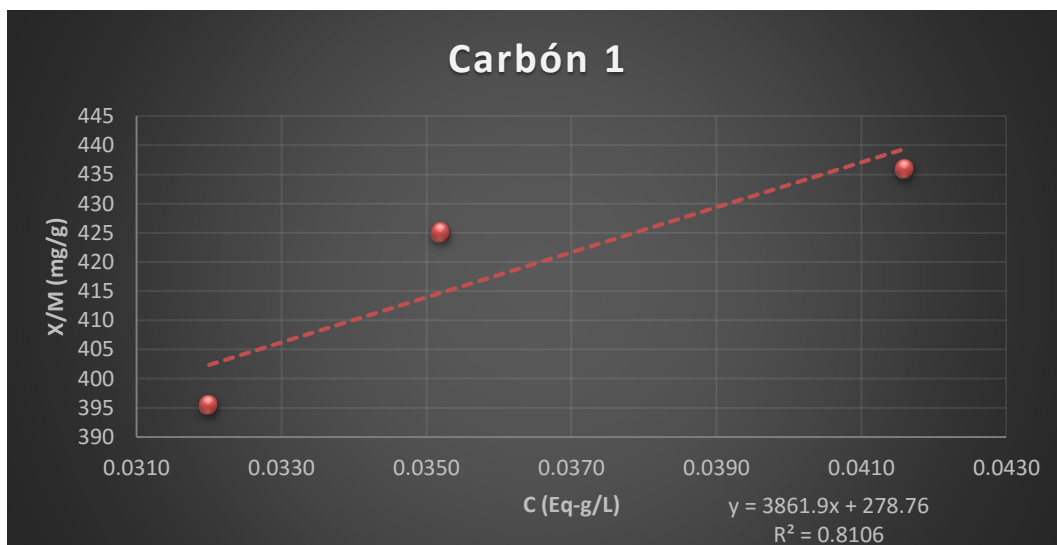
Masa C1 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0500	50	10	16	0.0991	0.1	395.444	0.0320
1.8021	50	10	17.6	0.0991	0.1	425.049	0.0352
1.5520	50	10	20.8	0.0991	0.1	435.967	0.0416

$$C(N) = \frac{V_{Na_2SO_3} * N_{Na_2SO_3}}{V_{I_2}} = \frac{(16\text{mL})(0.1N)}{50\text{mL}} = 0.0320N$$

$$\frac{X}{M} = \frac{(N_{I_2} * 126963) - (DF * N_{Na_2SO_3} * 126.93 * V_{Na_2SO_3})}{m_{\text{Carbón}}}$$

$$\frac{X}{M} = \frac{(0.0991 * 12693) - (2.2 * 0.1 * 126.93 * 16)}{2.0500} = 395.444$$

Gráfica 33.1: Isotherma de adsorción de yodo en 3 puntos, carbón 1



33.4 Cálculo para determinar el número de yodo

X/M= Es el yodo adsorbido por gramo de carbón activo en mg/g

El índice de yodo es el valor X / M a un residuo, en un punto de la gráfica a la concentración de yodo de 0.02N

Utilizando la ecuación de la recta:

$$Y = 3861.9X + 278.76$$

$$\text{Número}_{I_2} = (3861.9 * 0.02) + 278.76 = 355.998 \text{ mg/g}$$

Tabla 33.2: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 2

Masa C2 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0502	50	10	12.9	0.0991	0.1	437.628	0.0258
1.8008	50	10	16.0	0.0991	0.1	450.166	0.0320
1.5509	50	10	17.5	0.0991	0.1	495.695	0.0350

Gráfica 33.2: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 2

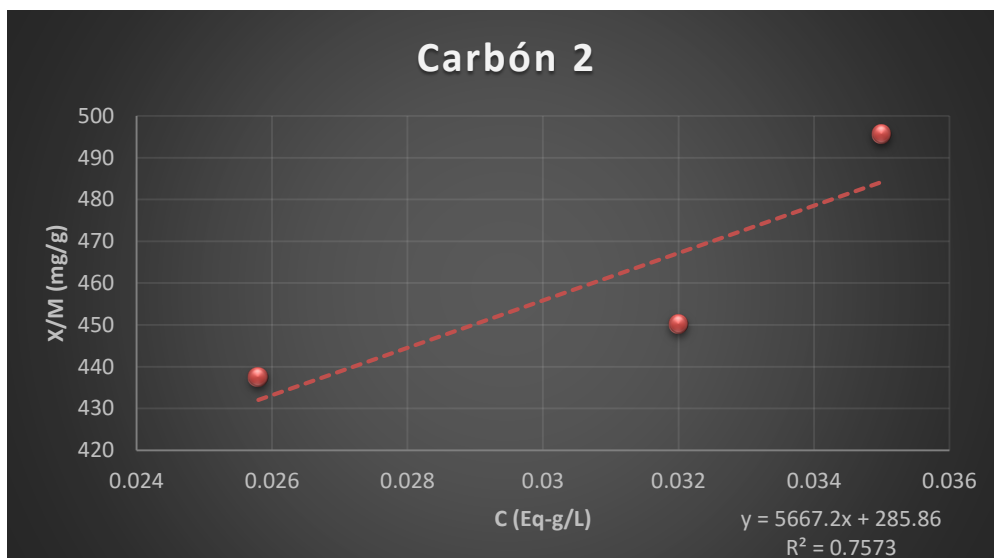


Tabla 33.3: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 3

Masa C3 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0505	50	10	8.4	0.0991	0.1	498.847	0.0168
1.8	50	10	11	0.0991	0.1	527.935	0.0220
1.4105	50	10	15.1	0.1	592.550	0.0302	

Gráfica 33.3: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 3

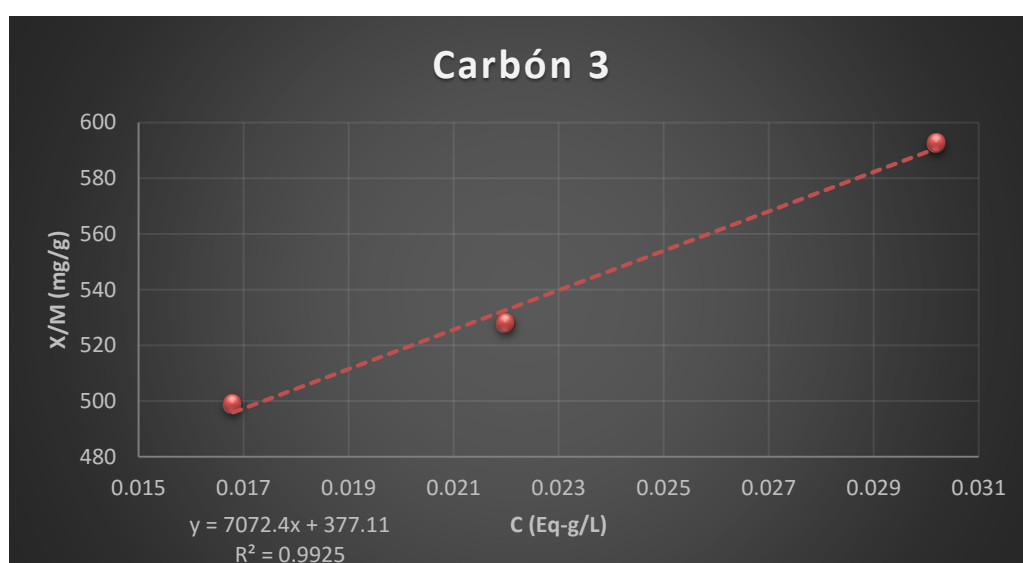


Tabla 33.4: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 4

Masa C4 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0510	50	10	7.6	0.0991	0.1	509.618	0.0152
1.8053	50	10	9.8	0.0991	0.1	544.947	0.0196
1.454	50	10	13.7	0.0991	0.1	601.710	0.0274

Gráfica 33.4: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos carbón 4

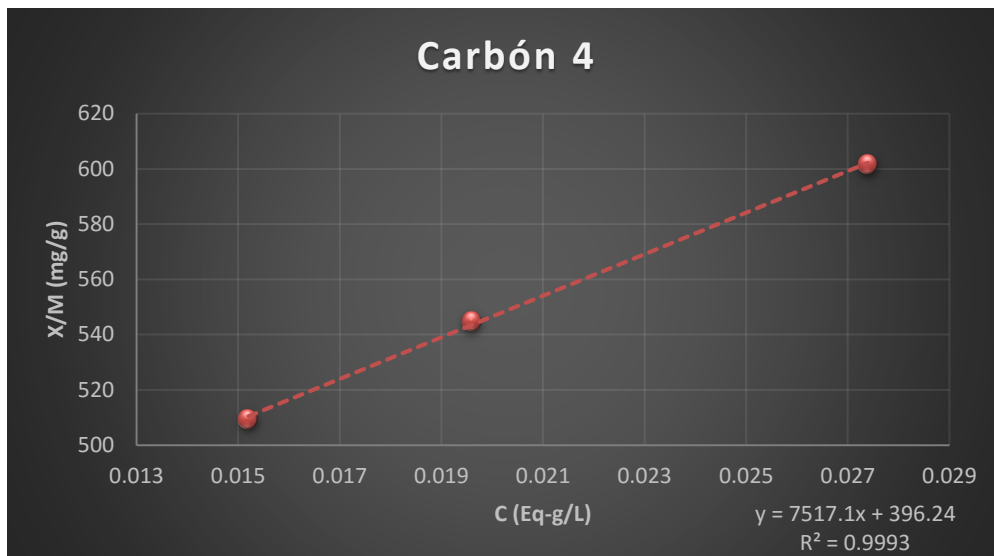


Tabla 33.5: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 5

Masa C5 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0503	50	10	14.4	0.0991	0.1	417.177	0.0288
1.802	50	10	16.5	0.0991	0.1	442.118	0.0330
1.5516	50	10	19.3	0.0991	0.1	463.076	0.0386

Gráfica 33.5: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 5

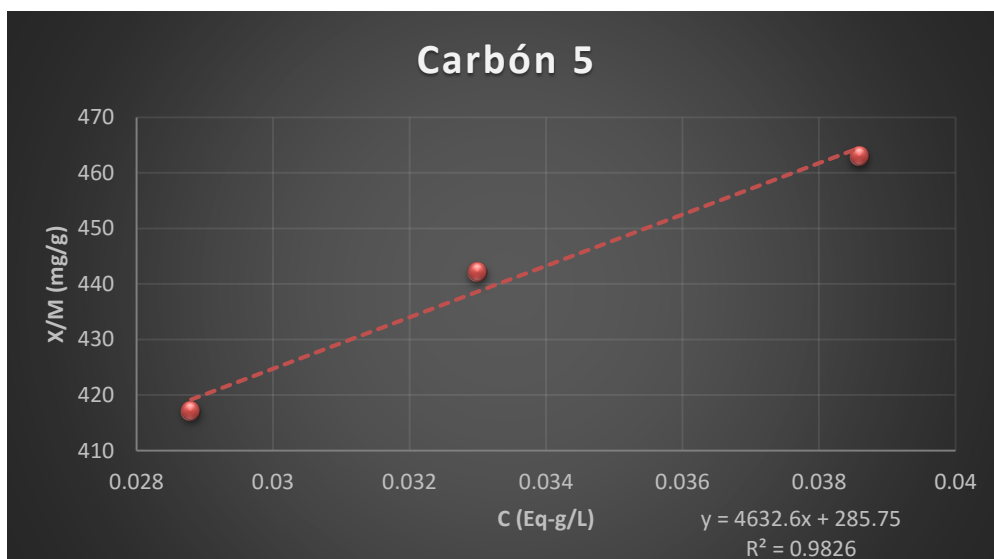


Tabla 33.6: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 6

Masa C6 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0515	50	10	13.1	0.0991	0.1	434.629	0.0262
1.8005	50	10	15.5	0.0991	0.1	457.996	0.031
1.5502	50	10	18.0	0.0991	0.1	486.912	0.036

Gráfica 33.6: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 6

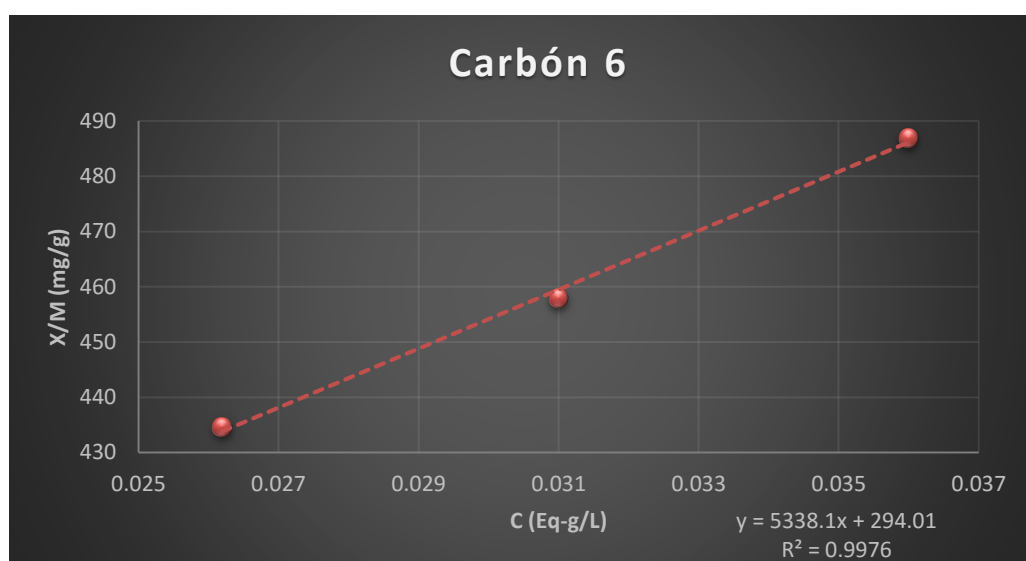


Tabla 33.7: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 7

Masa C7 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0526	50	10	14.2	0.0991	0.1	419.431	0.0281
1.8020	50	10	16.5	0.0991	0.1	442.118	0.0327
1.5087	50	10	19.5	0.0991	0.1	472.542	0.0386

Gráfica 33.7: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 7

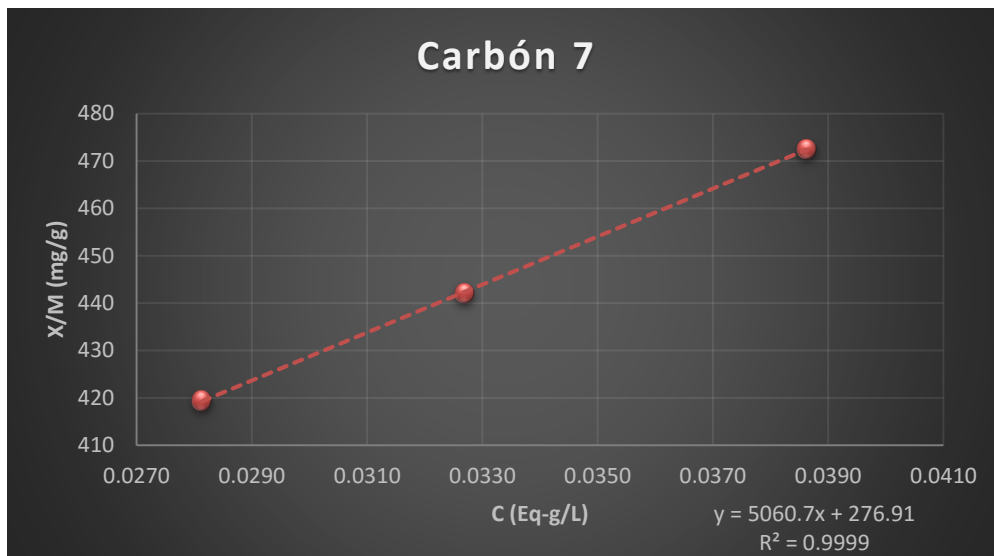


Tabla 33.8: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos, carbón 8

Masa C8 g	Volumen I ₂ mL	Volumen HCl 5% mL	Volumen Na ₂ SO ₃ mL	N (yodo)	N (NaSO ₃)	X/M	C (N filtrado residual)
2.0517	50	10	7.6	0.0991	0.1	509.444	0.0152
1.8007	50	10	11.2	0.0991	0.1	524.628	0.0224
1.5009	50	10	14.2	0.0991	0.1	574.535	0.0283

Gráfica 33.8: Concentración en equilibrio de yodo en 3 puntos carbón 8

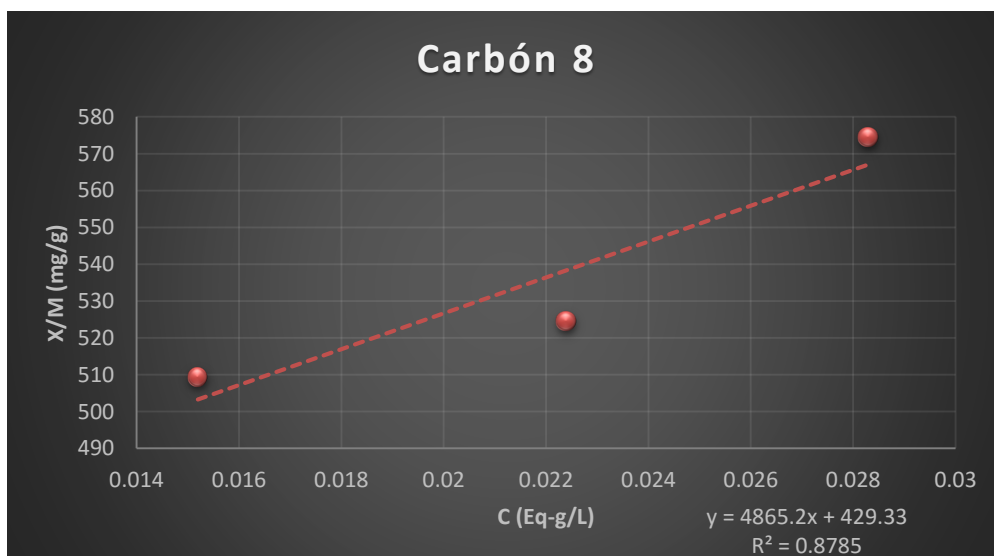


Tabla 33.9: Cálculo del área superficial del carbón activo

Carbón	Índice de yodo mg/g	A. Superficial m ² /g
1	355.998	455.998
2	399.204	499.204
3	518.558	618.558
4	546.582	646.582
5	378.402	478.402
6	400.772	500.772
7	378.124	478.124
8	526.634	626.634

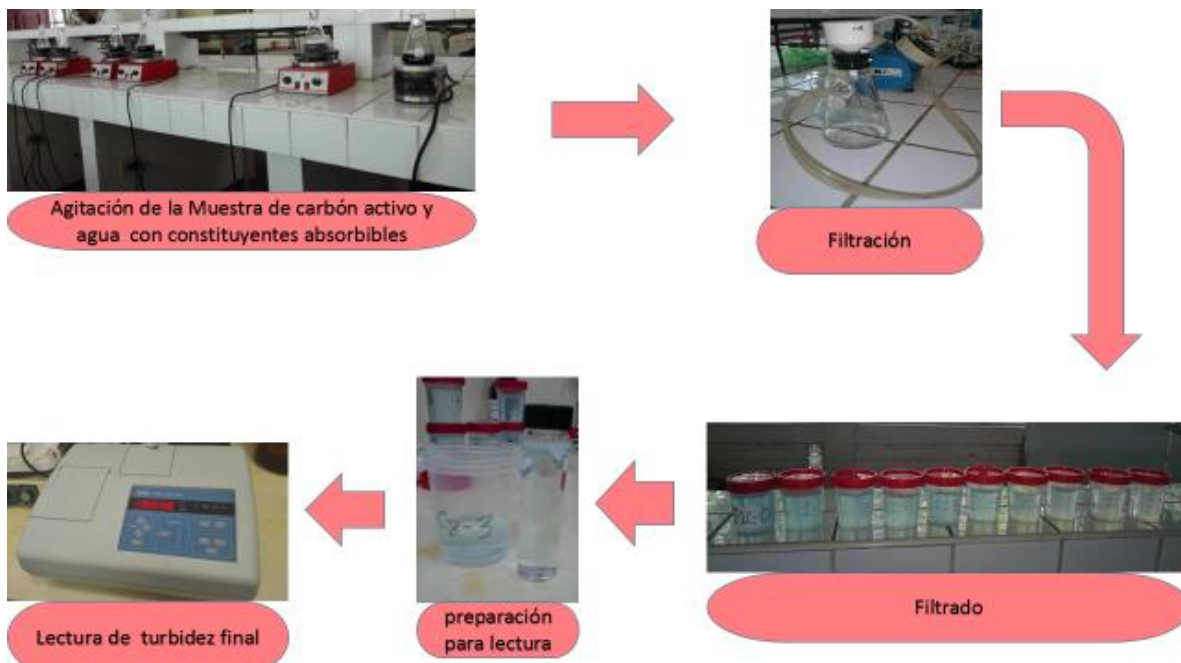
Según DESOTEC (s.f.) el área superficial equivale a más o menos el número de yodo más 100 y el resultado se expresa en m²/g.

$$\text{Área Superficial} = \text{Número } I_2 + 100 = 355.998 + 100 = 455.998 \frac{m^2}{g}$$

ANEXO 34

34.1. Capacidad de adsorción de carbón activado por técnica de isoterma en fase acuosa (ASTM D3860-98)

Flujograma 34.1: Análisis de la Capacidad de adsorción del carbón activo



x/m = Constituyente adsorbida por unidad de peso de carbono

Tabla 34.1: Lectura de turbidez carbón 1

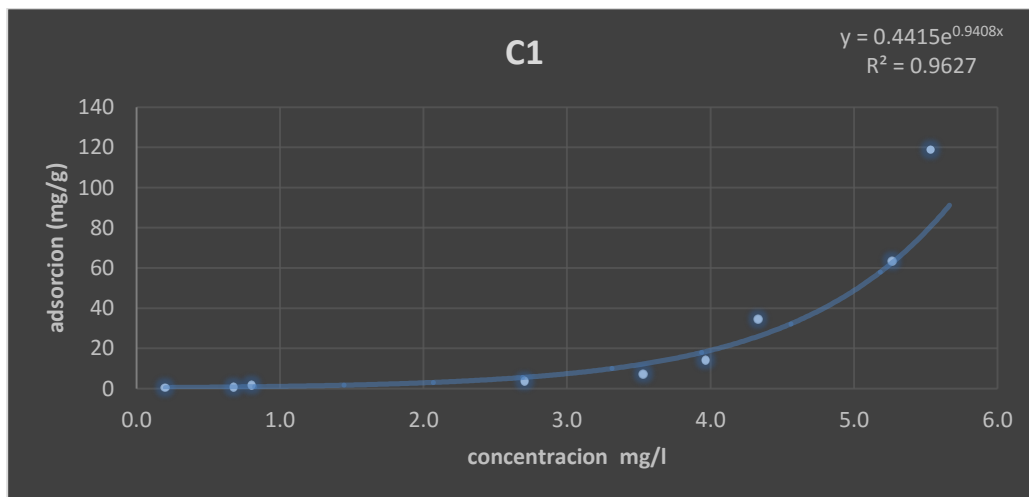
Muestra	c1 g	NTU	Ppm	x/m (mg/g)
0	0.0000	17.000	5.6667	-
1	0.0106	16.600	5.5333	118.8676
2	0.0203	15.800	5.2667	63.38243
3	0.0400	13.000	4.3333	34.49991
4	0.1005	11.900	3.9667	14.09615
5	0.2006	10.600	3.5333	7.278148
6	0.4003	8.110	2.7033	3.854600
7	1.0004	2.410	0.8033	1.732303
8	2.0000	2.030	0.6767	0.872831
9	4.0006	0.599	0.1997	0.448273

34.2 Cálculos para la construcción de la isoterma de adsorción del carbón activado en fase acuosa y capacidad de adsorción

$$[ppm] = \frac{NTU}{3} = \frac{16.600}{3} = 5.5333$$

$$\frac{X}{M} = \frac{(C_0 * V - C_f * V)}{m} = \frac{(18.1333 * 0.1) - (5.5333 * 0.1)}{0.0106} = 118.8676 \text{ mg/g}$$

Gráfica 34.1: Isotherma de capacidad de adsorción carbón 1



La capacidad de adsorción es el valor X / M a un residuo, en un punto de la gráfica a la concentración del blanco

Utilizando la ecuación de la recta:

$$Y = 0.4415 * e^{(0.9408x)}$$

$$\text{Capacidad de adsorción} = 0.4415 * e^{(0.9408 * 5.6667)} = 91.250 \text{ mg/g}$$

Tabla 34.2: Lectura de turbidez carbón 2

Muestra	C2	NTU	Ppm	x/m
0	0.0000	11.500	3.8333	
1	0.0101	11.120	3.7067	142.8380
2	0.0201	10.740	3.5800	72.4045
3	0.0400	9.980	3.3267	37.0166
4	0.1004	7.700	2.5667	15.5046
5	0.2001	4.090	1.3633	8.3808
6	0.4001	2.950	0.9833	4.2864
7	1.0004	1.980	0.6600	1.7466
8	2.0004	1.000	0.3333	0.8898
9	4.0003	0.930	0.3100	0.4455

Gráfica 34.2: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 2

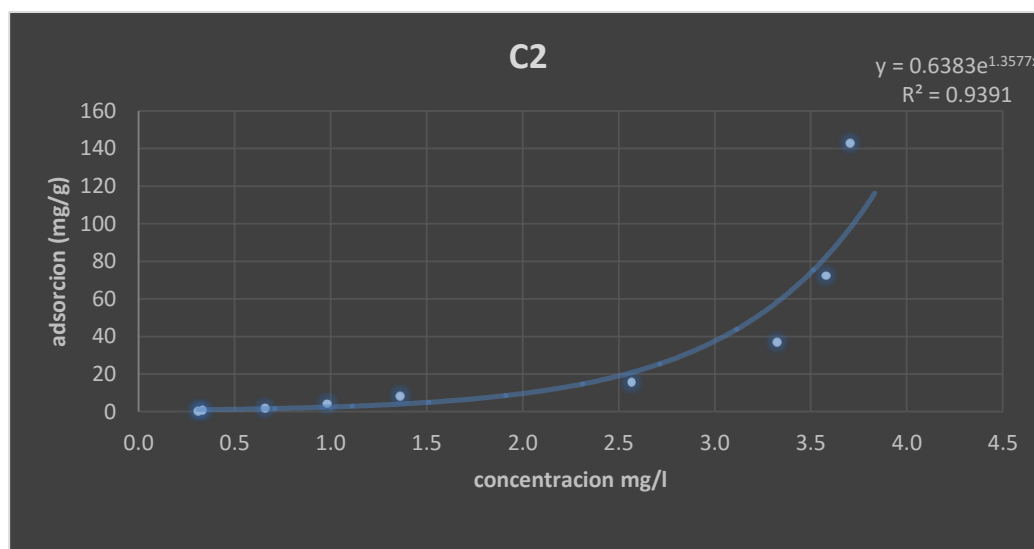


Tabla 34.3: Lectura de turbidez carbón 3

Muestra	C3	NTU	Ppm	x/m
0	0.0000	14.440	4.8133	
1	0.0109	14.100	4.7000	123.2413
2	0.0202	13.760	4.5867	67.0625
3	0.0402	12.980	4.3267	34.3449
4	0.1009	11.060	3.6867	14.3178
5	0.2004	7.680	2.5600	7.7711
6	0.4001	2.796	0.9320	4.2993
7	1.0002	1.000	0.3333	1.7796
8	2.0004	0.700	0.2333	0.8948
9	4.0000	0.101	0.0337	0.4525

Gráfica 34.3: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 3

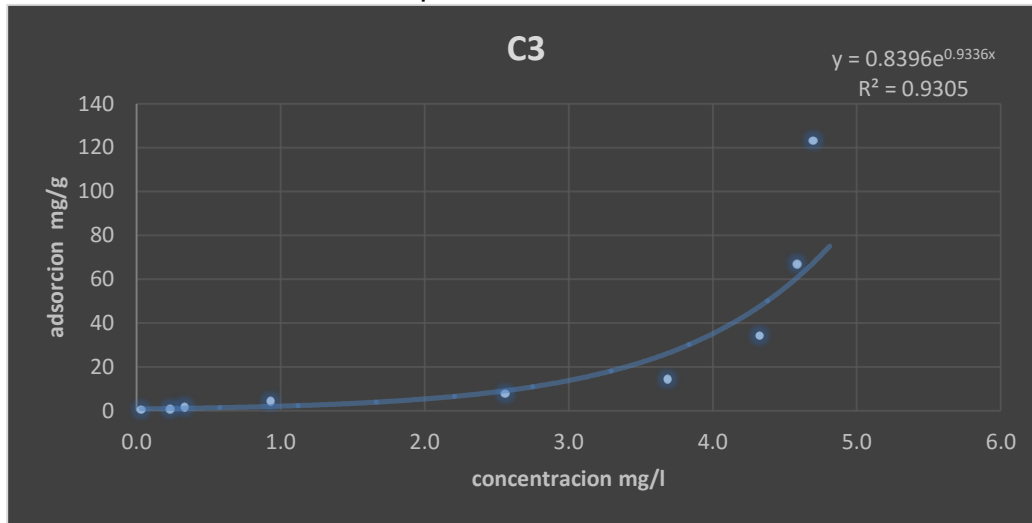


Tabla 34.4: Lectura de turbidez carbón 4

Muestra	C4	NTU	ppm	x/m
0	0.0000	21.350	7.1167	
1	0.0118	20.800	6.9333	94.9150
2	0.0203	20.250	6.7500	56.0754
3	0.0401	19.150	6.3833	29.3017
4	0.1004	15.850	5.2833	12.7988
5	0.2003	9.350	3.1167	7.4971
6	0.4000	6.500	2.1667	3.9917
7	1.0001	2.740	0.9133	1.7218
8	2.0000	0.640	0.2133	0.8960
9	4.0060	0.450	0.1500	0.4489

Gráfica 34.4: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 4

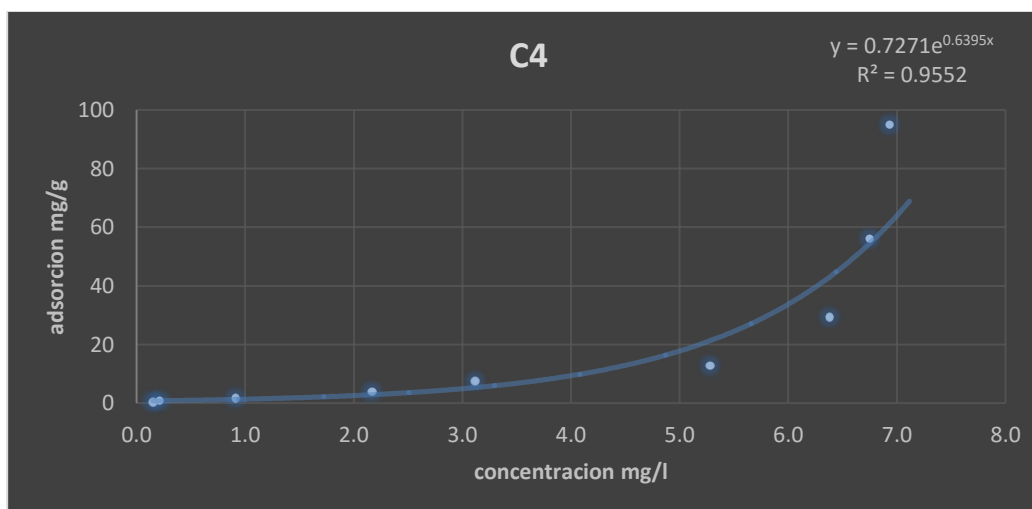


Tabla 34.5: Lectura de turbidez carbón 5

Muestra	C5	NTU	Ppm	x/m
0	0.0000	20.970	6.9900	
1	0.0102	20.550	6.8500	110.6206
2	0.0204	20.030	6.6767	56.1600
3	0.0406	19.190	6.3967	28.9080
4	0.1008	16.670	5.5567	12.4768
5	0.2000	12.470	4.1567	6.9883
6	0.4001	8.170	2.7233	3.8515
7	1.0000	2.340	0.7800	1.7353
8	2.0001	1.180	0.3933	0.8870
9	4.0006	0.524	0.1747	0.4489

Gráfica 34.5: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 5

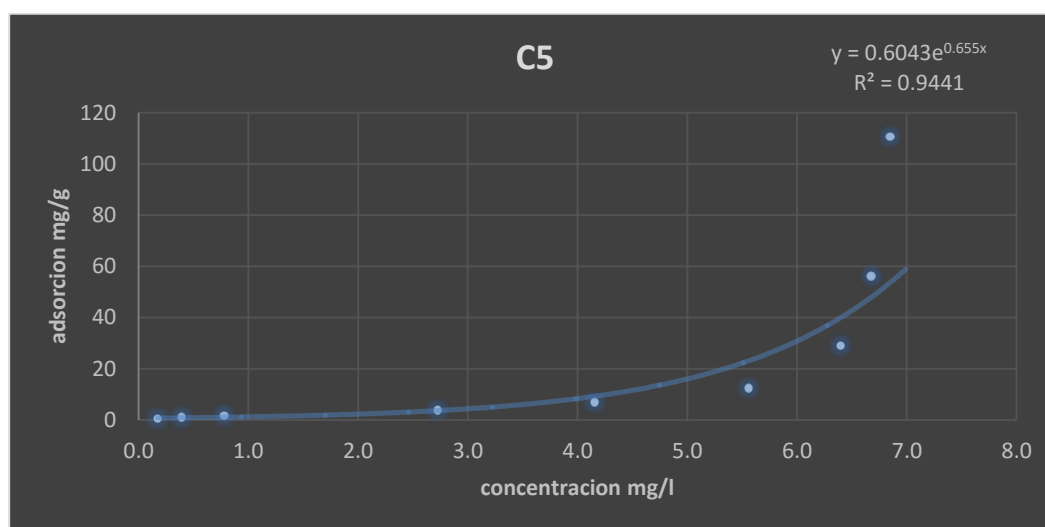


Tabla 34.6: Lectura de turbidez carbón 6

Muestra	C6	NTU	Ppm	x/m
0	0.0000	21.280	7.0933	
1	0.0107	20.860	6.9533	104.4857
2	0.0200	20.000	6.6667	57.3332
3	0.0403	19.120	6.3733	29.1811
4	0.1001	16.900	5.6333	12.4875
5	0.2000	12.520	4.1733	6.9800
6	0.4002	4.270	1.4233	4.1754
7	1.0004	2.320	0.7733	1.7353
8	2.0003	1.240	0.4133	0.8859
9	4.0000	0.781	0.2603	0.4468

Gráfica 34.6: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 6

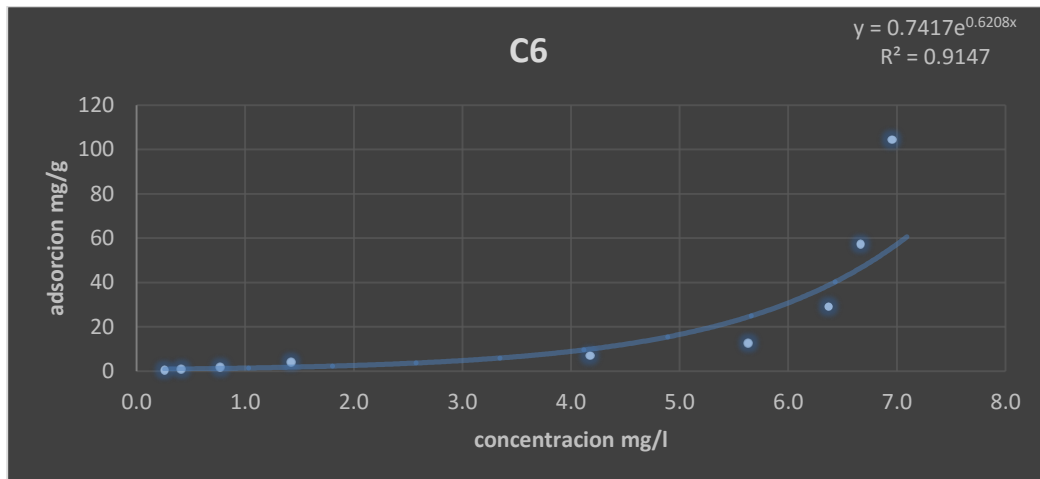


Tabla 34.7: Lectura de turbidez carbón 7

Muestra	C7	NTU	Ppm	x/m
0	0.0000	20.600	6.8667	
1	0.0101	19.980	6.6600	113.5970
2	0.0200	19.360	6.4533	58.3998
3	0.0400	18.620	6.2067	29.8166
4	0.1000	14.900	4.9667	13.1666
5	0.2000	9.200	3.0667	7.5333
6	0.4003	5.220	1.7400	4.0953
7	1.0000	2.140	0.7133	1.7420
8	2.0002	0.926	0.3087	0.8911
9	4.0000	0.765	0.2550	0.4470

Gráfica 34.7: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 7

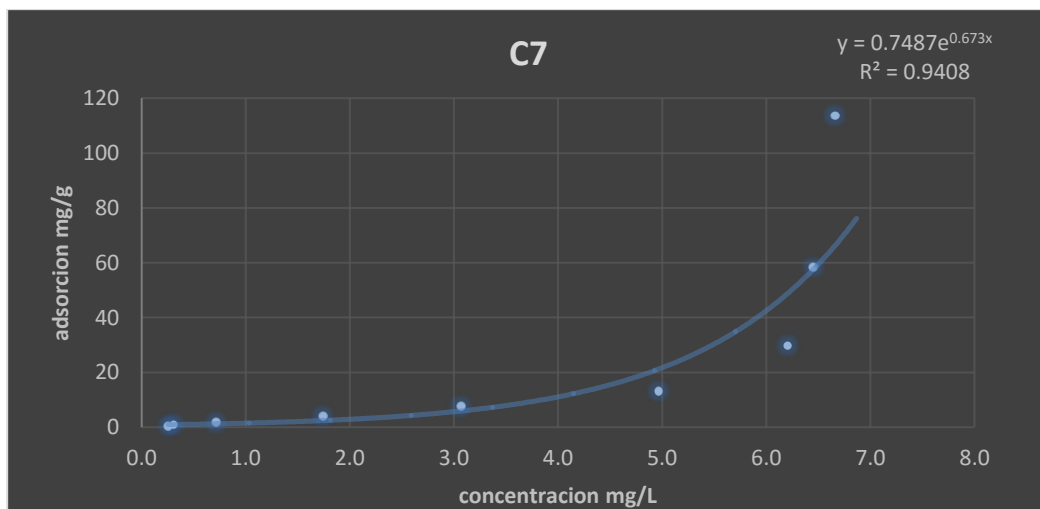


Tabla 34.8: Lectura de turbidez carbón 8

Muestra	C8	NTU	ppm	x/m
0	0.0000	18.900	6.3000	
1	0.0103	18.360	6.1200	116.6340
2	0.0200	17.820	5.9400	60.9665
3	0.0400	16.740	5.5800	31.3833
4	0.1005	13.500	4.5000	13.5655
5	0.2000	8.100	2.7000	7.7167
6	0.4004	5.650	1.8833	4.0584
7	1.0002	2.770	0.9233	1.7207
8	2.0001	1.400	0.4667	0.8833
9	4.0005	0.680	0.2267	0.4476

Gráfica 34.8: Isoterma de capacidad de adsorción carbón 8

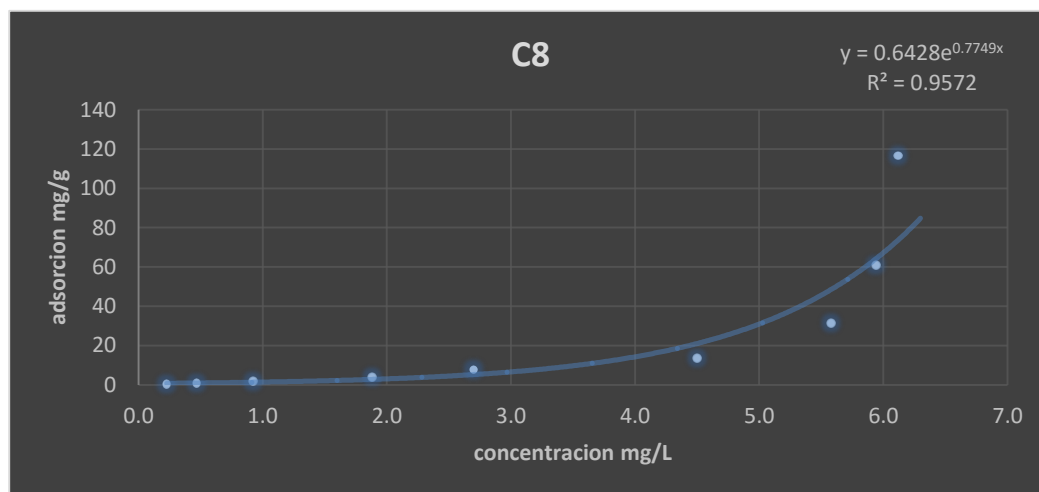


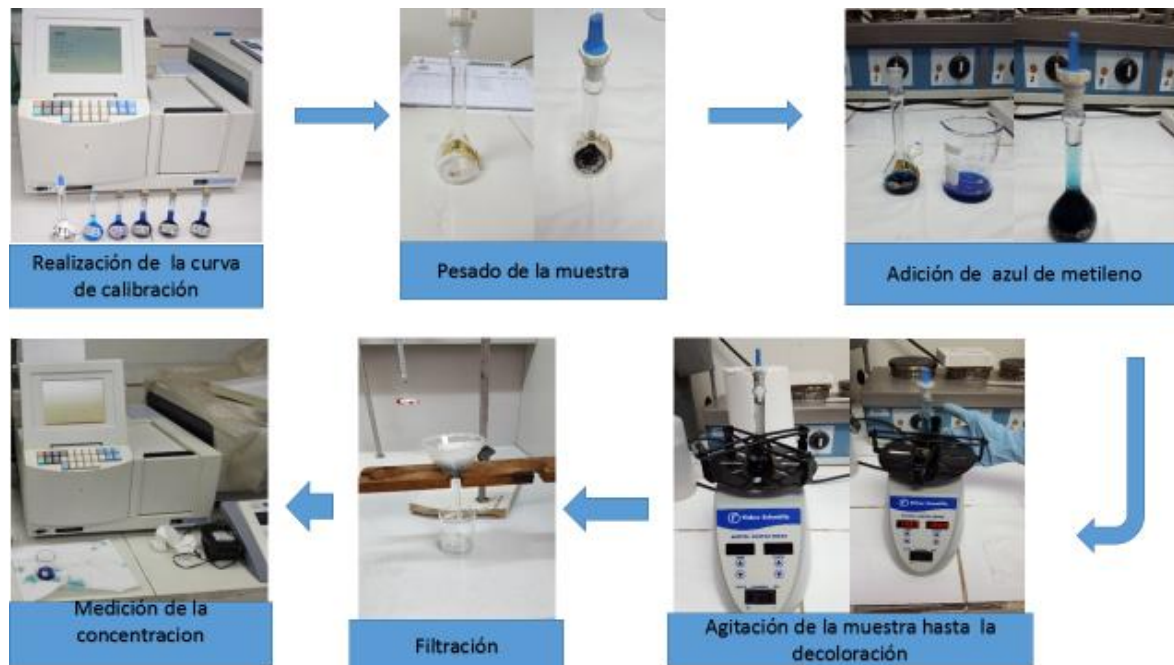
Tabla 34.9: Capacidad de adsorción

Carbón	Capacidad de adsorción mg/g
1	91
2	116
3	75
4	95
5	59
6	61
7	57
8	85

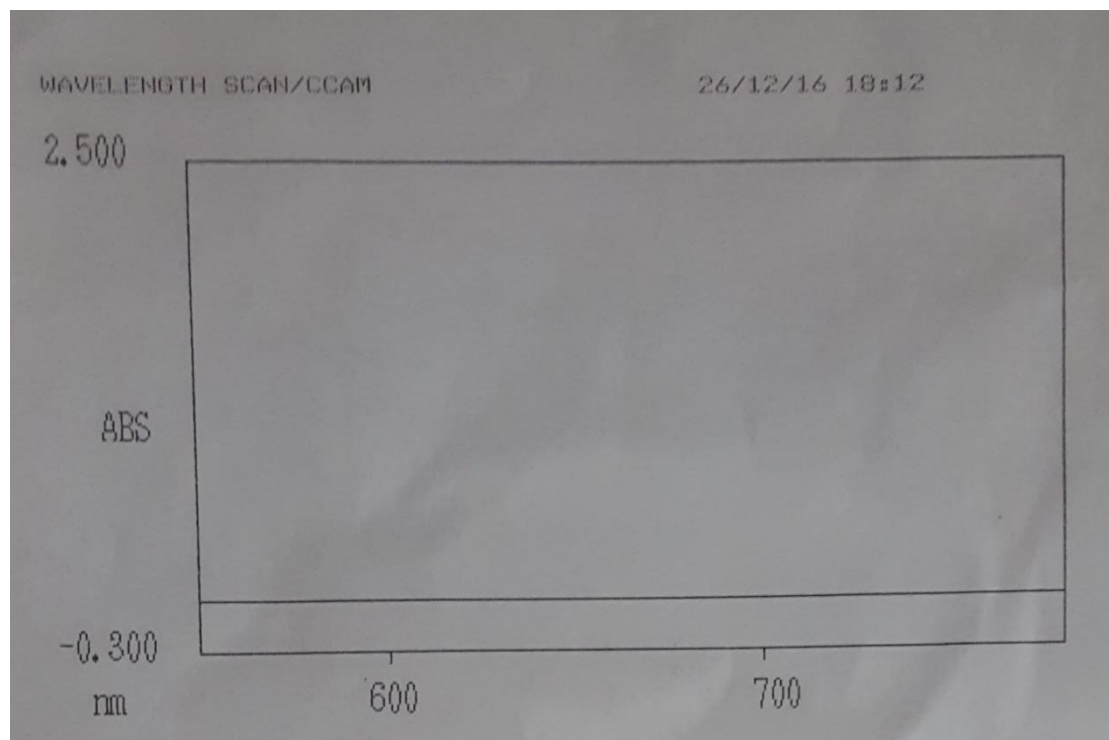
Anexo 35

35.1. Índice de azul de metileno

Flujograma 35.1: Análisis del Índice de azul de metileno



Gráfica 35.1: Ajuste de línea base para la gráfica de calibración de azul de metileno.



Gráfica 35.2: Máxima absorbancia a una longitud de onda del azul de metileno

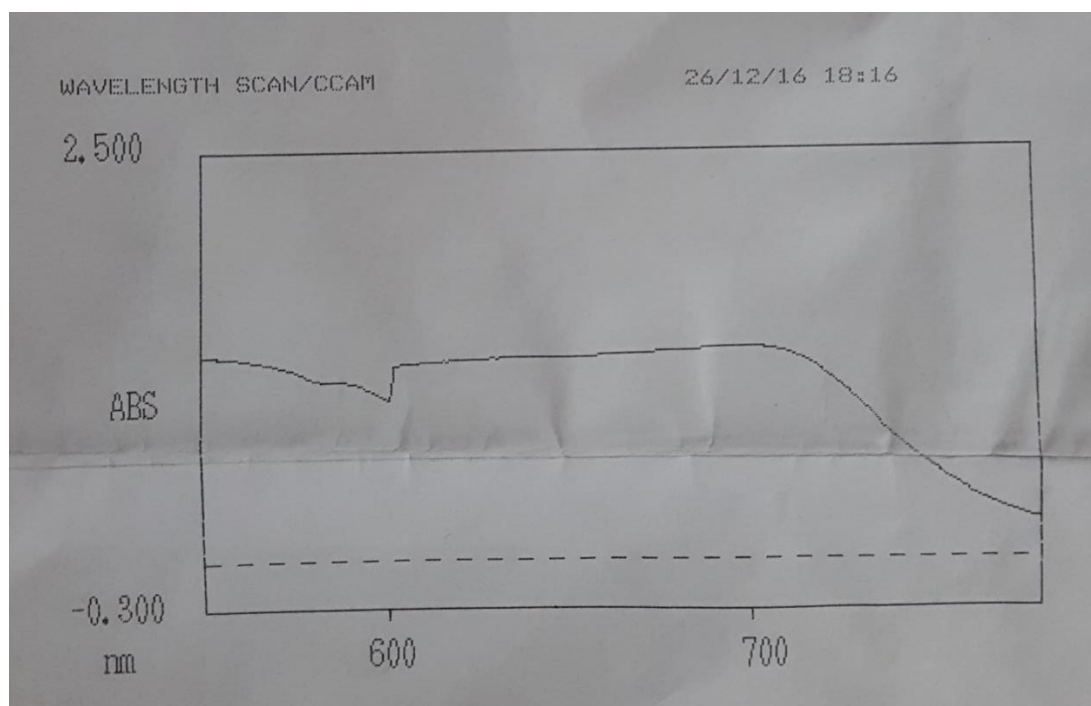


Tabla 35.1: Lecturas medias de los estándares de azul de metileno

Estándar	Absorbancia	Concentración [ppm]
1	-0.008	0
2	0.147	10
3	0.287	20
4	0.451	30
5	0.604	40
6	0.746	50

Gráfica 35.3: Curva de calibración del azul de metileno

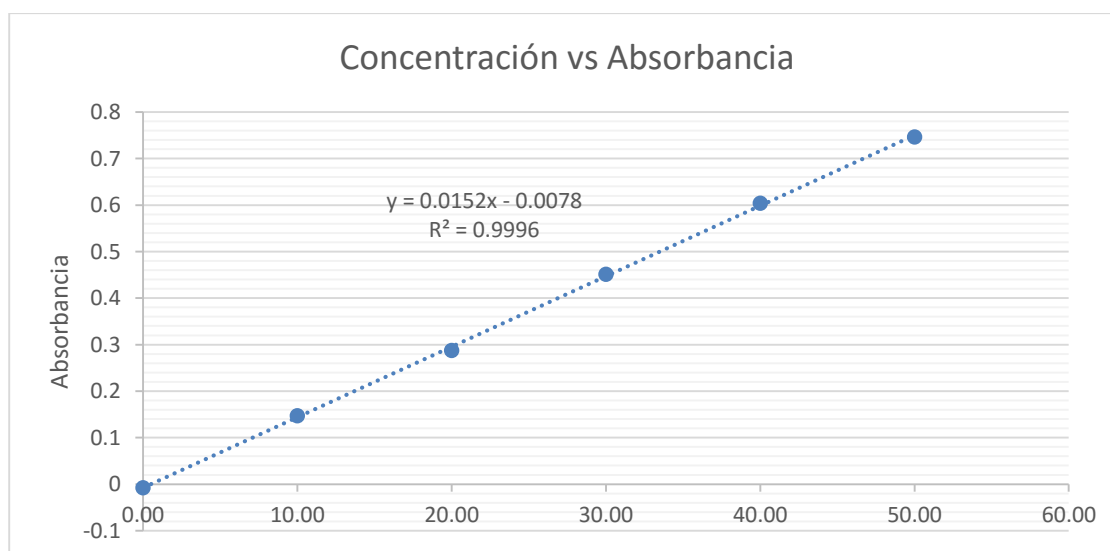


Tabla 35.4: Lecturas de las muestras por triplicado de azul de metileno tratadas con carbón activo

Muestra 0.1g	Absorbancia	Absorbancia Media	[PPM] media	Incertidumbre ±	Masa adsorbida mg/g	% Remoción de AM en 25 mL de solución
Blanco	-0.002	-0.005	0.184	0.12	-	-
	-0.004					
	-0.010					
C1	-0.003	-0.002	0.382	0.04	5.866	98.40
	-0.002					
	-0.001					
C2	-0.003	-0.002	0.382	0.05	5.872	98.40
	-0.001					
	-0.003					
C3	-0.004	-0.005	0.184	0.17	5.916	99.23
	-0.001					
	-0.010					
C4	-0.002	-0.001	0.447	0.05	5.844	98.13
	0.000					
	0.000					
C5	-0.003	-0.003	0.316	0.06	5.888	98.68
	-0.005					
	-0.002					
C6	-0.001	0.001	0.579	0.08	5.811	97.57
	0.001					
	0.004					
C7	0.001	0.002	0.645	0.05	5.806	97.30
	0.001					
	0.003					
C8	0.001	0.001	0.579	0.06	5.822	97.57
	-0.001					
	0.002					
Muestra AM	0.352	0.355	23.87	0.09	-	-
	0.356					
	0.356					

35.2 Cálculo para la concentración de azul de metileno, porcentaje de remoción y masa adsorbida por el carbón activo

Utilizando la ecuación de la recta de la gráfica 35.3 (curva de calibración de azul de metileno):

$$Y = 0.0152x - 0.0078$$

$$\text{Concentración} = \frac{-0.002 + 0.0078}{0.0152} = 0.0382 \text{ ppm}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 [(0.316 - 0.382)^2 + (0.382 - 0.382)^2 + (0.447 - 0.382)^2]} = 0.07$$

$$\text{Incertidumbre } C1 = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.04$$

Masa adsorbida:

q_e = Masa adsorbida

C_0 = Concentración inicial del azul de metileno

C_f = Concentración final del azul de metileno

V =Volumen en L (0.025L)

m = Masa del carbón activado en g (0.1g)

$$q_e = \frac{(C_0 - C_f)V}{m}$$

$$\text{Masa adsorbida} = \frac{(23.87\text{ppm} - 0.382\text{ppm})(0.025\text{L})}{0.1\text{g}} = 5.872\text{mg/g}$$

$$\% \text{Remoción} = \frac{(C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}})}{C_{\text{inicial}}} * 100 = \frac{(23.87 - 0.382)}{23.87} * 100 = 98.40$$

Anexo 36

36.1. Índice de ácido acético

Flujograma 36.1: Análisis del Índice de ácido acético

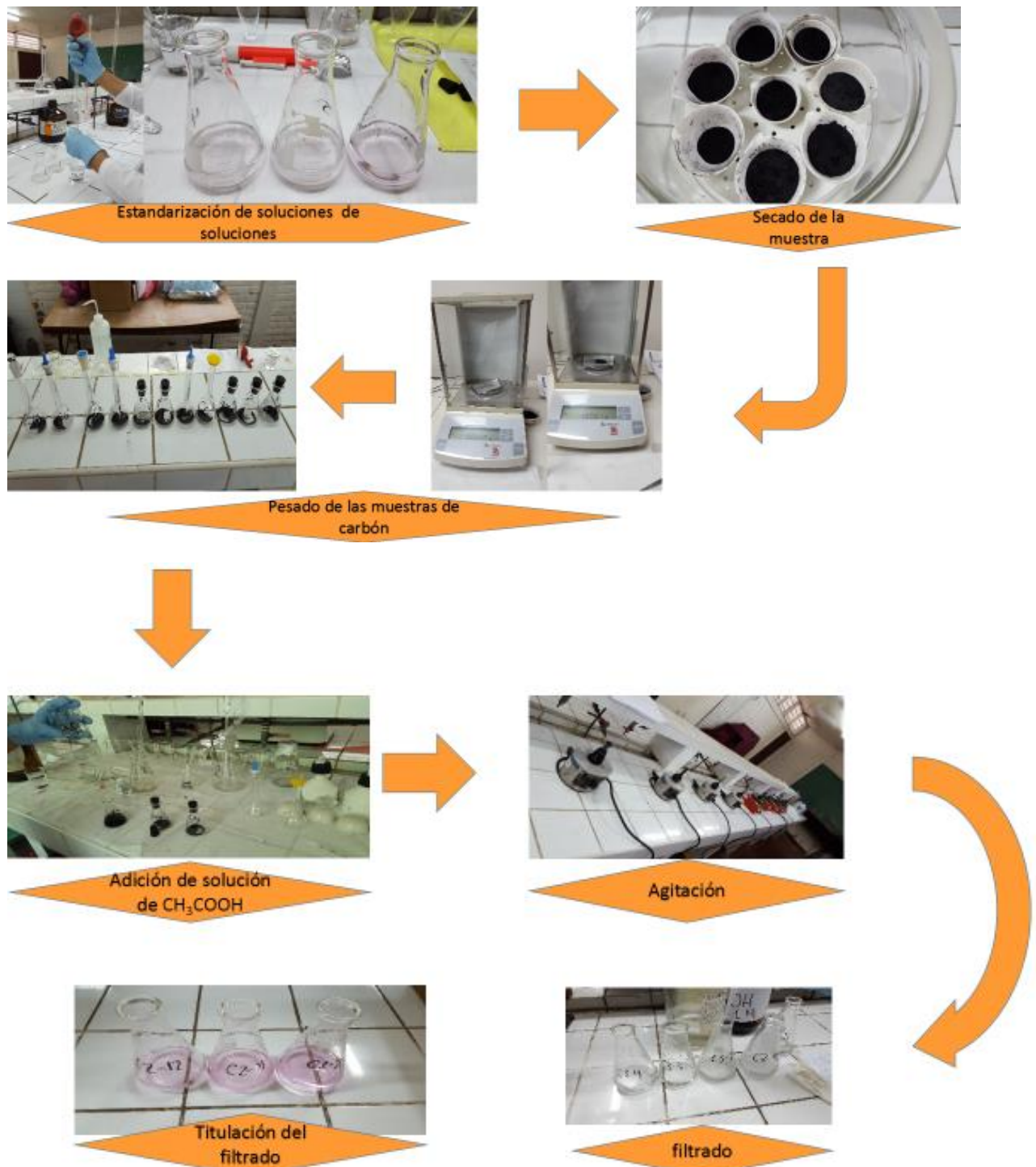


Tabla 36.1: Estandarización del hidróxido de sodio

Erlenmeyer	Vol KHP mL	Indicador gotas	Volumen gastado NaOH	M (KHP)	M (NaOH)
1	25	10	6.4	0.1	0.3906
2	25	10	6.4	0.1	0.3906
3	25	10	6.4	0.1	0.3906
Media	25	10	6.4	0.1	0.3906

Tabla 36.2: Estandarización del ácido acético

Erlenmeyer	Vol CH ₃ COOH mL	Indicador mL	Volumen gastado NaOH	M (CH ₃ COOH)	M (NaOH)
1	25	2	25.3	0.3953	0.3906
2	25	2	25.2	0.3938	0.3906
3	25	2	25.2	0.3938	0.3906
Media	25	2	25.23	0.3942	0.3906

36.2 Cálculo para la estandarización de soluciones

$$M(\text{NaOH}) = \frac{V(\text{KHP}) * M(\text{KHP})}{V(\text{NaOH})} = \frac{(25\text{mL})(0.1\text{M})}{6.4\text{mL}} = 0.3906\text{M}$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{V(\text{NaOH}) * M(\text{NaOH})}{V(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{(25.23\text{mL})(0.3906\text{M})}{25\text{mL}} = 0.3942\text{M}$$

Cálculo de las concentraciones para las disoluciones de ácido acético (ver Tabla 23.1 en anexo 23)

Ecuación de dilución $C_{\text{inicial}} * V_{\text{inicial}} = C_{\text{final}} * V_{\text{final}}$

$$C_{\text{final 2}} = \frac{C_{\text{inicial 2}} * V_{\text{inicial 2}}}{V_{\text{inicial 2}}} = \frac{(0.3942\text{M})(45\text{mL})}{(50\text{mL})} = 0.3548\text{M}$$

Tabla 36.3: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 1

Ensayo	Masa C1 g	Volumen gastado de NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0020	44.2	0.3942	0.3453	0.00244	2.90	409.33
2	1.0027	40.2	0.3548	0.3141	0.00203	3.18	491.75
3	1.0020	35.0	0.3154	0.2734	0.00209	3.66	477.38
4	1.0010	30.4	0.2759	0.2375	0.00192	4.21	520.14
5	1.0090	26.7	0.2365	0.2086	0.00139	4.79	721.52
6	1.0000	22.1	0.1971	0.1727	0.00122	5.79	817.02
7	1.0000	17.6	0.1577	0.1375	0.00101	7.27	989.69
8	1.0055	13.3	0.1183	0.1039	0.00071	9.62	1398.96
9	1.0000	6.8	0.0591	0.0531	0.00030	18.82	3324.68
10	1.0090	3.3	0.0315	0.0258	0.00029	38.79	3503.22
11	1.0015	2.7	0.0237	0.0211	0.00013	47.41	7816.59
12	1.0026	2.1	0.0158	0.0164	-0.00003	-	-

36.3 Cálculo para la construcción de la isoterma de adsorción de Langmuir

$$C(\text{M en equilibrio}) = \frac{V(\text{NaOH}) * M(\text{NaOH})}{V(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{(44.2\text{mL})(0.3906\text{M})}{50\text{mL}} = 0.3453\text{M}$$

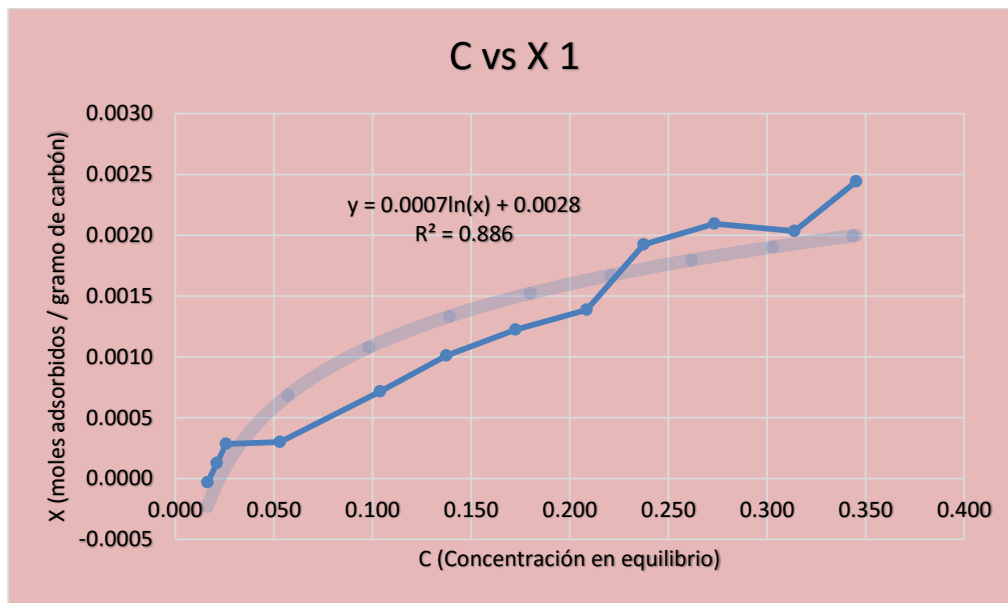
$$X = \frac{(C_0 - C_{\text{final}}) * V(L)}{m} = \frac{(0.3943 - 0.3453)(0.05)}{1.0020} = 0.00244 \frac{\text{mol CH}_3\text{COOH}}{\text{g adsorbente}}$$

$$\frac{m}{n} = \frac{\text{masa del adsorbente}}{\text{moles adsorbidos}} = \frac{1.0020\text{g}}{(0.3942\text{M} - 0.3453\text{M})(0.05\text{L})} = 409.81 \text{ g/mol}$$

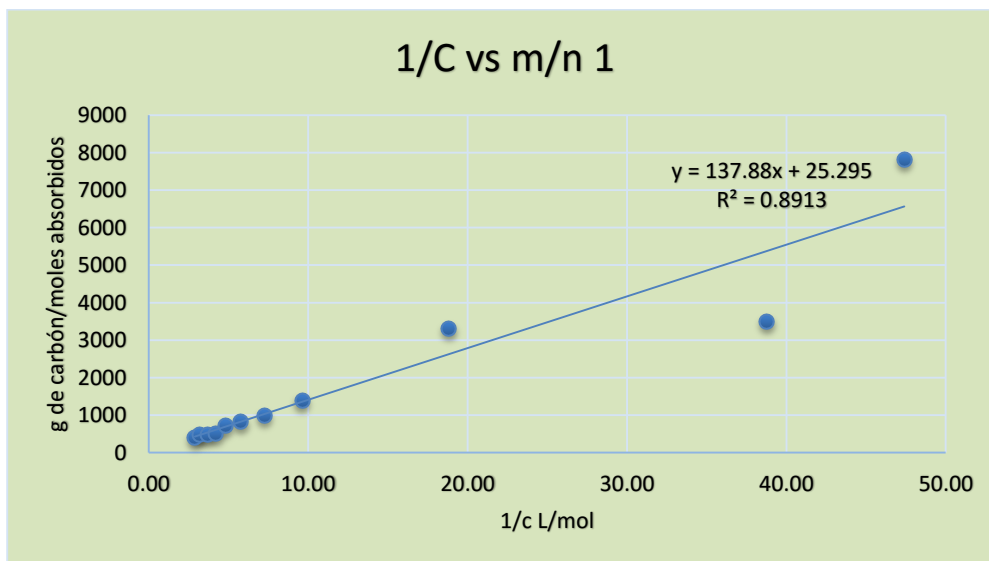
$$\frac{1}{C(\text{en equilibrio})} = \frac{1}{0.3453} = 2.89 \text{ L/mol}$$

Nota: El dato varía con el de tabla debido a que la hoja de Excel utiliza todos los decimales en la ecuación.

Gráfica 36.1: Isoterma de adsorción de Langmuir Carbón 1



Gráfica 36.2: Isoterma linealizada de Langmuir carbón 1



36.4 Cálculo para determinar la ecuación de Langmuir

m = masa del carbón (g)

q_e = cantidad de moles adsorbidos

C_e = concentración en equilibrio

q_{max} = Máxima capacidad de moles adsorbidos

b = constante de energía relacionada con el calor de adsorción

Ecuación linealizada de Langmuir:

$$\frac{m}{q_e} = \frac{m}{q_{max}} + \left(\frac{m}{q_{max} \cdot b}\right) * \frac{1}{C_e} \quad ec.1$$

Asumiendo que m= 1 la ecuación 1 queda de la siguiente manera:

$$\frac{m}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \left(\frac{1}{q_{max} \cdot b}\right) * \frac{1}{C_e} \quad ec.2$$

$$Y = a + bx$$

$$\text{Pendiente} = \frac{1}{q_{max} \cdot b}$$

$$\text{Ordenada en el origen} = \frac{1}{q_{max}}$$

Usando la ecuación de la recta del gráfico linealizado se obtienen los valores de q_{max} y b de la ecuación de Langmuir

$Y=137.88x + 25.295$ (Observación: esto está en dependencia de los cálculos correspondiente a la tabla 36.3)

$$\frac{1}{q_{max}} = 25.295$$

$$q_{max} = \frac{1}{25.295} = 0.03953$$

$$\frac{1}{q_{max} \cdot b} = 137.88$$

$$b = \frac{1}{q_{max} * 137.88} = \frac{1}{(0.03953)(137.88)} = 0.18347$$

Sustituyendo los valores de las constante en la ecuación de Langmuir

$$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e} = \frac{(0.03953)(0.18347) C_e}{1 + 0.18347 C_e}$$

$$q_e = \frac{7.25257 \times 10^{-3} C_e}{1 + 0.18347 C_e}$$

Tabla 36.4: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 1

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3453	0.1467	-1.0633	-1.9193
2	0.3548	0.3141	0.1221	-1.1581	-2.1027
3	0.3154	0.2734	0.1257	-1.2966	-2.0731
4	0.2759	0.2375	0.1154	-1.4375	-2.1589
5	0.2365	0.2086	0.0832	-1.5673	-2.4861
6	0.1971	0.1727	0.0734	-1.7564	-2.6104
7	0.1577	0.1375	0.0606	-1.9841	-2.8022
8	0.1183	0.1039	0.0429	-2.2642	-3.1483
9	0.0591	0.0531	0.0180	-2.9351	-4.0139
10	0.0315	0.0258	0.0171	-3.6581	-4.0662
11	0.0237	0.0211	0.0076	-3.8587	-4.8688

36.5 Cálculo para la construcción de la isoterma de Freundlich

Y= Gramos adsorbidos de ácido acético por gramos de carbón activo

C₀= Concentración inicial de ácido acético (M)

C_{final}= Concentración final de ácido acético (M)

V= Volumen de la solución de ácido acético (L)

PM= Peso molecular del ácido acético (g/mol)

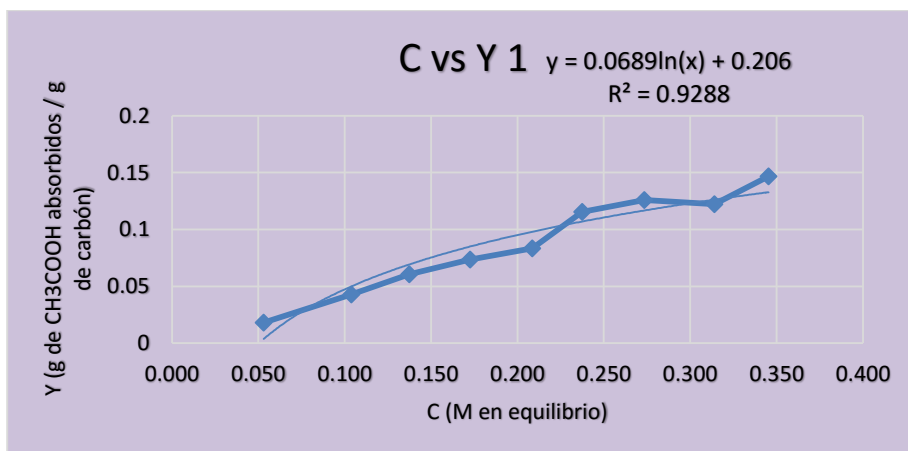
m= Masa del carbón activo (g)

$$Y = \frac{(C_0 - C_{final}) * V(L) * PM}{m} = \frac{(0.3943 - 0.3453)(0.05)(60.05)}{1.0020} = 0.1468 \frac{gCH_3COOH}{g \text{ adsorbente}}$$

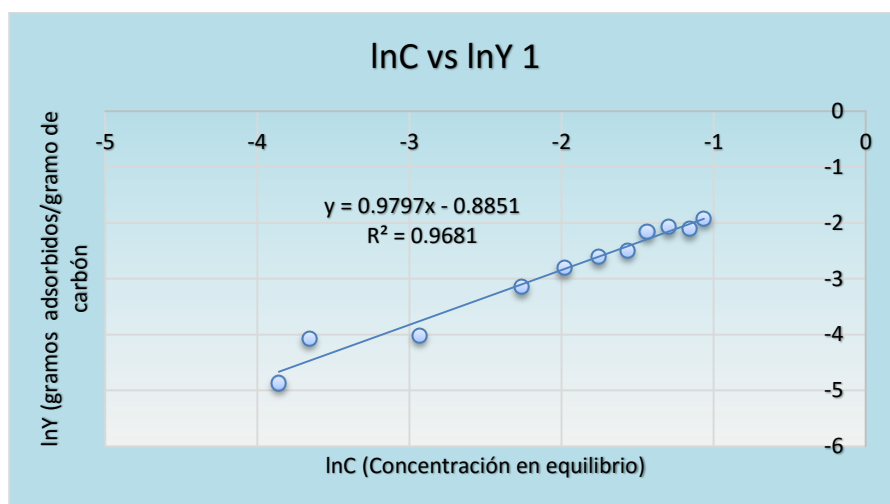
$$\ln C = \ln 0.3453 = -1.0633$$

$$\ln Y = \ln 0.1467 = -1.9193$$

Gráfica 36.3: Isotherma de adsorción de Freundlich carbón 1



Gráfica 36.4: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 1



36.6 Cálculo para determinar la ecuación de Freundlich

X= Concentración en equilibrio

n= gramos adsorbidos de ácido acético

k= la energía relacionada con el calor de adsorción

Ecuación linealizada de Freundlich

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln(x) + \ln K$$

$$Y = bx + a$$

$$\text{Pendiente} = \frac{1}{n}$$

$$\text{Ordenada en el origen} = \ln k$$

Usando la ecuación de la recta del gráfico linealizado se obtienen los valores de k y n de la ecuación de Freundlich

$$Y = 0.9797X - 0.8851$$

$$n = \frac{1}{\text{Pendiente}}$$

$$n = \frac{1}{0.9797} = 1.0207$$

$$\ln k = -0.8851$$

$$e^{\ln k} = e^{-0.8851}$$

$$k = 0.4127$$

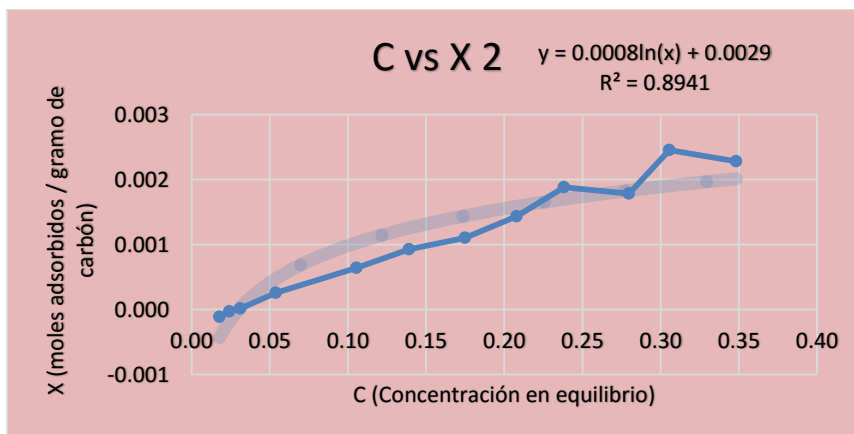
Sustituyendo los valores de las constante en la ecuación de Freundlich

$$\frac{x}{m} = K C e^{1/n} = 0.4127 C e^{0.9797}$$

Tabla 36.5: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en Excel para el carbón 2

Ensayo	Masa C2 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0043	44.2	0.3942	0.3484	0.00228	2.87	438.24
2	1.0057	40.2	0.3548	0.3055	0.00245	3.27	407.37
3	1.0002	35.0	0.3154	0.2797	0.00179	3.58	559.88
4	1.0027	30.4	0.2759	0.2383	0.00188	4.20	531.82
5	1.0013	26.7	0.2366	0.2078	0.00144	4.81	696.56
6	1.0016	22.1	0.1971	0.1750	0.00111	5.71	904.98
7	1.0029	17.6	0.1577	0.1391	0.00093	7.19	1075.74
8	1.0016	13.3	0.1183	0.1055	0.00064	9.48	1563.47
9	1.0074	6.8	0.0591	0.0539	0.00026	18.55	3849.17
10	1.0068	3.3	0.0315	0.0313	0.00001	32.00	69037.71
11	1.0025	2.7	0.0237	0.0242	-0.00003	41.29	-35644.44
12	1.0074	2.1	0.0158	0.0180	-0.00011	55.65	-9166.86

Gráfica 36.5: Isotherma de adsorción de Langmuir carbón 2



Gráfica 36.6: Isoterma linealizada de Langmuir carbón 2

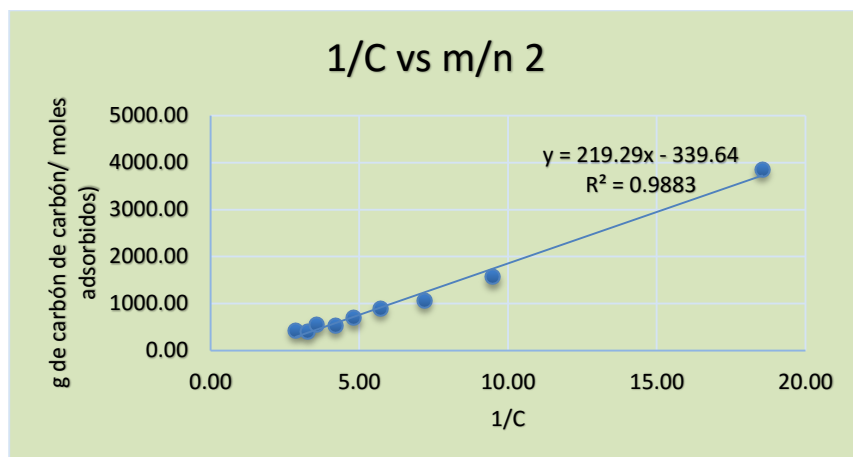
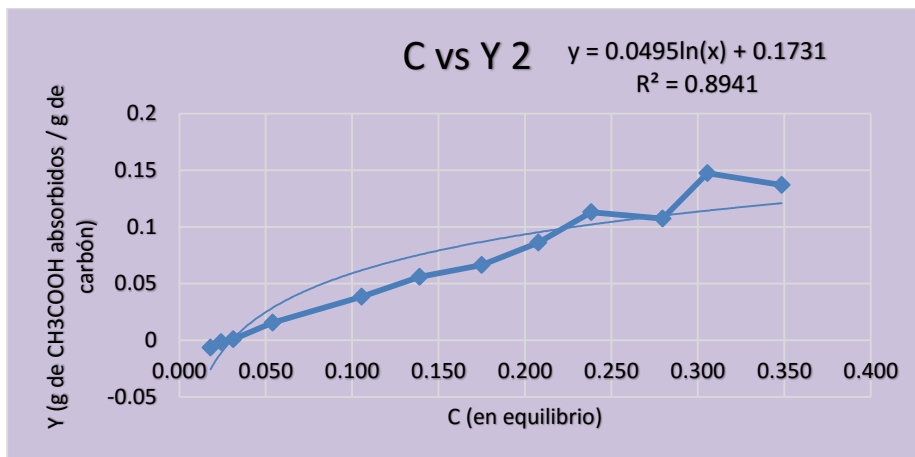


Tabla 36.6: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 2

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3484	0.1467	-1.0542	-1.9875
2	0.3548	0.3055	0.1221	-1.1859	-1.9145
3	0.3154	0.2797	0.1258	-1.2740	-2.2325
4	0.2759	0.2383	0.1154	-1.4343	-2.1811
5	0.2366	0.2078	0.0832	-1.5711	-2.4509
6	0.1971	0.1750	0.0734	-1.7429	-2.7127
7	0.1577	0.1391	0.0606	-1.9728	-2.8855
8	0.1183	0.1055	0.0429	-2.2493	-3.2594
9	0.0591	0.0539	0.0180	-2.9205	-4.1604
10	0.0315	0.0313	0.0171	-3.4657	-7.0472
11	0.0237	0.0242	0.0076	-	-
12	0.0158	0.0180	-0.0065	-	-

Gráfica 36.7: Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 2



Gráfica 36.8: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 2

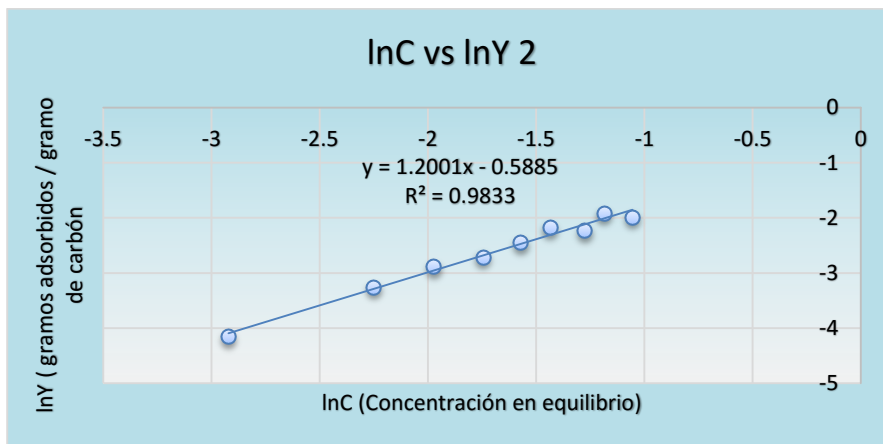
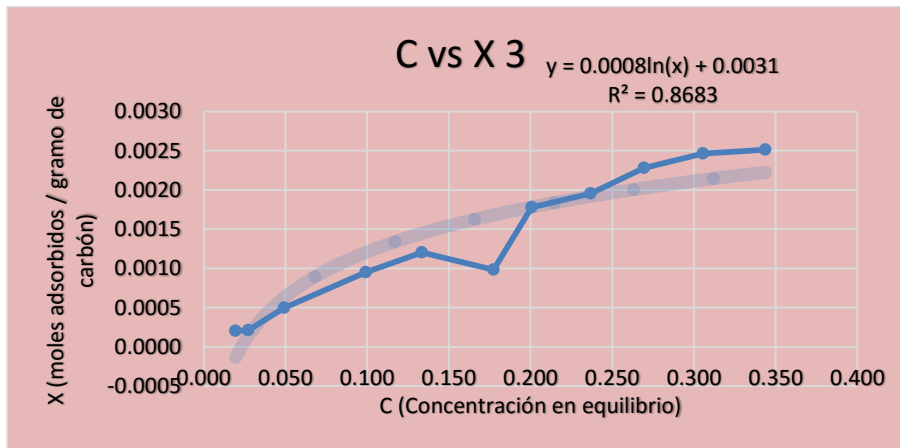


Tabla 36.7: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 3

Ensayo	Masa C3 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0040	44.2	0.3942	0.3438	0.0025	2.91	397.46
2	1.0011	40.2	0.3548	0.3055	0.0024	3.27	405.51
3	1.005	35.0	0.3154	0.2695	0.0022	3.71	438.05
4	1.0036	30.4	0.2759	0.2367	0.0019	4.22	511.12
5	1.0063	26.7	0.2366	0.2008	0.0017	4.98	562.47
6	1.0059	22.1	0.1971	0.1773	0.0009	5.64	1016.49
7	1.0014	17.6	0.1577	0.1336	0.0012	7.49	830.53
8	1.0008	13.3	0.1183	0.0992	0.0009	10.08	1050.02
9	1.0001	6.8	0.0591	0.0492	0.0004	20.32	2015.95
10	1.0006	3.3	0.0315	0.0273	0.0002	36.57	4767.13
11	1.0067	2.7	0.0237	0.0195	0.0002	51.20	4880.97

Gráfica 36.9: Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 3



Gráfica 36.10: Isoterma linealizada de Langmuir carbón 3

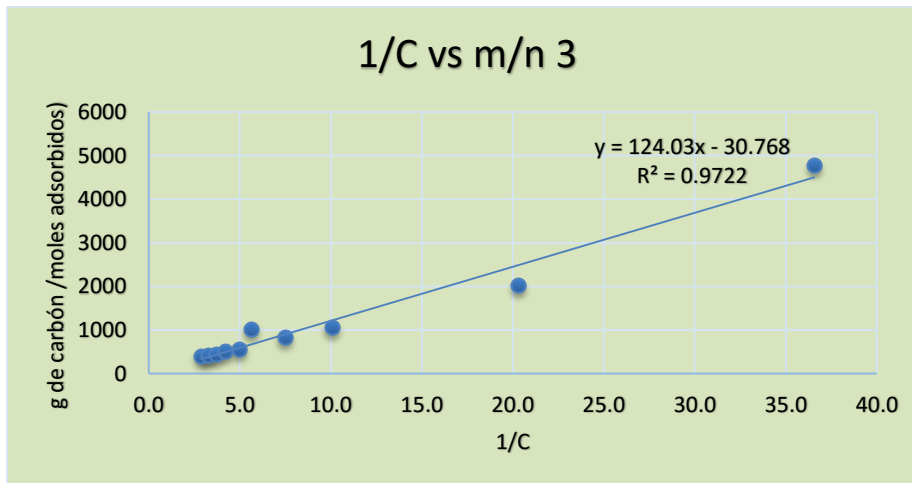
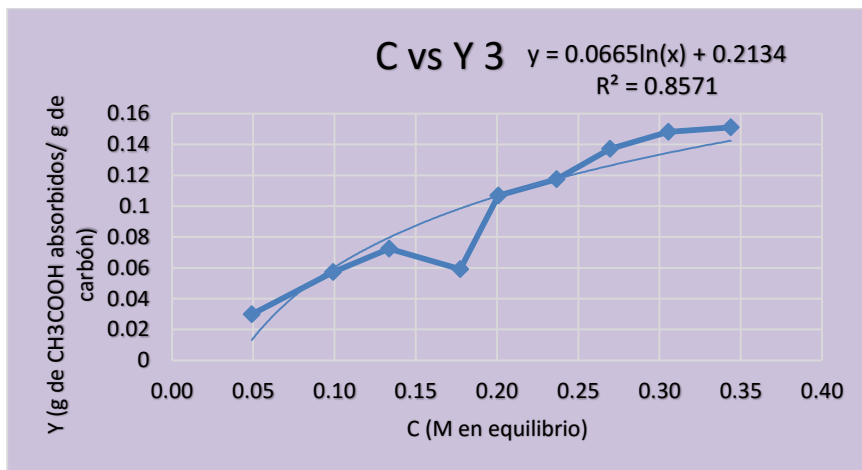


Tabla 36.8: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 3

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3438	0.1510	-1.0678	-1.8899
2	0.3548	0.3055	0.1480	-1.1859	-1.9099
3	0.3154	0.2695	0.1370	-1.3110	-1.9871
4	0.2759	0.2367	0.1174	-1.4408	-2.1414
5	0.2366	0.2008	0.1067	-1.6055	-2.2371
6	0.1971	0.1773	0.0590	-1.7296	-2.8289
7	0.1577	0.1336	0.0723	-2.0129	-2.6268
8	0.1183	0.0992	0.0571	-2.3104	-2.8613
9	0.0591	0.0492	0.0297	-3.0114	-3.5136
10	0.0315	0.0273	0.0125	-3.5992	-4.3743
11	0.0237	0.0195	0.0123	-3.9357	-4.3979

Gráfica 36.11: Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 3



Gráfica 36.12: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 3

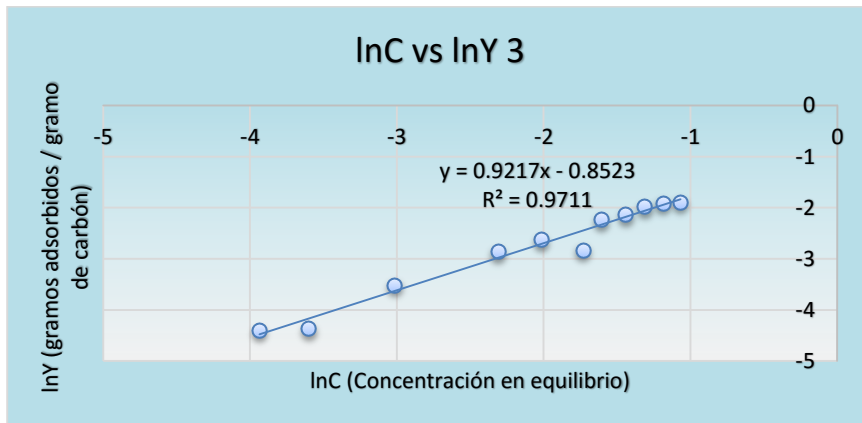
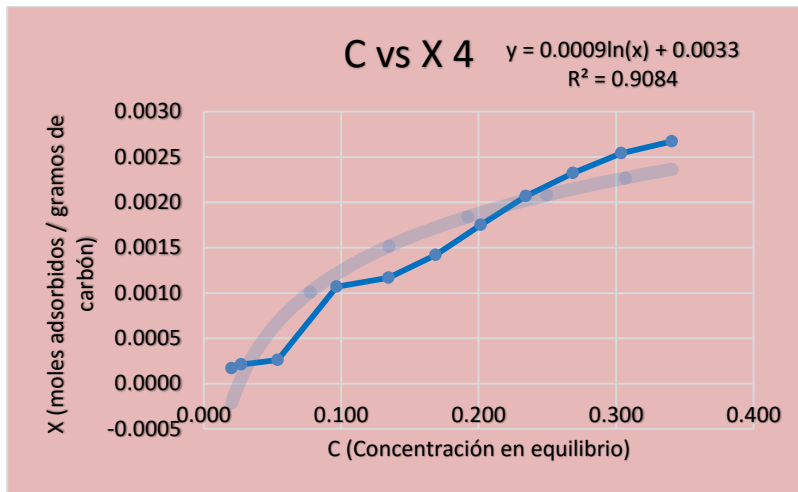


Tabla 36.9: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 4

Ensayo	Masa C4 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0042	44.2	0.3942	0.3406	0.0026	2.94	374.38
2	1.0017	40.2	0.3548	0.3039	0.0025	3.29	393.31
3	1.0055	35.0	0.3154	0.2688	0.0023	3.72	430.93
4	1.0058	30.4	0.2759	0.2344	0.0020	4.27	483.39
5	1.0000	26.7	0.2366	0.2016	0.0017	4.96	571.43
6	1.0000	22.1	0.1971	0.1688	0.0014	5.93	704.59
7	1.0005	17.6	0.1577	0.1344	0.0011	7.44	857.57
8	1.0001	13.3	0.1183	0.0969	0.0010	10.32	934.40
9	1.0001	6.8	0.0591	0.0539	0.0002	18.55	3821.28
10	1.0005	3.3	0.0315	0.0273	0.0002	36.57	4766.65
11	1.0000	2.7	0.0237	0.0203	0.0001	49.23	5981.31

Gráfica 36.13: Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 4



Gráfica 36.14: Isoterma de Langmuir linealizada carbón 4

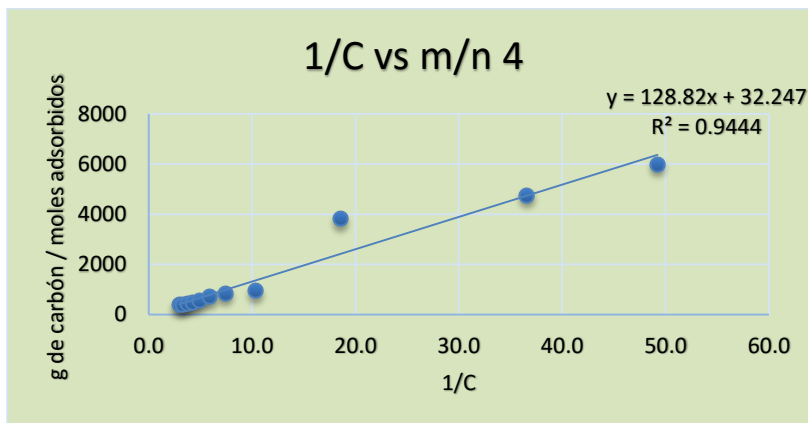
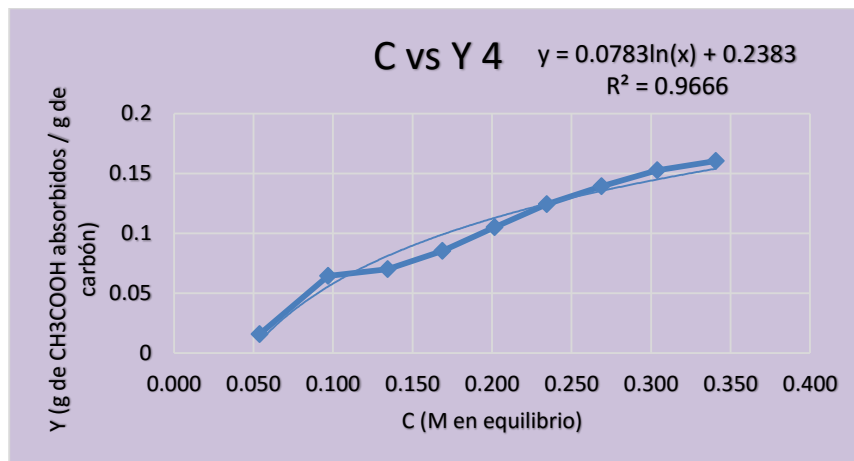


Tabla 36.10: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 4

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3406	0.1603	-1.0769	-1.8300
2	0.3548	0.3039	0.1526	-1.1910	-1.8794
3	0.3154	0.2688	0.1393	-1.3139	-1.9707
4	0.2759	0.2344	0.1242	-1.4508	-2.0856
5	0.2366	0.2016	0.1050	-1.6016	-2.2529
6	0.1971	0.1688	0.0852	-1.7793	-2.4624
7	0.1577	0.1344	0.0700	-2.0071	-2.6589
8	0.1183	0.0969	0.0642	-2.3343	-2.7447
9	0.0591	0.0539	0.0157	-2.9205	-4.1531
10	0.0315	0.0273	0.0125	-3.5992	-4.3742
11	0.0237	0.0203	0.0100	-3.8965	-4.6012

Gráfica 36.15: Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 4



Gráfica 36.16: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 4

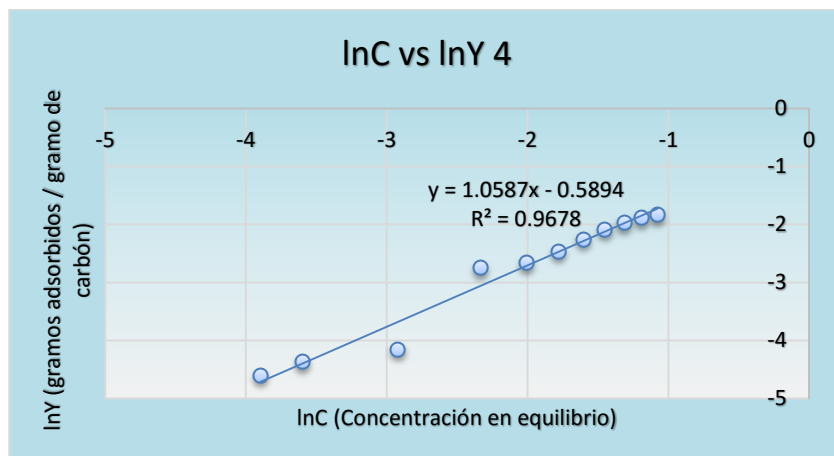
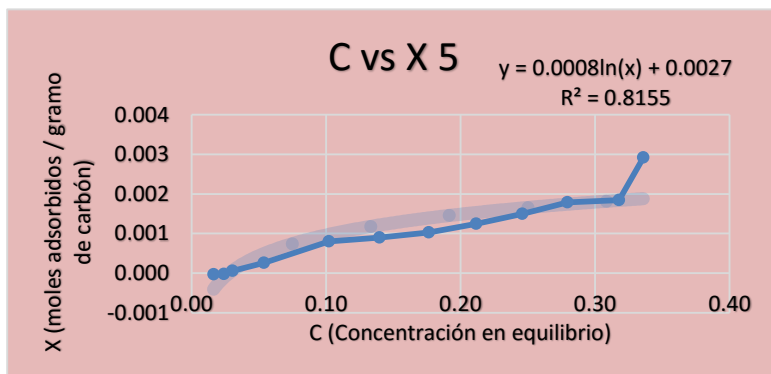


Tabla 36.11: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 5

Ensayo	Masa C5 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0005	44.2	0.3942	0.3359	0.00291	2.98	343.03
2	1.0001	40.2	0.3548	0.3180	0.00184	3.14	542.43
3	1.0000	35.0	0.3154	0.2797	0.00178	3.58	559.77
4	1.0000	30.4	0.2759	0.2461	0.00149	4.06	668.99
5	1.0000	26.7	0.2366	0.2117	0.00124	4.72	805.03
6	1.0001	22.1	0.1971	0.1766	0.00102	5.66	972.25
7	1.0001	17.6	0.1577	0.1398	0.00089	7.15	1119.65
8	1.0001	13.3	0.1183	0.1023	0.00079	9.77	1255.03
9	1.0000	6.8	0.0591	0.0539	0.00026	18.55	3820.90
10	1.0001	3.3	0.0315	0.0305	0.00005	32.82	18642.64
11	1.0001	2.7	0.0237	0.0242	-0.00002	-	-
12	1.0001	2.1	0.0158	0.0165	-0.00003	-	-

Gráfica 36.17: Isotherma de adsorción de Langmuir carbón 5



Gráfica 36.18: Isotherma de adsorción linealizada de Langmuir carbón 5

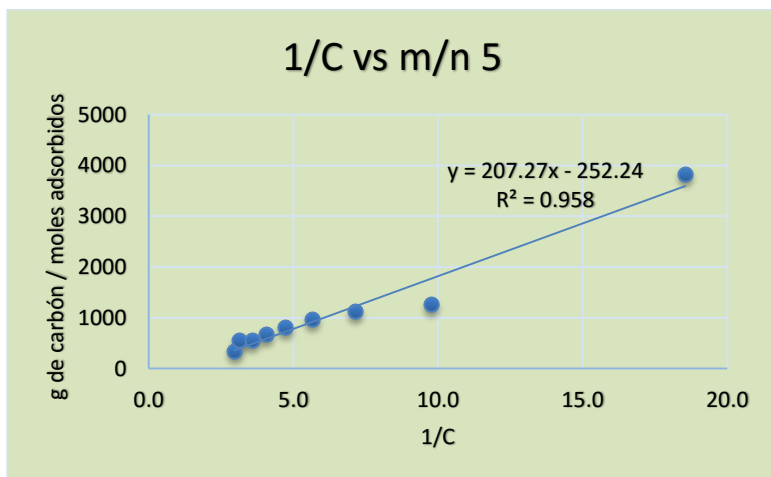
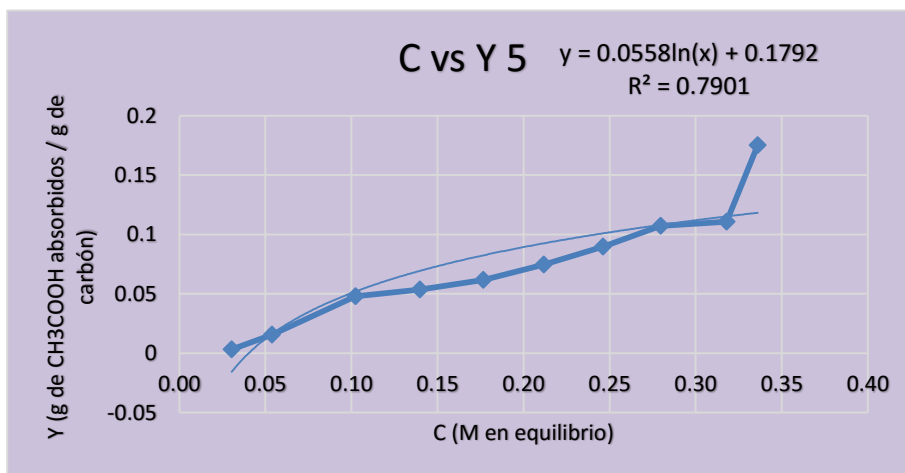


Tabla 36.12: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 5

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3359	0.1750	-1.0908	-1.7426
2	0.3548	0.3180	0.1107	-1.1458	-2.2008
3	0.3154	0.2797	0.1072	-1.2740	-2.2323
4	0.2759	0.2461	0.0897	-1.4020	-2.4105
5	0.2366	0.2117	0.0745	-1.5524	-2.5957
6	0.1971	0.1766	0.0617	-1.7340	-2.7844
7	0.1577	0.1398	0.0536	-1.9672	-2.9255
8	0.1183	0.1023	0.0478	-2.2794	-3.0397
9	0.0591	0.0539	0.0157	-2.9205	-4.1530
10	0.0315	0.0305	0.0032	-3.4910	-5.7380
11	0.0237	0.0242	-0.0016	-	-

Gráfica 36.19: Isotherma de adsorción de Freundlich carbón 5



Gráfica 36.20: Isotherma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 5

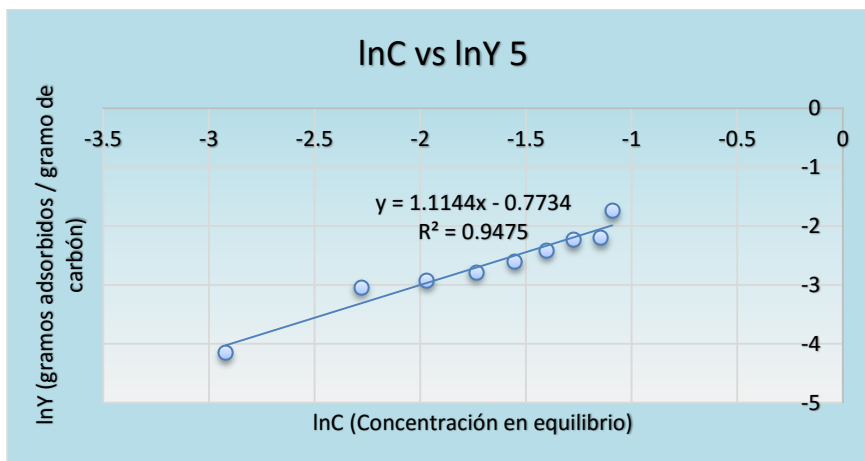
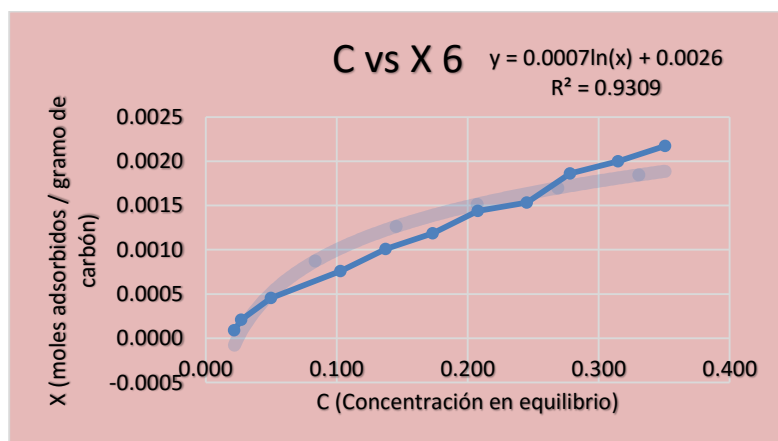


Tabla 36.13: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 6

Ensayo	Masa C6 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0000	44.2	0.3942	0.3508	0.00217	2.85	459.88
2	1.0005	40.2	0.3548	0.3148	0.00199	3.18	500.25
3	1.0002	35.0	0.3154	0.2781	0.00186	3.60	536.42
4	1.0000	30.4	0.2759	0.2453	0.00153	4.08	651.95
5	1.0000	26.7	0.2366	0.2078	0.00143	4.81	695.65
6	1.0000	22.1	0.1971	0.1734	0.00118	5.77	843.96
7	1.0000	17.6	0.1577	0.1375	0.00101	7.27	989.69
8	1.0002	13.3	0.1183	0.1031	0.00075	9.70	1319.85
9	1.0000	6.8	0.0591	0.0500	0.00045	20.00	2188.03
10	1.0000	3.3	0.0315	0.0273	0.00020	36.57	4764.27
11	1.0001	2.7	0.0237	0.0219	0.00008	45.71	11229.19
12	1.0000	2.1	0.0158	0.3508	0.00217	2.85	459.88

Gráfica 36.21: Isotherma de adsorción de Langmuir carbón 6



Gráfica 36.22: Isoterma linealizada de Langmuir carbón 6

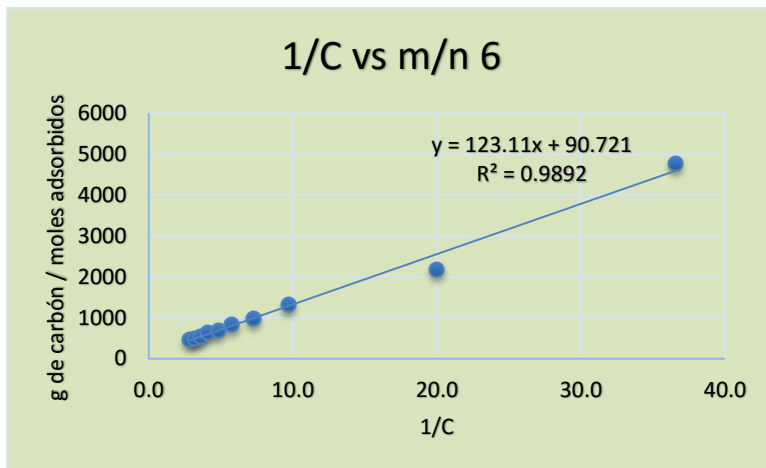
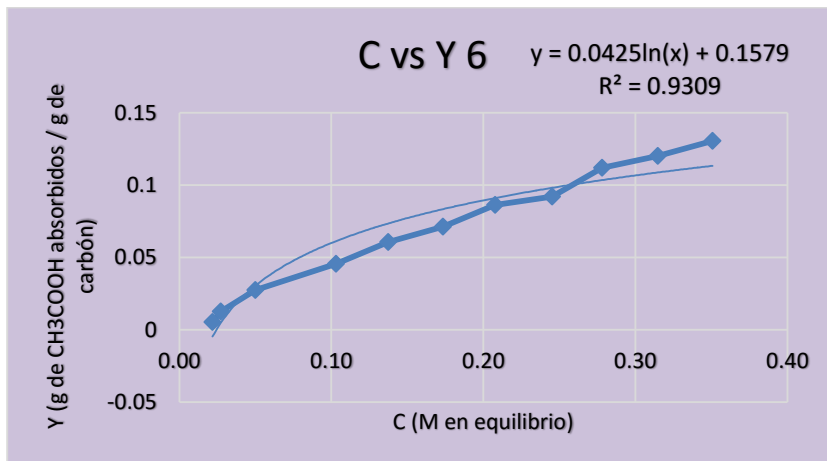


Tabla 36.14: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 6

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3508	0.1305	-1.0475	-2.0357
2	0.3548	0.3148	0.1200	-1.1556	-2.1199
3	0.3154	0.2781	0.1119	-1.2796	-2.1897
4	0.2759	0.2453	0.0921	-1.4052	-2.3847
5	0.2366	0.2078	0.0863	-1.5711	-2.4496
6	0.1971	0.1734	0.0711	-1.7519	-2.6429
7	0.1577	0.1375	0.0606	-1.9841	-2.8022
8	0.1183	0.1031	0.0454	-2.2718	-3.0907
9	0.0591	0.0500	0.0274	-2.9957	-3.5955
10	0.0315	0.0273	0.0126	-3.5992	-4.3737
11	0.0237	0.0219	0.0053	-	-

Gráfica 36.23: Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 6



Gráfica 36.24: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 6

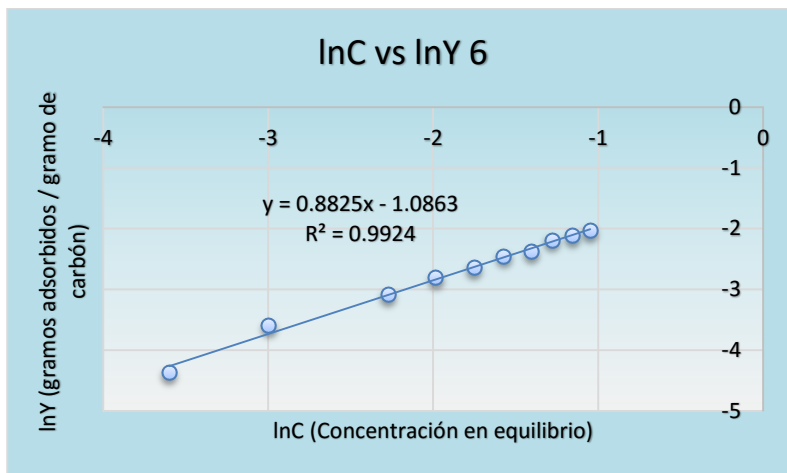
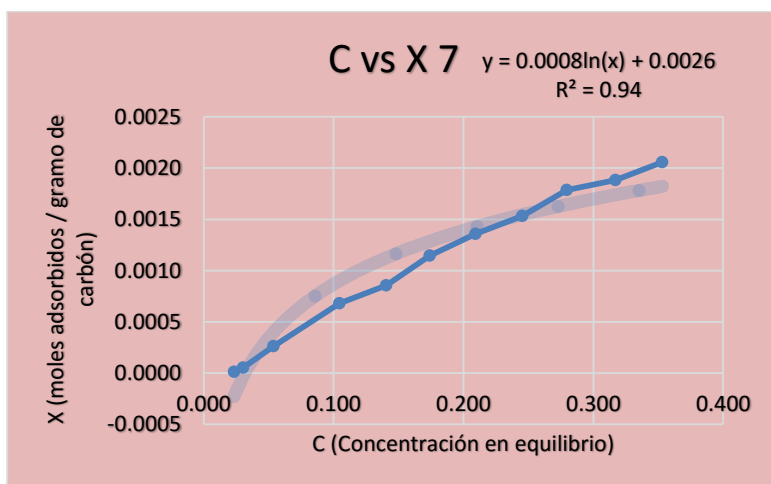


Tabla 36.15: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 7

Ensayo	Masa C7 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0000	44.2	0.3942	0.3531	0.00205	2.83	486.08
2	1.0000	40.2	0.3548	0.3172	0.00188	3.15	531.12
3	1.0001	35.0	0.3154	0.2797	0.00178	3.58	559.82
4	1.0001	30.4	0.2759	0.2453	0.00153	4.08	652.02
5	1.0001	26.7	0.2366	0.2094	0.00135	4.78	735.71
6	1.0001	22.1	0.1971	0.1742	0.00114	5.74	872.81
7	1.0000	17.6	0.1577	0.1406	0.00085	7.11	1170.73
8	1.0000	13.3	0.1183	0.1047	0.00067	9.55	1471.26
9	1.0001	6.8	0.0591	0.0539	0.00026	18.55	3821.28
10	1.0001	3.3	0.0315	0.0305	0.00005	-	-
11	1.0001	2.7	0.0237	0.0234	0.00001	-	-

Gráfica 36.25: Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 7



Gráfica 36.26: Isoterma linealizada de Langmuir carbón 7

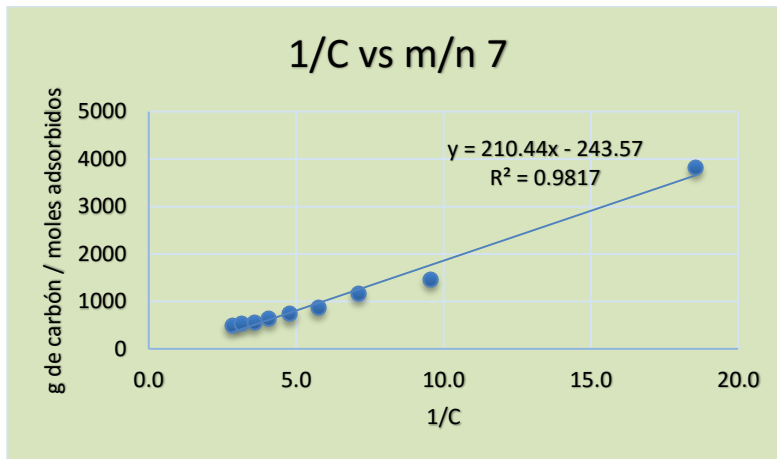
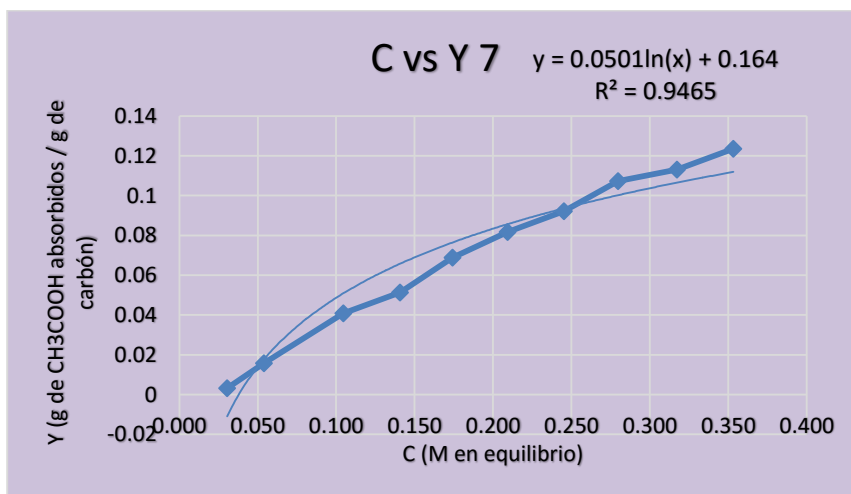


Tabla 36.16: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 7

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3531	0.1235	-1.0409	-2.0911
2	0.3548	0.3172	0.1130	-1.1482	-2.1798
3	0.3154	0.2797	0.1072	-1.2740	-2.2324
4	0.2759	0.2453	0.0921	-1.4052	-2.3848
5	0.2366	0.2094	0.0816	-1.5636	-2.5059
6	0.1971	0.1742	0.0688	-1.7474	-2.6765
7	0.1577	0.1406	0.0512	-1.9616	-2.9702
8	0.1183	0.1047	0.0408	-2.2567	-3.1986
9	0.0591	0.0539	0.0157	-2.9205	-4.1531
10	0.0315	0.0305	0.0032	-	-

Gráfica 36.27: Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 7



Gráfica 36.28: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 7

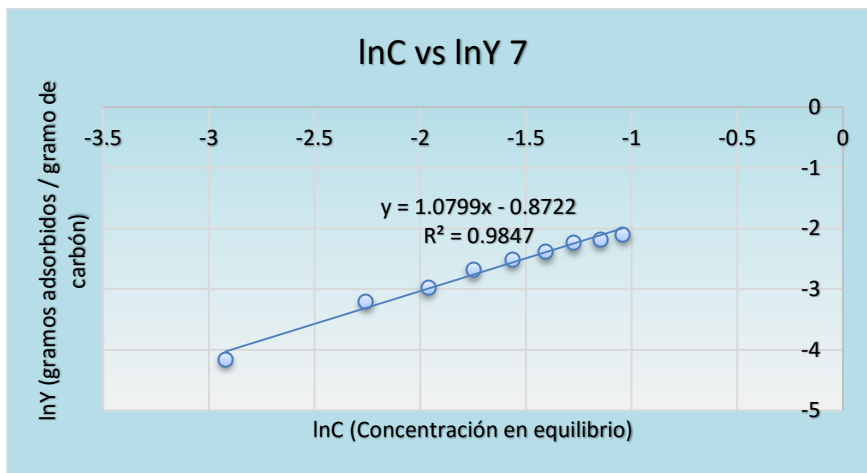
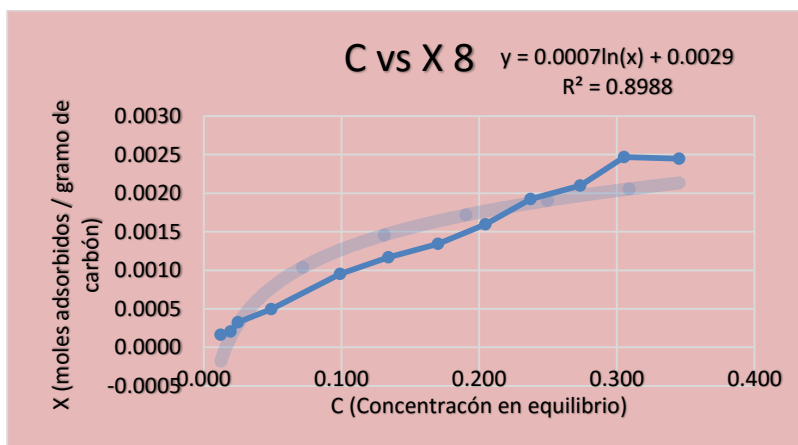


Tabla 36.17: Datos para construcción de la isoterma de Langmuir, calculados en excel para el carbón 8

Ensayo	Masa C8 g	Volumen NaOH mL	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	X (moles en equilibrio /gramos de carbón)	1/c	m/n
1	1.0001	44.2	0.3942	0.3453	0.00244	2.90	408.55
2	1.0000	40.2	0.3548	0.3055	0.00246	3.27	405.06
3	1.0000	35.0	0.3154	0.2734	0.00209	3.66	476.43
4	1.0000	30.4	0.2759	0.2375	0.00192	4.21	519.62
5	1.0000	26.7	0.2366	0.2047	0.00159	4.89	627.45
6	1.0000	22.1	0.1971	0.1703	0.00134	5.87	745.63
7	1.0000	17.6	0.1577	0.1344	0.00116	7.44	857.14
8	1.0000	13.3	0.1183	0.0992	0.00095	10.08	1049.18
9	1.0001	6.8	0.0591	0.0492	0.00049	20.32	2015.95
10	1.0000	3.3	0.0315	0.0250	0.00032	40.00	3057.32
11	1.0000	2.7	0.0237	0.0195	0.00020	51.20	4848.48
12	1.0001	2.1	0.0158	0.0125	0.00016	80.00	6115.26

Gráfica 36.29: Isoterma de adsorción de Langmuir carbón 8



Gráfica 36.30: Isoterma linealizada de Langmuir carbón 8

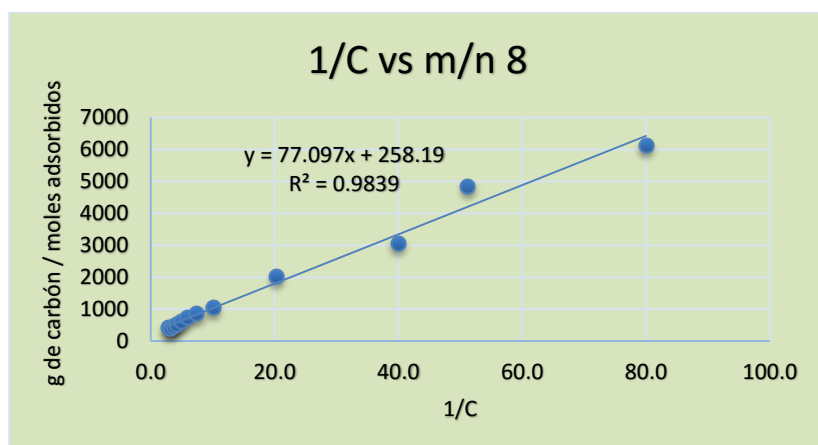
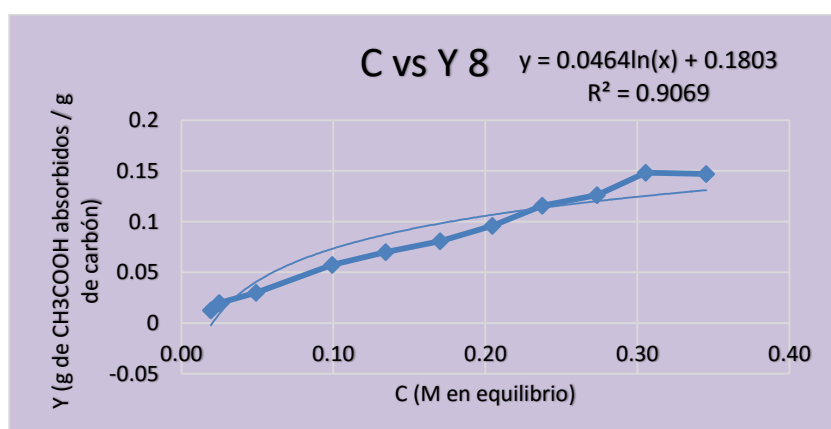


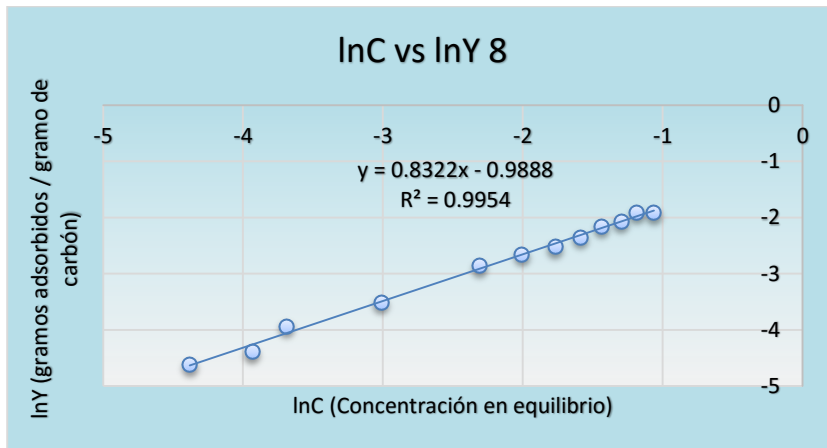
Tabla 36.18: Datos para construcción de la isoterma de Freundlich, calculados en excel para el carbón 8

Ensayo	M (CH ₃ COOH soluciones)	C (M en equilibrio)	Y (gramos adsorbidos / gramos de carbón)	lnC	lnY
1	0.3942	0.3453	0.14698	-1.0633	-1.9174
2	0.3548	0.3055	0.1482	-1.1859	-1.9088
3	0.3154	0.2734	0.1260	-1.2966	-2.0711
4	0.2759	0.2375	0.1155	-1.4375	-2.1579
5	0.2366	0.2047	0.0957	-1.5862	-2.3464
6	0.1971	0.1703	0.0805	-1.7701	-2.5191
7	0.1577	0.1344	0.0700	-2.0071	-2.6584
8	0.1183	0.0992	0.0572	-2.3104	-2.8605
9	0.0591	0.0492	0.0297	-3.0114	-3.5136
10	0.0315	0.0250	0.0196	-3.6888	-3.9301
11	0.0237	0.0195	0.0123	-3.9357	-4.3912

Gráfica 36.31: Isoterma de adsorción de Freundlich carbón 8



Gráfica 36.32: Isoterma de adsorción de Freundlich linealizada carbón 8



Anexo 37

37.1. Contenido total de cenizas del carbón activo (ASTM D2866-11)

Flujograma 37.1: Análisis del contenido total de cenizas de carbón activo



Tabla 37.1: Contenido total de cenizas de los carbones activos

Ensayo	Crisol Vacío	Masa carbón g	Crisol con Masa Seca	% Cenizas	Promedio de % Cenizas	Incertidumbre ±
C1	19.41	1.02	19.87	46.00	45.22	0.40
	18.92	1.01	19.37	45.00		
	19.14	1.03	19.60	45.66		
C2	19.19	1.07	19.57	38.00	37.33	1.20
	33.79	1.07	34.18	39.00		
	18.70	1.00	19.05	35.00		
C3	18.64	1.01	18.78	14.00	14.67	0.66
	19.59	1.00	19.73	14.00		
	18.15	1.00	18.31	16.00		
C4	18.70	1.01	18.78	8.00	13.00	3.94
	33.77	1.00	33.92	15.00		
	19.59	1.00	19.75	16.00		
C5	18.86	1.00	19.07	21.00	19.00	1.53
	18.08	1.00	18.28	20.00		
	19.56	1.00	19.72	16.00		
C6	19.83	1.00	20.01	18.00	17.33	1.20
	17.91	1.00	18.10	19.00		
	19.27	1.00	19.42	15.00		
C7	19.22	1.01	19.38	16.00	17.00	0.58
	19.17	1.01	19.34	17.00		
	19.63	1.00	19.81	18.00		
C8	18.94	1.02	19.04	10.00	9.33	0.33
	19.44	1.04	19.53	9.00		
	18.19	1.00	18.28	9.00		

37.2 Cálculo para el porcentaje de cenizas en carbón activado

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{masa}_{\text{final}} - \text{Crisol}_{\text{vacío}}}{\text{masa}_{\text{muestra}}} * 100 = \frac{19.87 - 19.41}{1.02} * 100 = 46.00\%$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 [(46 - 45.22)^2 + (45 - 45.22)^2 + (44.66 - 45.22)^2]} = 0.70$$

$$\text{Incertidumbre C1} = \frac{0.70}{\sqrt{3}} = 0.40$$

Anexo 38

38.1. Materiales solubles en agua del carbón activo (ASTM D5029-98/2014)

Flujograma 38.1: Análisis del porcentaje de materias solubles en agua de carbón activo

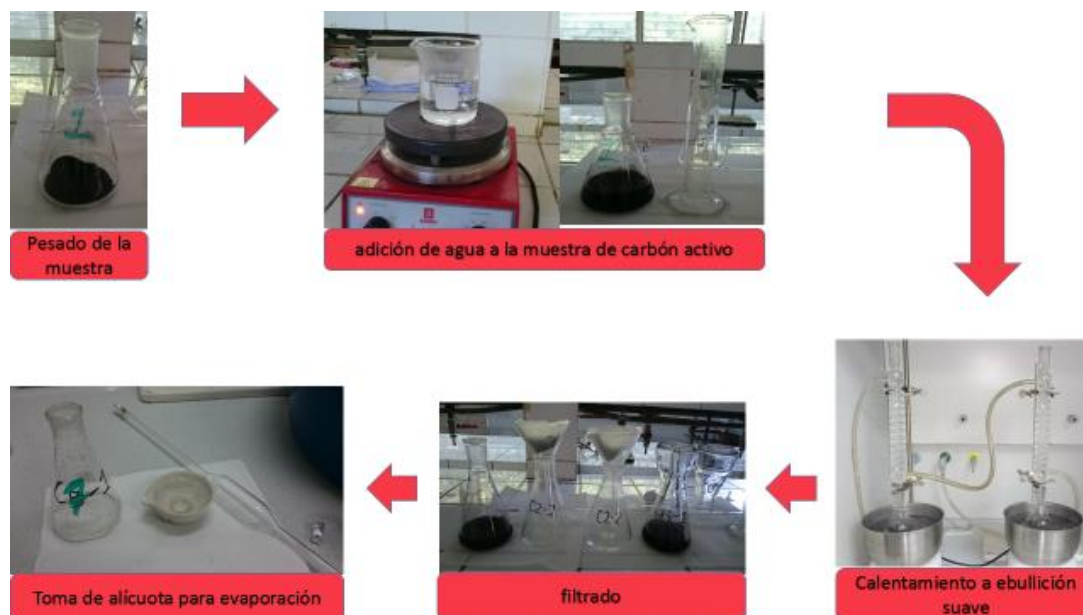


Tabla 38.1: porcentaje de Materias solubles en agua de carbón activo.

Muestras De Carbón	Volumen agua mL	Alícuota agua mL	Masa del carbón g	Peso inicial (crisol vacío) g	peso final g	% solubles	Promedio % Solubles	Incertidumbre \pm
C1-1	100	50	10.0004	45.2123	47.2457	40.6664	40.37	0.24
C1-2	100	50	10.0005	46.5176	48.5215	40.0760		
C2-1	100	50	10.0007	45.2123	46.7603	30.9578	28.65	1.88
C2-2	100	50	10.0003	46.5176	47.8351	26.3492		
C3-1	100	50	10.0004	47.1123	47.9925	17.6033	15.08	2.06
C3-2	100	50	10.0001	47.8674	48.4952	12.5559		
C4-1	100	50	10.0050	47.8668	48.6952	16.5597	17.14	0.47
C4-2	100	50	10.0066	46.5135	47.4002	17.7223		
C5-1	100	50	10.0000	47.2993	48.2968	19.9500	18.31	1.33
C5-2	100	50	10.0005	46.7543	47.5882	16.6772		
C6-1	100	50	10.0001	47.0983	47.9784	17.6018	19.36	1.44
C6-2	100	50	10.0001	45.2030	46.2591	21.1218		
C7-1	100	50	10.0000	47.1123	48.5014	27.7820	27.96	0.15
C7-2	100	50	10.0001	47.8674	49.2747	28.1457		
C8-1	100	50	10.0000	47.2806	48.3126	20.6400	20.85	0.17
C8-2	100	50	10.0004	46.7498	47.8031	21.0652		

38.2 Cálculo para determinar el porcentaje de materia soluble en agua

A = masa de cápsula de evaporación (g)

B = masa de cápsula de evaporación más residuo (g)

C = masa de carbono (g)

D = volumen de agua utilizado en la extracción (mL)

E = volumen de alícuota utilizada (mL)

$$\% \text{ solubles en agua} = \frac{(B - A)(D)(100)}{(C)(E)} = \frac{(47.2457 - 45.2123)(100\text{mL})}{(10.0004\text{g})(50\text{mL})} * 100$$

$$\% \text{Solubles en agua} = 40.6664$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{2-1} \sum_{i=1}^3 [(40.6664 - 40.3712)^2 + (40.0760 - 40.3712)^2]} = 0.42$$

$$\text{Incertidumbre } C1 = \frac{0.42}{\sqrt{3}} = 0.24$$

Anexo 39

39.1. pH del carbón activo

Flujograma 39.1: Análisis del pH del carbón activo

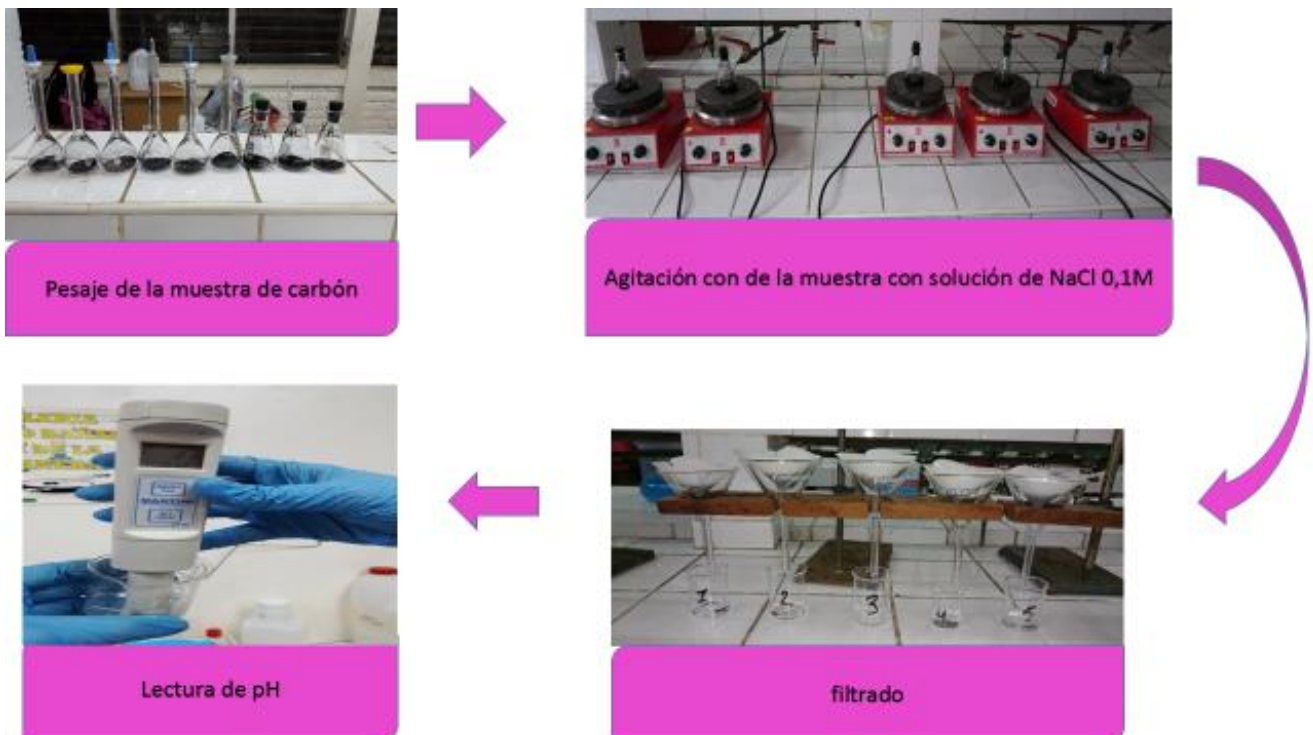
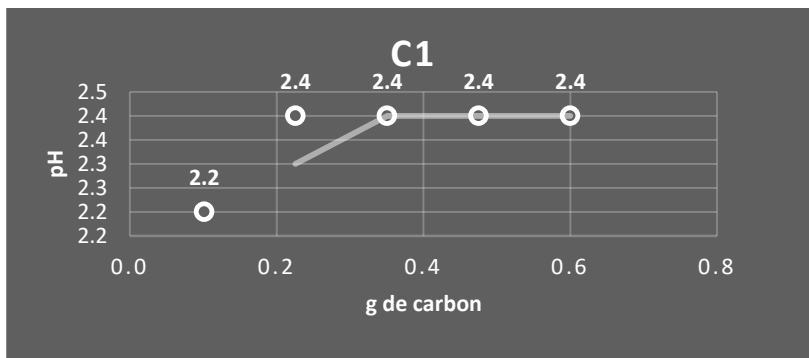


Tabla 39.1: pH del carbón activo número 1

Muestra	C1	pH _{PCC}
1	0.1013	2.2
2	0.2254	2.4
3	0.3505	2.4
4	0.4750	2.4
5	0.6001	2.4

Gráfica 39.1: pH en el punto de carga cero del carbón 1



El pH en el punto de carga cero se obtiene en la gráfica, cuando el valor del pH se vuelve constante. Para el caso del pH_{PCC} del carbón 1 es igual a 2.4

Tabla 39.2: pH del carbón activo número 2

Muestra	C2	pH _{PCC}
1	0.1002	2.5
2	0.2253	2.4
3	0.3502	2.3
4	0.4750	2.3
5	0.6002	2.3

Gráfica 39.2: pH en el punto de carga cero del carbón activo 2

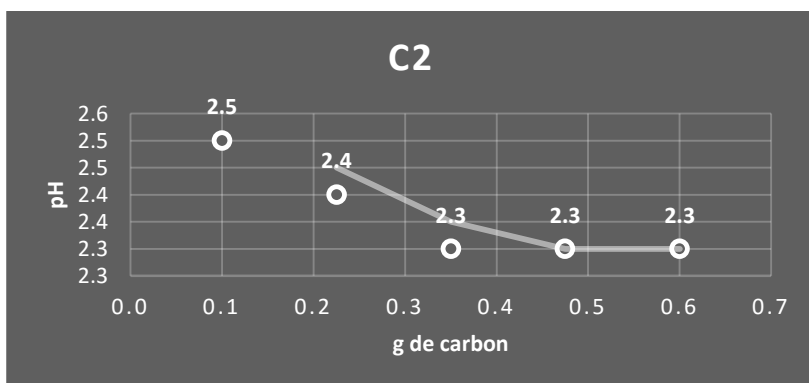


Tabla 39.3: pH del carbón activo número 3

Muestra	C3	pH _{PCC}
1	0.1043	2.1
2	0.2253	2.2
3	0.3501	2.3
4	0.4750	2.3
5	0.6000	2.3

Gráfica 39.3: pH en el punto de carga cero del carbón activo 3

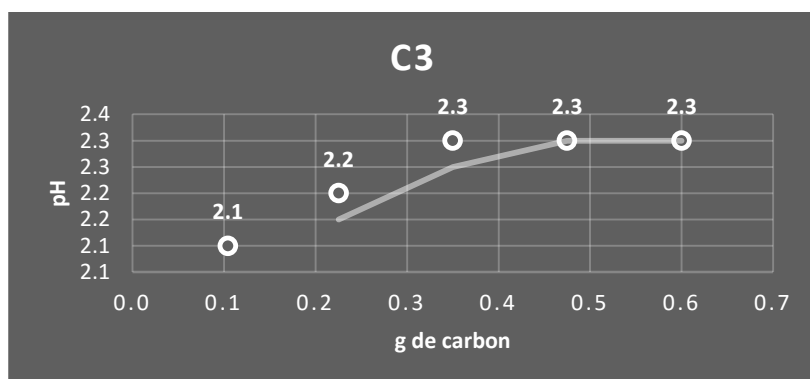


Tabla 39.4: pH del carbón activo número 4

Muestra	C4	pH _{PCC}
1	0.1001	2.3
2	0.2250	2.4
3	0.3502	2.4
4	0.4751	2.4
5	0.6004	2.4

Gráfica 39.4: pH en el punto de carga cero del carbón activo 4

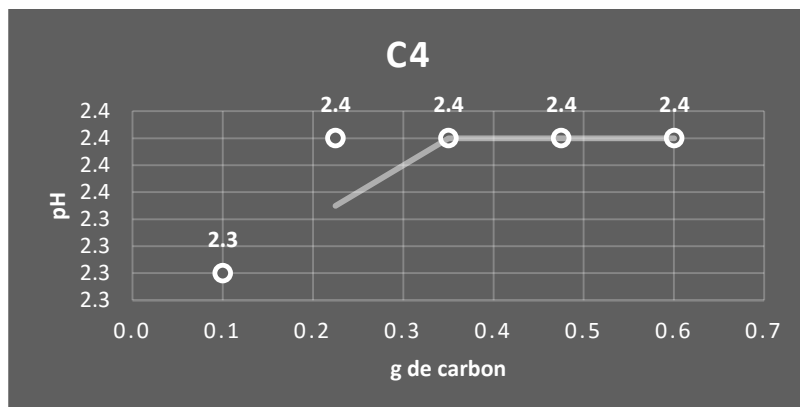


Tabla 39.5: pH del carbón activo número 5

Muestra	C5	pHPCC
1	0.1009	3.6
2	0.2251	3.5
3	0.3505	3.4
4	0.4754	3.4
5	0.6001	3.4

Gráfica 39.5: pH en el punto de carga cero del carbón activo 5

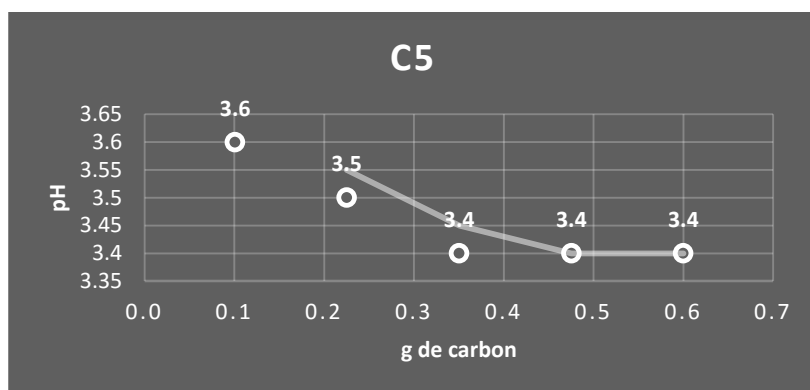


Tabla 39.6: pH del carbón activo número 6

Muestra	C6	pHPCC
1	0.1002	3.6
2	0.2253	3.5
3	0.3502	3.5
4	0.4752	3.5
5	0.6005	3.5

Gráfica 39.6: pH en el punto de carga cero del carbón activo 6

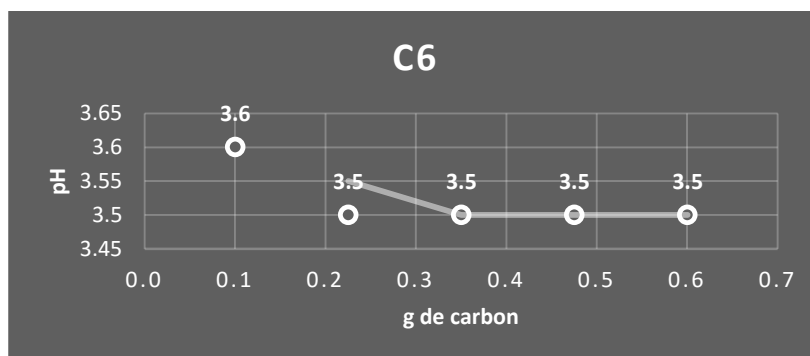


Tabla 39.7: pH del carbón activo número 7

Muestra	C7	pH _{PCC}
1	0.1001	3.9
2	0.2250	3.7
3	0.3500	3.7
4	0.4750	3.7
5	0.6000	3.7

Gráfica 39.7: pH en el punto de carga cero del carbón activo 7

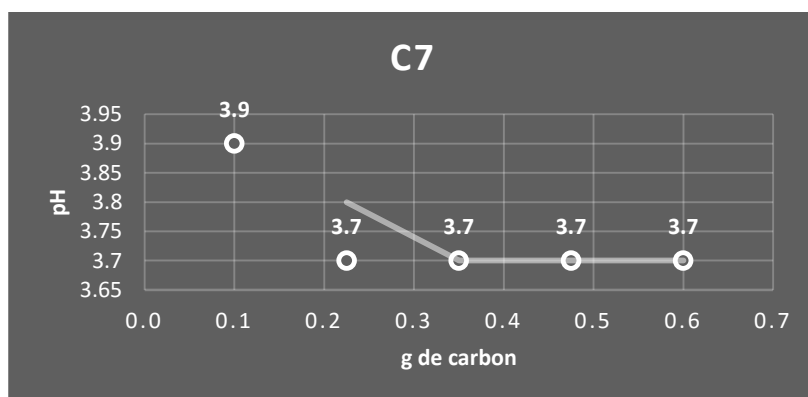
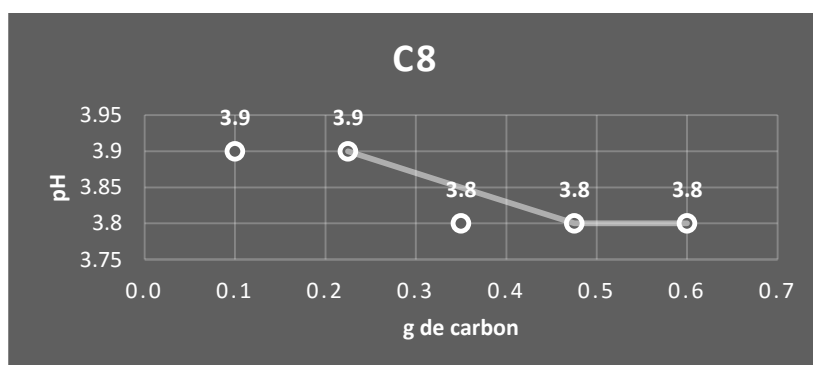


Tabla 39.8: pH del carbón activo número 8

Muestra	C8	pH _{PCC}
1	0.1000	3.9
2	0.2250	3.9
3	0.3500	3.8
4	0.4753	3.8
5	0.6000	3.8

Gráfica 39.8: pH en el punto de carga cero del carbón activo 8



Anexo 40

40.1. Densidad aparente del carbón activo a partir de cascara de naranja Valencia

Flujograma 40.1: Análisis de la densidad aparente del carbón activo



Tabla 40.1 Densidad aparente de los carbonos activos

Carbón	masa g	volumen mL	densidad (g/mL)
1	8.1289	10	0.8129
2	8.9167	9.6	0.9288
3	5.2164	8.6	0.6066
4	4.8966	9	0.5441
5	6.8412	8.4	0.8144
6	7.5021	9.1	0.8244
7	7.4568	10	0.7457
8	4.8827	8.6	0.5678

40.2 Cálculo para determinar la densidad aparente

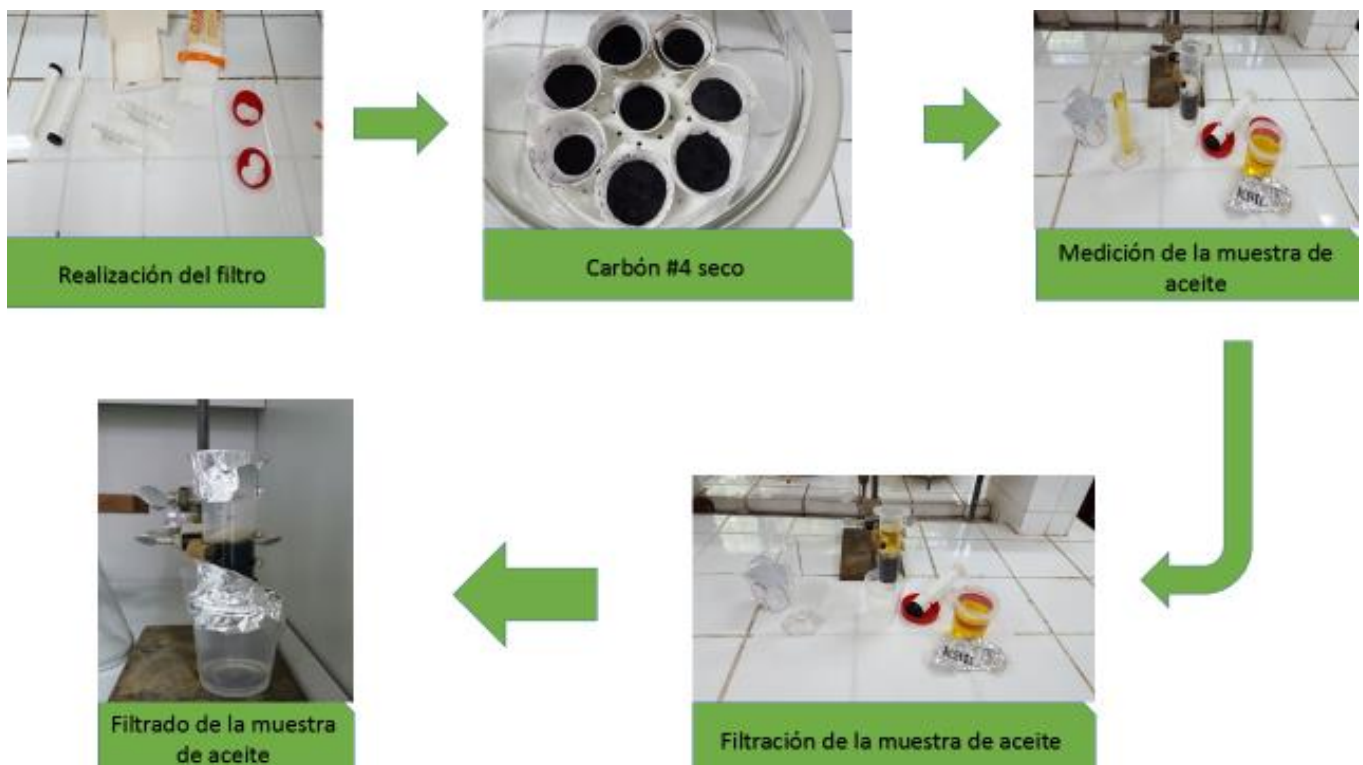
$$\rho = \frac{m(g)}{V(mL)} = \frac{8.1289g}{10 mL} = 0.8129 g/mL$$

ANEXO 41

41.1. Evaluación de la capacidad adsorptiva del carbón activo en la desodorización de aceite de maní

Esta evaluación se realizó con un estudio cualitativo, se elaboró un filtro conteniendo carbón activo número 4, se filtraron aproximadamente 50mL de aceite crudo recién extraído de frutos secos de maní sobre 15g de carbón activo por gravedad durante dos días por la alta viscosidad que presenta el aceite de maní.

Flujo grama 41.1: Evaluación de la capacidad adsorptiva del carbón optimizado en la desodorización de aceite de maní.



GLOSARIO

Acídulo: Ligeramente ácido.

Adsorción: Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atraen y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos. Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material

Absorción: es un fenómeno físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase

Adsorbato: Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente: el adsorbato se adhiere sobre la superficie del adsorbente por un proceso de adsorción.

Briquetas: Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas.

Fitoquímicos: Son sustancias que se encuentran en los alimentos de origen vegetal, biológicamente activas, que no son nutrientes *esenciales* para la vida (por lo menos a corto plazo), pero tienen efectos positivos en la salud. Se encuentran naturalmente en las plantas (frutas, vegetales, legumbres, granos enteros, nueces semillas, hongos, hierbas y especias).

Flavonoides:(del latín *flavus*, "amarillo") es el término genérico con que se identifica a una serie de metabolitos secundarios de las plantas. Son sintetizados a partir de una molécula de fenilalanina y 3 de malonil-CoA, a través de lo que se conoce como "vía biosintética de los flavonoides", cuyo producto, la estructura base, se cicla gracias a una enzima isomerasa.

Heteroátomos: En química orgánica un heteroátomo (del griego *héteros*, diferente, más *átomos*) es cualquier átomo salvo el carbono y el hidrógeno, que forma parte de un compuesto orgánico.

Limonoides: Son fitoquímicos, abundantes en frutos de cítricos y otras plantas de las familias Rutácea y Meliaceae. Los limonoides están bajo investigación por una amplia variedad de efectos terapéuticos tales como antivirales, anti fúngicos, antibacterianos, antineoplásicos y antimaláricos. Ciertos limonoides son insecticidas tales como la azadiractina del árbol de neem.

Lixiviación: La lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

Preponderancia: Influjo, dominio o superioridad de una cosa sobre otra.

Remoción: Acción y efecto de remover o removerse.

Enlace glicosídico: Es el enlace mediante el cual se unen monosacáridos para formar disacáridos o polisacáridos.

Biopolímeros: Los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. Una definición de los mismos los considera materiales poliméricos o macromoleculares sintetizados por los seres vivos.

Densidad: Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

Densidad aparente: en un material o un cuerpo es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga. Esta definición se emplea tanto en geología como en la Teoría de los Materiales.

Materia volátil: Las materias volátiles son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica durante el calentamiento.

Volátiles: Que se volatiliza fácilmente en contacto con el aire.

Isoterma: Que tiene la misma temperatura que otra cosa de la misma naturaleza.

Isoterma de adsorción: La isoterma de adsorción describe el equilibrio de la adsorción de un material en una superficie a temperatura constante. Los resultados

se representan gráficamente, lo que se mide es el volumen del líquido o gas adsorbido por una cantidad de adsorbente.

Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podría ser razonablemente atribuidos al mensurado

Desviación estándar: Para una serie de mediciones del mismo mensurando, es la magnitud **s** que caracteriza a la dispersión de los resultados.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

MAGFOR: Ministerio Agropecuario y Forestal

IUPAC: *International Union of Pure and Applied Chemistry* (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

COMEX: Comercio exterior

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

FOB: *Free on board* (franco a bordo) de uso universal y que significa que la mercancía es puesta a bordo por el expedidor, libre de todo gasto, siendo de cuenta del destinatario los fletes, aduanas, etc.

USD: Dólares

AOAC: Association of official analytical chemists (Asociación Oficial de Químicos Analíticos).

ASTM: American Society of Testing Materials, (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).

CA: Carbón activo.

PPM: Partes por millón.

°C: Grados centígrados.

g: Gramos.

L: Litros.

M: Concentración molar.

pH_{PCC}: pH en el punto de carga cero.

AM: Azul de Metileno.

AWWA: American Water Works Association (Asociación Americana de Trabajos del Agua)

K: Thousand (mil)

M: Million (millón)

NTU: Nephelometric Turbidity Unit; es la unidad en la que se mide la turbidez de un fluido o la presencia de partículas en suspensión en el agua.

