

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## Facultad de Ciencias Químicas

### Carrera de Ingeniería Química

Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco "*Cocos Nucifera L*"

Trabajo de titulación para la  
obtención del título de  
Ingeniero Químico

#### Autoras

Blanca Steffanía Carrasco Tito

C.I. 0105606081

Erika Gabriela Londa Veletanga

C.I. 0106035348

#### Director

Ing. Juan Diego Espinoza Garate

C.I. 0301989448

**Cuenca - Ecuador**

**2018**



## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la activación química para la obtención de carbón activado a partir del endocarpio de coco “Cocos nucífera L”. La materia prima empleada proviene de residuos generados de la extracción de la pulpa y fueron activados con ácido fosfórico mediante dos métodos, en los cuales se experimentó con dos concentraciones, temperaturas y tiempos diferentes, el primer método se realizó a una concentración del 85% de ácido fosfórico a una temperatura de 120 °C durante 24 horas y el segundo método se realizó a una concentración del 40% de ácido fosfórico a una temperatura de 300 °C durante 2.5 horas.

Se realizó la caracterización de la materia prima fundamentalmente del porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas presentes, así como también la caracterización del producto final evaluando parámetros como índice de yodo, área superficial y densidad aparente.

El área superficial BET fue determinada únicamente de la muestra de carbón activado al 40% debido a que presentó mayor capacidad de adsorción y a la vez alto índice de yodo, este análisis fue determinado mediante el equipo de fisisorción NOVA quantachrome2200 Surface Area and Pore Size Analyzer generando un valor de área superficial de 660.287m<sup>2</sup>/g de carbón activado.

Los carbones activados obtenidos fueron empleados en la adsorción de Cloro residual en agua potable obteniendo un mejor resultado en el carbón activado al 40% puesto que se logró reducir la concentración de cloro de 0.81ppm a 0.3ppm.

**Palabras claves:** carbón activado, adsorción, isoterma de adsorción, ácido fosfórico, activación química



## ABSTRACT

In the present work, chemical activation was carried out to obtain activated carbon from the coconut endocarp "*Cocos nucifera L*". The raw material used comes from waste generated from pulp extraction and was activated with phosphoric acid by two methods, in which it was experimented with two different concentrations, temperatures and times, the first method was carried out at a concentration of 85% Phosphoric acid at a temperature of 120 °C for 24 hours and the second method is carried out at a concentration of 40% phosphoric acid at a temperature of 300 °C for 2.5 hours.

The characterization of the raw material was carried out mainly of the percentage moisture and percentage ash present, as well as the characterization of the final product evaluating parameters such as iodine value, surface area and bulk density.

The BET surface area was only determined from the 40% activated carbon sample because it had a higher adsorption capacity and at the same time a high iodine value, this analysis was determined by the NOVA quantachrome2200 Surface Area and Pore Size Analyzer generating equipment a surface area value of 660.287m<sup>2</sup> / g of activated carbon.

The activated carbons obtained were used in the adsorption of residual Chlorine in drinking water, obtaining a better result in activated carbon at 40% since it was possible to reduce the chlorine concentration from 0.81ppm to 0.3ppm.

**Keywords:** activated carbon, adsorption, adsorption isotherm, phosphoric acid, chemical activation



## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

RESUMEN .....	2
ABSTRACT.....	3
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	8
LISTA DE TABLAS .....	10
LISTA DE ECUACIONES.....	12
GLOSARIO .....	13
CLÁUSULAS.....	14
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>22</b>
<b>2 COTENIDO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 COCO.....</b>	<b>23</b>
2.1.1 Origen del Coco.....	23
2.1.2 Clasificación.....	23
2.1.3 Características del fruto .....	24
2.1.4 Composición estructural .....	24
2.1.5 Variedad de Cocoteros.....	25
2.1.6 Valor nutricional.....	26
2.1.7 Composición química.....	26
2.1.8 Propiedades fisicoquímicas de la Cáscara de coco .....	27
2.1.9 Producción de Cocoteros en Ecuador .....	27
2.1.10 Problemática de desechos del coco .....	29
2.1.11 Usos.....	29
<b>2.2 CARBON ACTIVADO .....</b>	<b>30</b>
2.2.1 Breve historia .....	30
2.2.2 Concepto carbón activado.....	31
2.2.3 Fuentes de obtención de carbón activado.....	32
2.2.4 Composición química.....	33
2.2.5 Propiedades fisicoquímicas del carbón activado comercial .....	33
2.2.6 Formas físicas del carbón activado .....	35
2.2.7 Estructura porosa del carbón activado .....	37
2.2.8 Métodos de activación del carbón activado .....	39
2.2.9 Reactivación del carbón activado .....	41
2.2.10 Mercado de carbón activado en Ecuador .....	43



2.2.11	Requisitos del carbón activado comercial .....	44
<b>2.3</b>	<b>ADSORCIÓN .....</b>	<b>45</b>
2.3.1	Concepto adsorción .....	45
2.3.2	Tipos de adsorción.....	46
2.3.3	Isotermas de adsorción .....	46
2.3.4	Perfiles de isotermas .....	49
2.3.5	Factores influyentes en adsorción de compuestos del agua .....	51
2.3.6	Factores que afectan la cantidad adsorbida.....	51
<b>2.4</b>	<b>APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO .....</b>	<b>52</b>
2.4.1	Purificación de Agua Potable .....	52
2.4.2	Tratamiento de aguas residuales .....	53
2.4.3	Adsorción de materia orgánica .....	53
2.4.4	Reducción de cloro de aguas de procesos para bebidas carbonatadas y no carbonatadas .....	54
2.4.5	Purificación de gases .....	55
2.4.6	Tratamiento de líquidos y decoloración.....	56
2.4.7	Auxiliar en tratamientos de intoxicación .....	57
<b>3</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>58</b>
3.1	RECOLECCIÓN DE CÁSCARA DE COCO .....	58
3.2	SELECCIÓN .....	59
3.3	SECADO.....	60
3.4	MOLIENDA .....	60
3.5	CARACTERIZACIÓN DE CÁSCARA DE COCO .....	62
	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD .....	62
	Materiales y equipos.....	62
3.5.1	DETERMINACIÓN DE CENIZAS .....	64
3.6	ACTIVACIÓN QUÍMICA.....	67
3.6.1	CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 85% ÁCIDO FOSFÓRICO.....	67
3.6.2	CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 40% ÁCIDO FOSFÓRICO.....	69
3.7	LAVADO.....	72
3.7.1	Materiales y reactivos.....	72
3.7.2	Equipos.....	72
3.7.3	Descripción del método .....	72
3.7.4	Proceso .....	74



3.8	SECADO.....	75
3.8.1	Descripción.....	75
3.9	REDUCCIÓN DE TAMAÑO .....	75
3.9.1	Descripción.....	75
3.10	PESADO .....	76
3.10.1	Descripción.....	76
3.10.2	Proceso .....	77
3.10.3	Porcentaje de Rendimiento alcanzado durante la Activación .....	77
3.11	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO .....	79
3.11.1	PORCENTAJE DE HUMEDAD.....	79
3.11.2	DENSIDAD APARENTE .....	82
3.11.3	ÍNDICE DE YODO.....	86
3.11.4	ÁREA SUPERFICIAL .....	96
3.12	CONSTRUCCIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN .....	98
3.12.1	Materiales .....	98
3.12.2	Reactivos .....	98
3.12.3	Descripción del método .....	99
3.12.4	Proceso .....	101
3.12.5	Isotermas de Adsorción .....	102
3.13	APLICACIÓN.....	109
3.13.1	Cloro en Agua Potable.....	109
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>112</b>
4.1	HUMEDAD DE LA CÁSCARA DE COCO .....	113
4.2	CENIZAS CÁSCARA DE COCO .....	113
4.3	RENDIMIENTO DE PROCESO .....	113
4.4	HUMEDAD CARBÓN ACTIVADO .....	114
4.5	DENSIDAD APARENTE.....	114
4.6	ÍNDICE DE YODO.....	114
4.7	ÁREA SUPERFICIAL.....	115
4.8	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO.....	115
4.9	COMPARACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS CON EL COMERCIAL .....	116
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>120</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>



7.1	Anexo 1. (NORMA NTE INEN 1108, 2014), Agua Potable. Requisitos. ....	124
7.2	Anexo 2. (NORMA NTE INEN 1988, 2013), Productos Químicos Industriales. Carbón Activado para uso industrial. Determinación del Número de Yodo. ....	127
7.3	Anexo 3. Diagrama de Determinación del Porcentaje de Humedad de la cáscara de coco	131
7.4	Anexo 4. Diagrama de la Determinación de Cenizas de la Cáscara de Coco.....	132
7.5	Anexo 5. Diagrama de la Activación Química a una concentración del 40% de ácido fosfórico .....	133
7.6	Anexo 6. Diagrama de la Activación Química a una concentración del 85% de ácido fosfórico .....	134
7.7	Anexo 7. Diagrama del proceso de lavado del carbón activado obtenido .....	135
7.8	Anexo 8. Diagrama de secado, reducción de tamaño y pesado del carbón activado.	136
7.9	Anexo 9. Diagrama de la Determinación del Porcentaje de Humedad del carbón activado. ....	137
7.10	Anexo 10. Diagrama de la Determinación de la densidad aparente del carbón activado 138	
7.11	Anexo 11. Diagrama de la Determinación del índice de Yodo del carbón activado .	139
7.12	Anexo 12. Diagrama de la construcción de la Isotherma de Adsorción del Carbón Activado.....	140
7.13	Anexo 13. Resultados entregados por el laboratorio de ingeniería de reactores y catálisis de la determinación del área superficial BET .....	141



## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cocos nucífera L .....	23
Ilustración 2. Partes del coco nucífera L. ....	24
Ilustración 3. Producción de cocos en Ecuador Anualmente .....	28
Ilustración 4. Carbón activado.....	30
Ilustración 5. Carbón activado granular .....	31
Ilustración 6. Obtención de Carbón activado.....	32
Ilustración 7. Representación de grupos superficiales presentes en el carbón activado .....	35
Ilustración 8. Carbón activado en polvo .....	36
Ilustración 9. Carbón activado granular .....	36
Ilustración 10. Carbón activado en pellets.....	37
Ilustración 11. Esquema de adsorción de componentes sobre superficie del carbón activado ....	38
Ilustración 12. Activación química con $H_3PO_4$ .....	40
Ilustración 13. Activación física.....	41
Ilustración 14. Tipos de regeneración de carbón activado .....	41
Ilustración 15. Proceso de adsorción y desorción.....	45
Ilustración 16. Representación de isotermas de adsorción.....	46
Ilustración 17. Perfil de una isoterma tipo I .....	49
Ilustración 18. Perfil de una isoterma tipo II .....	49
Ilustración 19. Perfil de una isoterma tipo III.....	50
Ilustración 20. Perfil de una isoterma tipo IV.....	50
Ilustración 21. Perfil de una isoterma tipo V .....	51
Ilustración 22. Residuos encontrados en esquinas de lugares de recolección .....	58
Ilustración 23. Selección de cáscara de coco .....	59
Ilustración 24. Secado de materia prima .....	60
Ilustración 25. Preparación de la materia prima para la molienda .....	61
Ilustración 26. Molino de martillo.....	61
Ilustración 27. Tamaño de materia prima pasada por criba de 3/8.....	62
Ilustración 28. Proceso de determinación de humedad en materia prima .....	63
Ilustración 29. Proceso de determinación de cenizas de materia prima .....	65
Ilustración 30. Agujeros para eliminación de vapores de la muestra .....	68
Ilustración 31. Proceso de activación con ácido fosfórico 85% .....	68
Ilustración 32. Proceso de activación con ácido fosfórico 40% .....	71
Ilustración 33. Lavado de carbón activado con agua destilada .....	73
Ilustración 34. pH final obtenido durante el proceso de lavado del carbón activado .....	73
Ilustración 35. Proceso de lavado de carbón activado .....	74
Ilustración 36. Carbón Activado obtenido después del proceso de secado .....	75
Ilustración 37. Pulverizado de carbón activado en mortero .....	75
Ilustración 38. Carbón activado pasado por el tamiz N°8 U.S.....	76
Ilustración 39. Pesado de carbón activado obtenido .....	76
Ilustración 40. Proceso de secado, reducción de tamaño y pesado de carbón activado granular	77
Ilustración 41. Proceso de Determinación de Humedad de Carbones Activados Granulares .....	80
Ilustración 42. Muestra de carbón activado en la probeta para Determinación de Densidad Aparente.....	84
Ilustración 43. Pesado de Probeta más muestras .....	84
Ilustración 44. Proceso de Densidad Aparente del Carbón Activado Granular .....	85
Ilustración 45. Adición de ácido en las muestras de carbón activado .....	88





Ilustración 46. Ebullición con HCl durante 30 segundos.....	88
Ilustración 47. Adición de Solución Estándar de Yodo 0.1N .....	89
Ilustración 48. Cambio de coloración durante titulación con Tiosulfato de Sodio.....	90
Ilustración 49. Diagrama de flujo de la Determinación de Índice de Yodo .....	91
Ilustración 50. Equipo para la Determinación de Área Superficial .....	97
Ilustración 51. Celdas ocupadas en la Determinación de Área Superficial .....	97
Ilustración 52. Filtración de mezclas .....	99
Ilustración 53. Titulación de filtrados con permanganato de potasio.....	100
Ilustración 54. Coloración del punto de viraje de la solución.....	100
Ilustración 55. Proceso para la construcción de la Isoterma de Adsorción .....	101
Ilustración 56. Isoterma de adsorción obtenida de carbón activado al 40%.....	105
Ilustración 57. Isoterma obtenida con logaritmos para carbón activado al 40% .....	105
Ilustración 58. Isoterma de Adsorción obtenida con carbón activado al 85%.....	107
Ilustración 59. Isoterma obtenida con logaritmos para carbón activado al 85% .....	108
Ilustración 60. Gráfica de la reducción de cloro usando carbón activado al 85% .....	110
Ilustración 61. Reducción de cloro usando carbón activado al 85% .....	110
Ilustración 62. Medición de la concentración de cloro usando carbón activado al 85% .....	110
Ilustración 63. Gráfica de la reducción de cloro usando carbón activado al 40% .....	111
Ilustración 64. Reducción de cloro usando carbón activado al 40% .....	111
Ilustración 65. Medición de la concentración de cloro usando carbón activado al 40% .....	111
Ilustración 66. Gráfica de comparación de reducción de cloro entre el carbón activado al 85% vs carbón activado al 40% .....	112



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Contenido nutricional en 100 gramos de Coco .....	26
<b>Tabla 2.</b> Composición Química de Fibras Lignocelulósicas .....	26
<b>Tabla 3.</b> Propiedades Fisicoquímicas de la Cáscara de Coco.....	27
<b>Tabla 4.</b> Producción de Cocoteros en el Ecuador Año 2013.....	28
<b>Tabla 5.</b> Composición del carbón activado.....	33
<b>Tabla 6.</b> Propiedades de carbón activado comercial .....	33
<b>Tabla 7.</b> Variación de propiedades de acuerdo a la temperatura de carbonización en cascara de coco.....	38
<b>Tabla 8.</b> Ficha técnica de carbones activados producidos en Erafi .....	43
<b>Tabla 9.</b> Parámetros a cumplir de un carbón activado granular .....	44
<b>Tabla 10.</b> Relaciones entre las impurezas del Agua y los defectos de Calidad en los Refrescos Carbonatados.....	54
<b>Tabla 11.</b> Estándares Químicos para el Agua en la Elaboración de Refrescos .....	55
<b>Tabla 12.</b> Materiales para recopilación de materia prima .....	58
<b>Tabla 13.</b> Lugares de recolección de cascara de coco.....	58
<b>Tabla 14.</b> Materiales para selección de materia prima .....	59
<b>Tabla 15.</b> Materiales para secado de materia prima.....	60
<b>Tabla 16.</b> Materiales para molienda de materia prima.....	60
<b>Tabla 17.</b> Materiales para determinación de humedad de la materia prima .....	62
<b>Tabla 18.</b> Equipos para determinación de humedad de la materia prima .....	62
<b>Tabla 19.</b> Pesos iniciales para cálculo de humedad .....	64
<b>Tabla 20.</b> Pesos obtenidos para cálculo de humedad .....	64
<b>Tabla 21.</b> Materiales para determinación de cenizas .....	64
<b>Tabla 22.</b> Equipos para determinación de cenizas .....	64
<b>Tabla 23.</b> Datos de pesos de muestra 1 para determinación de cenizas .....	66
<b>Tabla 24.</b> Datos de pesos muestra 2 para determinación de cenizas .....	66
<b>Tabla 25.</b> Materiales y reactivos para activación de carbón 85% ácido fosfórico.....	67
<b>Tabla 26.</b> Equipos utilizados en activación con 85% de ácido fosfórico .....	67
<b>Tabla 27.</b> Materiales y reactivos para activación de carbón 40% ácido fosfórico.....	69
<b>Tabla 28.</b> Equipos utilizados en activación con 40% de ácido fosfórico .....	69
<b>Tabla 29.</b> Materiales y reactivos para lavado de carbón activado .....	72
<b>Tabla 30.</b> Equipos utilizados para el lavado de carbón activado.....	72
<b>Tabla 31.</b> Muestras de cáscara de coco para la activación química al 40% .....	78
<b>Tabla 32.</b> Muestras de cáscara de coco para la activación química al 85% .....	78
<b>Tabla 33.</b> Materiales para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado	79
<b>Tabla 34.</b> Equipos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado....	79
<b>Tabla 35.</b> Datos obtenidos para la Determinación de Humedad del Carbón Activado al 40% ..	81
<b>Tabla 36.</b> Pesos obtenidos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado al 40%.....	81
<b>Tabla 37.</b> Datos obtenidos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado al 85%.....	82
<b>Tabla 38.</b> Pesos obtenidos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado al 85%.....	82
<b>Tabla 39.</b> Materiales para la Determinación de la Densidad Aparente .....	83
<b>Tabla 40.</b> Equipos para la Determinación de la Densidad Aparente .....	83
<b>Tabla 41.</b> Materiales utilizados para Determinación del Índice de Yodo.....	86



<b>Tabla 42.</b> Reactivos utilizados para Determinación del Índice de Yodo.....	87
<b>Tabla 43.</b> Equipos utilizados para Determinación de Índice de Yodo .....	87
<b>Tabla 44.</b> Datos obtenidos de pesos y volumen de titulación para Determinación de Índice de Yodo de Carbón Activado al 40% de Ácido Fosfórico .....	93
<b>Tabla 45.</b> Datos obtenidos de pesos y volumen de titulación para Determinación de Índice de Yodo de Carbón Activado al 85% de Ácido Fosfórico .....	93
<b>Tabla 46.</b> Cálculo del factor f con relación a C para Determinación del Índice de Yodo .....	95
<b>Tabla 47.</b> Datos de constantes calculadas necesarias para determinación de Índice de Yodo....	96
<b>Tabla 48.</b> Equipo utilizado para Determinación de Área Superficial.....	96
<b>Tabla 49.</b> Resultado obtenido del Área Superficial del Carbón Activado al 40%.....	98
<b>Tabla 50.</b> Materiales utilizados en Construcción de Isoterma de Adsorción.....	98
<b>Tabla 51.</b> Reactivos utilizados en Construcción de Isoterma de Adsorción.....	98
<b>Tabla 52.</b> Datos obtenidos para construcción de isoterma de adsorción 40% ácido fosfórico .	102
<b>Tabla 53.</b> Cálculo del número de moles iniciales para carbón activado 40% .....	103
<b>Tabla 54.</b> Cálculo concentración en equilibrio para carbón activado al 40%.....	103
<b>Tabla 55.</b> Cálculo de número de moles adsorbidos para carbón activado 40% .....	104
<b>Tabla 56.</b> Datos obtenidos para gráfica de Isoterma Carbón Activado 40% .....	104
<b>Tabla 57.</b> Aplicación de logaritmos a datos obtenidos para carbón activado 40%.....	105
<b>Tabla 58.</b> Datos obtenidos para construcción de Isoterma de Adsorción 85% ácido fosfórico	106
<b>Tabla 59.</b> Cálculo del número de moles iniciales, equilibrio y adsorbidos para carbón activado 85% .....	107
<b>Tabla 60.</b> Datos para obtención de la isoterma de Carbón activado al 85%.....	107
<b>Tabla 61.</b> Conversión de datos a logaritmos de carbón activado 85%.....	108
<b>Tabla 62.</b> Datos obtenidos de la reducción de cloro usando carbón activado al 85% .....	110
<b>Tabla 63.</b> Datos obtenidos de la reducción de cloro usando carbón activado al 40% .....	111
<b>Tabla 64.</b> Resultados obtenidos de caracterización de materia prima .....	112
<b>Tabla 65.</b> Resultados obtenidos de rendimiento del proceso de obtención del carbón activado .....	113
<b>Tabla 66.</b> Resultados obtenidos de caracterización de carbón activado 40% y 85% de ácido fosfórico .....	113
<b>Tabla 67.</b> Comparación de Carbones obtenidos vs Comercial.....	117



## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Isoterma de Freundlich .....	47
Ecuación 2. Cálculo de constantes de Freundlich.....	47
Ecuación 3. Isoterma de Langmuir.....	47
Ecuación 4. Cálculo de constantes empíricas .....	48
Ecuación 5. Teoría de BET .....	48
Ecuación 6. Cálculo del porcentaje de humedad .....	63
Ecuación 7. Cálculo de cenizas totales de materia prima .....	65
Ecuación 8. Determinación volumen/concentración del ácido fosfórico .....	70
Ecuación 9. Porcentaje de Rendimiento .....	77
Ecuación 10. Cálculo de la Densidad Aparente de Carbón Activado .....	83
Ecuación 11. Determinación del Índice de Yodo .....	92
Ecuación 12. Cálculo de relación V/m .....	92
Ecuación 13. Cálculo de las constantes del Índice de Yodo A y B.....	92
Ecuación 14. Cálculo de la constante C para determinar factor f del Índice de Yodo .....	92
Ecuación 15. Conversión de Normalidad a Molaridad .....	102



## GLOSARIO

**Ácidos Fúlvicos:** Compleja agrupación macromoleculares de compuestos aromáticos, provenientes de la descomposición de materia orgánica.

**Ácidos húmicos:** Componente de la materia orgánica del suelo, son precursores de combustibles fósiles.

**Friabilidad:** Facilidad de romperse de un cosa u objeto.

**Colorímetro:** Es el dispositivo que permite la cuantificación de un color permitiendo así la comparación con otros.

**Copra:** Pulpa seca del coco

**Fisisorción:** Adsorción física, adsorción mas simple mediante fuerzas de Van der Waals.

**Equipo de fisisorción:** Instrumento para determinar área superficial BET mediante adsorción de gas (nitrógeno).

**Quimisorción:** Adsorción química, se da enlaces químicos mediante sitios activos.

**Trihalometanos:** Son unos subproductos de la desinfección que se forman cuando se emplea el cloro como desinfectante.

**Desodorización:** procesos que eliminan de una corriente gaseosa los compuestos que provocan los malos olores.

**Fuerzas de Van Der Waals:** Son fuerzas de estabilización molecular, forman enlaces químicos no covalentes en el que participan dos fuerzas: atracción repulsión.

**Sólidos coloidales:** Partículas sólidas de menos de 2 micrones de diámetro esférico equivalente, también identificadas como arcilla.



## CLÁUSULAS

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

ERIKA GABRIELA LONDA VELETANGA en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE COCO "COCOS NUCÍFERA L"", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 diciembre del 2018

Erika Gabriela Londa Veletanga

C.I: 0106035348



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

BLANCA STEFFANÍA CARRASCO TITO en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE COCO "COCOS NUCÍFERA L'", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 diciembre del 2018

Blanca Steffanía Carrasco Tito

C.I: 0105606081



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

BLANCA STEFFANÍA CARRASCO TITO, autora del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE COCO "COCOS NUCÍFERA L"", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 10 diciembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Blanca Steffanía Carrasco Tito", written over a horizontal line.

Blanca Steffanía Carrasco Tito

C.I: 0105606081





### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

ERIKA GABRIELA LONDA VELETANGA, autora del trabajo de titulación "OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE COCO "COCOS NUCÍFERA L", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 10 diciembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, reading 'Erika Gabriela Londa Veletanga', written over a horizontal line.

Erika Gabriela Londa Veletanga

C.I: 0106035348



## **DEDICATORIA**

Esta tesis la quiero dedicar a las tres personas más importantes en mi vida mi madre, mi hijo y mi esposo ya que gracias a ellos logre superar todos los obstáculos y alcanzar así mi meta.

Dedico de manera muy especial a mi hijo quien amo y adoro puesto que él es y siempre será un motivo muy importante para ser cada día mejor, el me da las ganas de siempre superarme, salir adelante y así quiero ser un ejemplo de orgullo para él.

A mi madre bella quien fue madre, padre y mi mejor amiga, siempre impulsándome a conseguir mis metas, brindándome sus consejos y apoyo, compartiéndome su amor de madre tan infinito, porque desde el principio estuvo ahí defendiendo mis sueños y no dejando que nadie los trunque.

Mi esposo quien estuvo siempre ahí para apoyarme te dedico mi tesis porque siempre creíste en mí, nunca dejaste de apoyarme y sobre todo porque tú eres mi señal de admiración y respeto.

**Blanca Steffania Carrasco Tito**



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por permitirme llegar hasta este punto de mi vida, cumpliendo una meta, el de ser profesional.

A mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida.

A mis padres Jorge y Ana que han sido parte de toda mi vida estudiantil, por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores y constantes motivaciones. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto es gracias a ustedes.

A mis hermanos Kevin y Christopher y mis tíos Enrique y Santiago por apoyarme siempre.

**Erika Gabriela Londa Veletanga**



## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios quien me guio y me dio fortaleza en cada uno de mis pasos y metas.

A mi director de tesis Ing. Juan Diego Espinoza por el apoyo de cada día, por compartir cada uno de sus conocimientos para el desarrollo de esta tesis, así como de igual manera a la Ing. Verónica Saetama quien nos ayudó demasiado con préstamo de equipos y adquisición de reactivos, sin ellos no hubiera sido posible dicho trabajo de titulación.

A mi compañera de tesis puesto que juntas pasamos muchas etapas de frustración, pero ahí estábamos juntas apoyándonos y no dejándonos vencer ante las adversidades.

A mi madre que es un pilar fundamental en mi vida quien me ayudó, me apoyó y me impulsó a conseguir mis sueños siempre con éxito.

A mi esposo por creer en mí, porque siempre estuvo ahí dándome palabras de apoyo, siempre celebrando junto a mi cada uno de mis triunfos e impulsando a dar más en cada fracaso, porque siempre estuvo ahí ayudándome en mis tareas como madre y esposa mientras me dedicaba 100% a mis estudios, por ser comprensible y paciente.

A mis suegros por apoyarme día tras día, por brindarme su apoyo cuidando, queriendo y amando a mi bebe en mis momentos de ausencia

Al motor de mis días mi pequeño Alessandro porque en su pequeña inocencia supo cuando mami no podía jugar, salir, llevarlo de paseo debido a sus tareas como estudiante más bien gracias simplemente por llegar a mi vida a fortalecerla y llenarla de alegría por lo cual me impulsa cada día a ser mejor.

Mis agradecimientos

**Blanca Steffania Carrasco Tito**



## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme tener la familia que tengo, por darme la fuerza para continuar con mis sueños.

A mi familia por el apoyo incondicional durante el trayecto de mi educación. A mis padres Jorge y Ana por apoyarme en cada decisión que he tomado, por la paciencia y confianza que han tenido en mí.

A mis hermanos Kevin y Christopher por ser el motor de mi vida siempre brindándome su ayuda de una manera u otra.

A mis tíos Enrique y Santiago que han aportado su granito de arena en mi vida. Gracias a todos ustedes he podido seguir adelante.

A mis abuelitos Esther y Manuel por su cariño y apoyo.

A nuestro director de tesis el Ingeniero Juan Diego Espinoza por su enseñanza y apoyo durante la realización de este trabajo

A la Ingeniera Verónica Saetama por su ayuda en la parte experimental del trabajo

A la Ingeniera Catalina Peñaherrera por su ayuda al permitir el uso de las instalaciones que se encuentran a su cargo para la realización de este trabajo

Al Ingeniero Servio Astudillo por su ayuda y consejos durante la realización de este trabajo.

A mis amigas, por los buenos tiempos que hemos pasado.

Gracias a todas las personas que nos ayudaron en la realización de este trabajo que aportaron de forma directa o indirecta.

**Erika Gabriela Londa Veletanga**



## 1 INTRODUCCIÓN

De la palma de coco se obtiene el fruto *Cocos nucifera L*, siendo ésta una de las palmas más importantes en el mundo conocido como el árbol de vida, este fruto tiene una gran utilidad con un sin número de aplicaciones como fuente de aceite que al ser procesada se convierte en jabones, detergentes y otros productos industriales, también destacándose el consumo del líquido como bebidas. (Nations, 1985)

La palmera de *Cocos nucifera L* es la más cultivada a nivel mundial en países con clima tropical, por lo que los residuos de dicho fruto servirán para obtener carbón activado ya que la cáscara de coco posee excelente estructura natural y bajo contenido de cenizas y así disminuir la contaminación ambiental. (Forero Núñez, Castellanos Contreras, & Sierra Vargas, 2013)

El carbón activado es un producto extremadamente poroso que puede desarrollar áreas superficiales altas desde 500 a 1200 metros cuadrados por cada gramo de carbón, lo que le confiere una alta capacidad de adsorción de líquidos y gases. (Martinez de Yuzo Ariza, 2012)

La producción de carbón activado se encuentra liderado por los países desarrollados tales como: Alemania, Holanda, Reino Unido, China, Estados Unidos y Japón. (Correa & Velásquez , 2009)

Hoy en día el carbón activado es muy utilizado en varias áreas de trabajo entre ellas se encuentra la purificación de agua potable, tratamiento de aguas residuales, clarificación en la industria alimenticia y en la industria farmacéutica. (Donau, s.f.)

El objetivo del presente trabajo es obtener carbón activado adsorbente es decir con capacidad de atraer y retener moléculas de otros compuestos, a escala laboratorio a partir de la cáscara de coco, mediante un proceso de activación química con ácido fosfórico a diferentes concentraciones determinando el rendimiento del proceso, para dar aplicación a la eliminación de cloro del agua.

La hipótesis planteada se estableció que a partir de la cascará de coco se obtendrá carbón activado de alta calidad comercial es decir que cumpla con los requisitos establecidos en las normativas ASTM D-4607 y ASTM D-3037 BET.

Con esta investigación se logrará aprovechar los residuos que se generan en mercados y microempresas al elaborar diversos productos puesto que solo es aprovechada su pulpa, de esta manera se disminuye la contaminación ambiental por acumulación generada de residuos y proliferación de plagas.

## 2 COTENIDO TEÓRICO

### 2.1 COCO

#### 2.1.1 Origen del Coco

El origen del cocotero se remonta a Asia, pero la forma de dispersión se desconoce por lo que las diferentes teorías que se discuten, la que mayormente es aceptada es la asociada a la distribución por parte del hombre.

De la palma de coco se obtiene el fruto *Cocos nucífera L*, siendo esta una de las palmas más importantes en el mundo, destacándose en la economía de exportación de algunos países en desarrollo ubicados en el trópico.

El coco se ha convertido en un recurso multifuncional que a lo largo de los años se ha observado un desarrollo en el uso del mismo, no solamente en la alimentación sino en el uso de sus fibras como un recurso de material de construcción. En la actualidad la semilla de coco se extiende a lo largo de la franja litoral de todos los continentes. (Nayar, 2016)

El Ecuador posee un clima apto para la siembra de distintos productos tropicales de esta forma la palma de coco es cultivada a lo largo de la franja tropical del Ecuador.

#### 2.1.2 Clasificación

*Cocos nucífera Linn*



*Ilustración 1. Cocos nucífera L*

**Fuente:** Autoras

Pertenece a la clase Monocotiledónea de la familia *Palmae* del género *Cocos* especie *Nucífera*. (Lizano, 2013)

### 2.1.3 Características del fruto

- Longitud: 15-20 cm
- Espesor: 10-15 cm
- Peso: 2 kg

### 2.1.4 Composición estructural

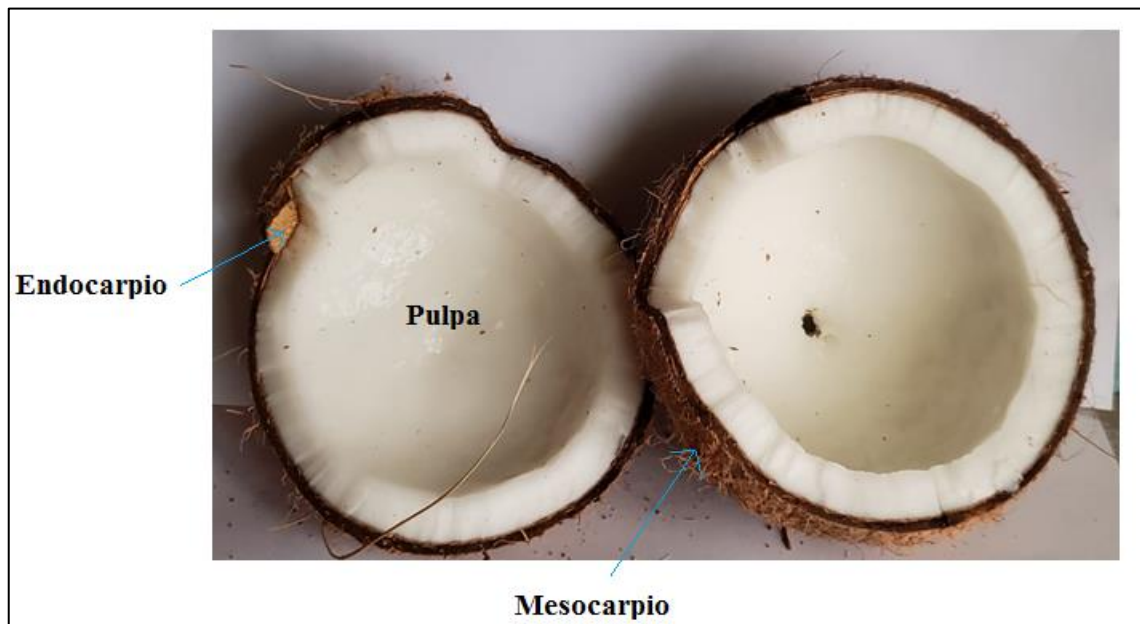


Ilustración 2. Partes del coco *nucífera L.*

Fuente: Autoras

#### *Epicarpio*

Capa externa lisa con un espesor de 4-5 cm, duro y fibroso. Pasa de color verde hacia café.

#### *Mesocarpio*

Capa Fibrosa

3-4 onza /coco

#### *Cuesco o endocarpio*

Capa fina y dura, análogo a la madera, con similar color.

El endocarpio se encuentra formado en su mayoría por lignina, hemicelulosa y celulosa; todos estos son polímeros. (Arias Maya & Trujillo Sánch, 2015)





### *Pulpa*

Envuelve al endocarpio es también conocido como albumen sólido, de color blanquecino, aprovechado para la fabricación de diferentes productos.

### *Agua*

Parte líquida, se encuentra alojado en la cavidad formado por la copra.

Este líquido contiene un bajo porcentaje de vitamina C, así como de proteínas y se calcula que aproximadamente un 5% de carbohidratos principalmente como azúcar. (Grimwood & Ashman, 1979)

## 2.1.5 Variedad de Cocoteros

La clasificación se da de acuerdo a la altura de los mismos, de esta forma se tiene:

### *Gigantes*

- Contiene gran cantidad de agua
- Gran tamaño del fruto
- Sabor: menor dulzor
- Sirve para la producción de aceite
- Mejor rendimiento de la copra
- Baja producción de frutos por planta
- Longevidad: 40-90 años

### *Enanos*

- Longevidad: 30-35 años
- Producción de bebidas envasadas
- Tamaño pequeño del fruto
- Mejor sabor del agua
- Mala calidad de la copra

### *Híbridos*

- Cruce entre cocoteros gigantes y enanos
- Frutos de tamaño medio
- Buen sabor
- Mejor rendimiento de la copra

(Infoagro, s.f.)



### 2.1.6 Valor nutricional

Contenido nutricional en 100 gramos de coco:

*Tabla 1. Contenido nutricional en 100 gramos de Coco*

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad</b>
Energía (kcal)	351
Proteína (g)	3.2
Grasa (g)	36
Carbohidratos (g)	3.7
Ácidos grasos saturados (g)	27.8
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	2.14
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	0.6
Fibra (g)	13.6
Calcio (mg)	13
Hierro (mg)	2.1
Potasio (mg)	440
Fósforo(mg)	94
Magnesio (mg)	52
Sodio (mg)	17
Vitamina E (mg)	0.7
Vitamina C (mg)	2
Ácido fólico (mg)	26

Fuente: Infoagro,sf

### 2.1.7 Composición química

La siguiente tabla muestra el porcentaje de diversos componentes químicos del Coco:

*Tabla 2. Composición Química de Fibras Lignocelulósicas*

<b>Compuesto químico</b>	<b>Porcentaje</b>
% Extractivo	6.4
% Holocelulosa	56.3
α- celulosa	44.2
% Lignina	32.8
% Ceniza	2.2

Fuente: Khalil, Alwani, & Omar, 2006

Las fibras de coco poseen un alto contenido de lignina. La lignina es un polímero ramificado que proporciona a las fibras dureza y resistencia a la compresión y endurece la pared celular. (Lincoln & Zeiger, 2007)



### 2.1.8 Propiedades fisicoquímicas de la Cáscara de coco

Las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de coco se encuentran representadas en la siguiente tabla de acuerdo a (Forero Núñez, Castellanos Contreras, & Sierra Vargas, 2013)

**Tabla 3.** *Propiedades Fisicoquímicas de la Cáscara de Coco*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>	
<b>Análisis próximo (%masa base húmeda)</b>		<b>Análisis último (% masa base seca)</b>	
Humedad	12.01	C	44.76
Volátiles	71.45	O <sub>2</sub>	44.73
Carbón Fijo	15.28	H <sub>2</sub>	8.92
Cenizas	1.26	N <sub>2</sub>	0.16
		S	0.03
		Cenizas	1.40
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Forero Núñez, Castellanos Contreras, & Sierra Vargas, 2013

### 2.1.9 Producción de Cocoteros en Ecuador

En Ecuador la mayor producción de la palma se da en tres provincias de la Costa y una de la Sierra.

Según el **Censo Nacional Agropecuario**, en estos cuatro lugares se da la especie nucífera y las diferentes variedades:

- Esmeraldas
- Manabí
- Guayas
- Loja

Tabla 4. Producción de Cocoteros en el Ecuador Año 2013

Provincia	Tonelada/anual	%producción
Esmeraldas	7010	63.1
Guayas	1620	14.6
Manabí	770	6.9
Sucumbíos	760	6.8
Loja	585	5.3
Napo	260	2.3
Orellana	95	0.9
Galápagos	6	0.1

Fuente: Centro de información Proyectos SICA, Direcciones Provinciales MAG, Agencias de Servicios Agropecuarios. ( Ordóñez León, 2015)

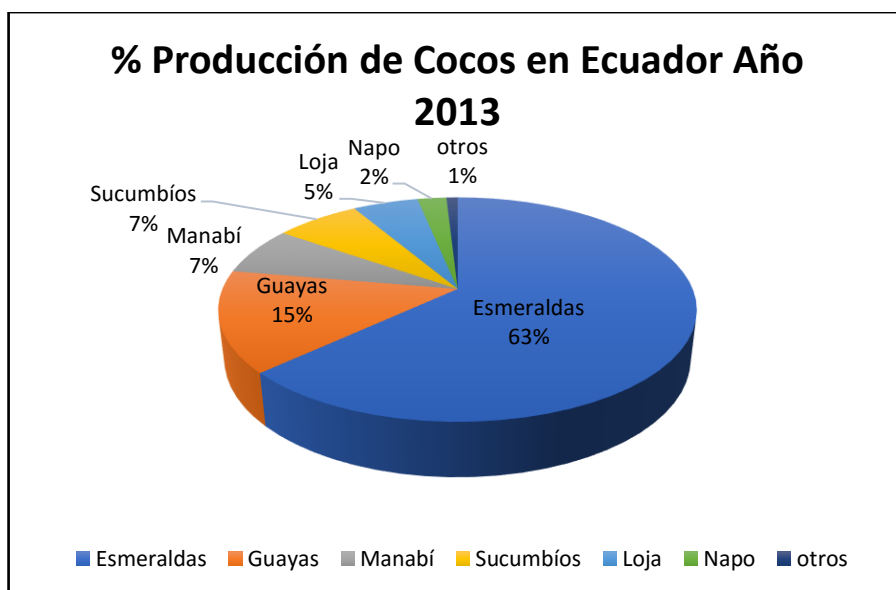


Ilustración 3. Producción de cocos en Ecuador Anualmente

Siendo Esmeraldas el mayor productor de la palma alcanzando un 63.1%, seguida de Guayas con 15% a nivel nacional.

Según el **Ministerio de Agricultura, Acuicultura, Ganadería y Pesca** (Magap), menciona que este sector se ve más dirigido hacia asociaciones y microempresarios que trabajan en proyectos con el objeto de aprovechar el coco en sus distintas formas. (Velasco, 2017)



#### 2.1.10 Problemática de desechos del coco

En la ciudad de Cuenca se generan desechos de coco diariamente por comerciantes informales, mercados y microempresas que usan como materia prima el coco para comercializar ya sea el agua o su pulpa.

Una vez realizada la extracción de la pulpa del fruto esta es descartada y normalmente es depositada en los basureros, pero existen excepciones en los cuales el fruto descartado es arrojado a los espacios públicos de la ciudad principalmente por vendedores de productos de coco que en los últimos tiempos en la ciudad se han observado un aumento de personas que comercializan el mismo, causando efectos negativos al paisaje urbano y con la alta probabilidad de impactos al ambiente ya que la descomposición del material puede durar de 8 a 12 años. ( Ordóñez León, 2015)

Se debe considerar que el residuo generado (cáscara de coco) deja de ser algo inservible a ser un material para la producción de nuevos productos.

Algunos aprovechamientos del residuo de coco ya existen como es el caso el uso de las fibras para realizar sacos, cepillos, cuerdas y como base de maseteros. (I, y otros, 2004)

Por lo que la falta de aprovechamiento de la cáscara de coco es debido a muchas veces la falta de conocimiento de las propiedades de la misma, así que esta es mal aprovechada.

#### 2.1.11 Usos

El fruto de la palma de coco es muy versátil, el producto más importante es el endospermo sólido que al ser secada como copra, este sirve como fuente de aceite la misma que al ser procesada se convierte en jabones, detergentes y otros productos industriales. (Nations, 1985)

El uso de las fibras en la elaboración de esteras, cuerdas, cepillos y cestas; con el endocarpio duro se obtiene carbón vegetal; el endospermo líquido se usa como ingrediente en la cocina, así como una bebida. (Nations, 1985)

## 2.2 CARBÓN ACTIVADO

### 2.2.1 Breve historia

Antiguamente se utilizaba como agente adsorbente al carbón vegetal que lo consideraban como carbón activado por su propiedad de eliminación y retención de olores y sabores en distintas áreas de estudio como por ejemplo prácticas médicas, se utilizaba carbón vegetal en los barriles de agua para así eliminar olores y sabores del mismo para prevenir enfermedades o para viajes transoceánicos, esta práctica se la realizaba hasta el siglo XVIII. La primera aplicación del carbón activado en tratamiento de corrientes gaseosas fue en 1973 por el Dr.D.M. Kehl ya que utiliza el carbón vegetal para mitigar los malos olores emanados por la gangrena. (Pilamonta Mañay, 2013)



*Ilustración 4. Carbón activado*

**Fuente:** Autoras

La primera aplicación del carbón activado a nivel industrial fue en 1974 en Inglaterra ya que se utilizó como agente decolorante en la industria del azúcar, esta fue una aplicación guardada durante 18 años que lograron sacar la patente; en cambio en 1854 se puso en práctica la aplicación para tratamiento de gases comenzando por la utilización de carbón activado en filtros de aire en Londres llegando hasta fabricar las primeras mascarillas con filtro de carbón activado para eliminación de gases tóxicos en la industria química, específicamente mercurio en 1872. (Pilamonta Mañay, 2013)

En 1881 aparece el término de adsorción ya que Kaiser logra explicar cómo algunos materiales carbonizados atrapan los gases, y, R von Ostrejko es el inventor de los métodos de activación del carbón vegetal teniendo así dos métodos; el primero fue carbonización de materiales con cloruros de metales lo que hoy en día conocemos como

la activación química del carbón, seguidamente propuso una carbonización con vapor de agua o  $\text{CO}_2$  lo que conocemos como activación física. (Pilamonta Mañay, 2013)

Debido a la primera guerra mundial y presencia de gases tóxicos se dio gran aplicación y conocimiento del carbón activado teniendo así el comienzo del desarrollo de la industria del carbón activado obteniendo diferentes tipos ya sea granular, polvo, pellets dependiendo del tipo de uso/ aplicación del mismo. (Pilamonta Mañay, 2013)

### 2.2.2 Concepto carbón activado



*Ilustración 5. Carbón activado granular*

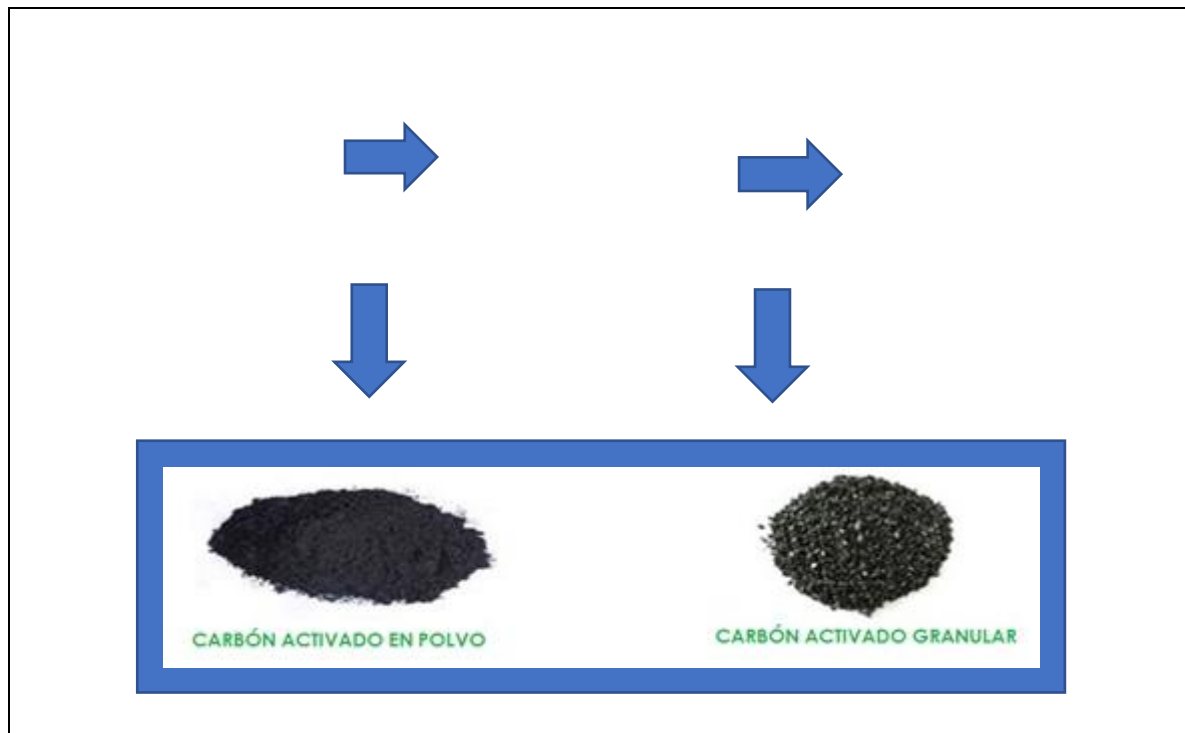
**Fuente:** Autoras

(Martinez de Yuzo Ariza, 2012) Define a carbón activado como un producto extremadamente poroso que puede desarrollar áreas superficiales altas desde 500 a 1500 metros cuadrados por cada gramo de carbón, cabe recalcar que el área superficial depende mucho del tipo de activación y de la materia prima utilizada, el momento que se da la activación ya sea química o física se genera o se brinda porosidad al material el que le concede la propiedad de adsorción ya sea de gases, líquidos, vapores y sólidos coloidales, lo que lo hace de suma importancia en la industria de transformación química y petroquímica.

La producción de carbón activado se encuentra liderado por los países desarrollados tales como: Alemania, Holanda, Reino Unido, China, Estados Unidos y Japón. (Correa & Velásquez, 2009)

El carbón activado es uno de los productos más cotizados a nivel internacional debido a su diversidad de aplicaciones tanto en fase gaseosa como en fase líquida en distintas áreas industriales.

### 2.2.3 Fuentes de obtención de carbón activado



Para la producción de carbón activado se utilizan diferentes materias primas carbonosas siendo los más utilizados, madera, serrín, lignito y desperdicios de fábricas. (Salazar Varas, 2006)

El carbón amorfo que es susceptible a una activación puede ser mineral o vegetal.

#### *Carbones minerales*

- Hulla bituminosa
- Lignito
- Turba
- Antracitas

#### *Carbones vegetales*

- Madera (pino, acacia)
- Residuos de madera
- Cascaras de coco





- Bagazo
- Huesos de frutas

Las propiedades del carbón activado final dependen de la materia prima que se utiliza y del tipo de activación sometido, por ejemplo, el carbón activado a partir de cáscara de coco presenta una mayor densidad y una distribución de tamaño más estrecha, el mismo que le genera la capacidad de adsorción de moléculas pequeñas como adsorción de gases.

#### 2.2.4 Composición química

La composición química del carbón activado aproximadamente es de:

Tabla 5. Composición del carbón activado

Componente	Cantidad
Carbono	75-80%
Cenizas	5-10%
Oxígeno	60%
Hidrógeno	0.5%

Fuente: Bastidas, Buelvas, Márquez, Rodríguez, 2010

#### 2.2.5 Propiedades fisicoquímicas del carbón activado comercial

Para la producción de carbón activado se debe partir de una materia prima con propiedades bien definidas e importantes tales como: dureza, estructura inherente de poros, abundancia, alto contenido de carbono, bajo contenido de cenizas. (Bastidas, Buelvas, Marquez, & Rodriguez, 2010)

Son varias las propiedades que se deben analizar en un carbón activado dependiendo del tamaño y estructura de las moléculas que se quiera adsorber, así como también el tipo de carbón activado, teniendo así entre las principales:

Tabla 6. Propiedades de carbón activado comercial

PROPIEDAD	UNIDAD	RANGO
Área específica BET	m <sup>2</sup> /g	600-1500
Área Macroporos	m <sup>2</sup> /g	100-800
Volumen poro total	cm <sup>3</sup> /g	0.6-1.8
Volumen macroporos	cm <sup>3</sup> /g	0.2-1.3
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	0.25-0.7
<b>Granulometría</b>		
Polvo	mm	0.05-0.1
Granular	mm	0.1-2
Coefficiente de uniformidad	Grano	1.4-2



---

<b>Porcentaje de cenizas</b>	%	1-12
<b>Índice de yodo</b>	mg/g	500-1200

---

Fuente: Bastidas, Buelvas, Márquez, Rodríguez, 2010

Para los carbones activados granulares (GAC) las propiedades físicas más importantes son el tamaño de partícula y la dureza, se debe tener en cuenta que se puede generar friabilidad del carbón utilizado en el lecho lo que permite determinar la velocidad con la que se rompen las partículas haciéndolas más pequeñas, dejando así la posibilidad que se escapen en el proceso de lavado del lecho o de manera natural durante un proceso. (Carbón activo como adsorbente, 2006)

Las propiedades más importantes para un carbón activado en polvo (PAC) son la densidad aparente y la filtrabilidad. La densidad aparente es la relación de masa de carbón por unidad de volumen lo que señala que a mayor densidad aparente mayor será la capacidad para eliminar un adsorbato por unidad de volumen de un adsorbente. (Carbón activo como adsorbente, 2006)

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado deben ser seleccionadas a la hora de establecer el tipo de carbón, las aplicaciones, y tipo de estudio o análisis a realizar.

El área superficial se puede determinar mediante análisis de BET y se puede obtener carbones activados con valores de área superficial elevados desde 700 a 1500m<sup>2</sup>/g. (Carbón activo como adsorbente, 2006)

El índice de yodo es una medida de la actividad que posee el carbón activado es decir un carbón activado que posea mayor índice de yodo será capaz de adsorber mayor cantidad de contaminantes que uno que posee índice bajo, además de presentar una vida más larga de duración.

Es importante conocer cómo se encuentran distribuidos los diferentes grupos superficiales que posee el carbón activado mismos que le conceden la capacidad de tener un área superficial elevada y a la vez una alta capacidad de adsorción de otras sustancias. (Universidad de Sevilla, 2011)

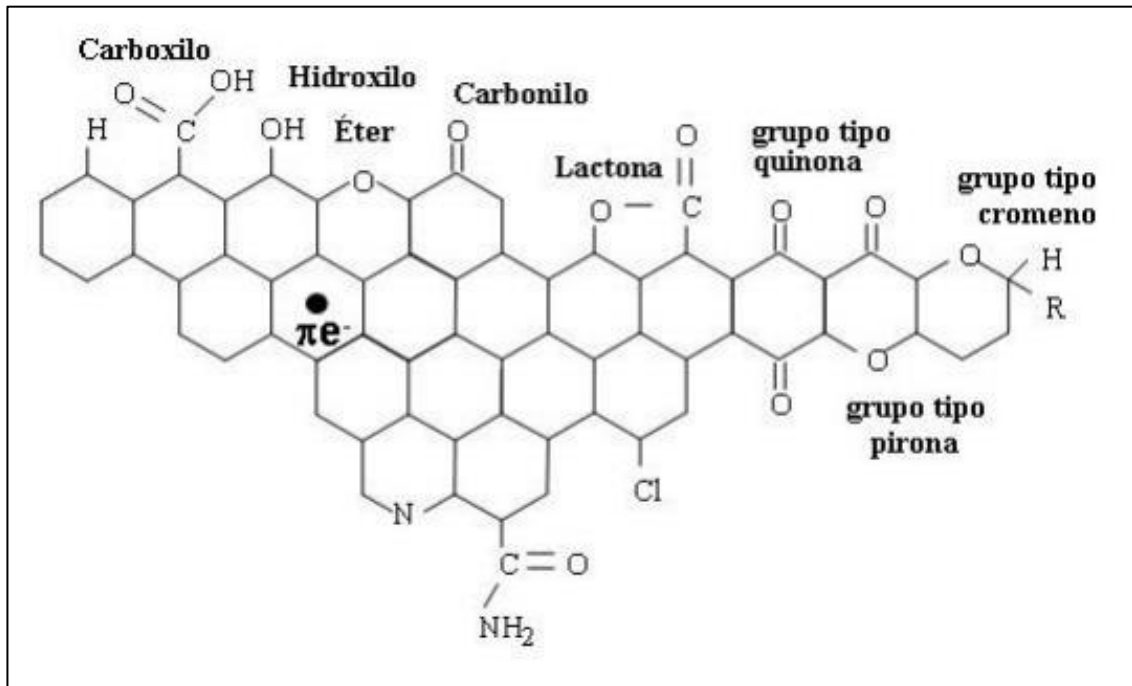


Ilustración 7. Representación de grupos superficiales presentes en el carbón activado

Fuente: Universidad de Sevilla, 2011

### 2.2.6 Formas físicas del carbón activado

La forma del carbón activado depende mucho de la aplicación y área en la que se utilice teniendo así tres formas granular, polvo y pellets cilíndricos.

El carbón activado en polvo se aplica para purificación y clarificación de líquidos, presenta un tamaño menor o igual a 0.25mm y es bastante utilizado a nivel nacional en clarificación de jarabes en industrias como Coca Cola. Este tipo de carbón presenta área superficial elevada y a la vez amplitud de poro mayor.



*Ilustración 8.* Carbón activado en polvo

**Fuente:** Pazmiño Ayala,2007

En cambio, el carbón activado en forma granular se puede utilizar para purificación de líquidos y de gases, presenta un tamaño mayor a 0.25mm, a nivel nacional se emplea en eliminación de cloro del agua y para potabilización del agua (eliminación de colores y olores desagradables). Este tipo de carbón presenta área superficial elevada y a la vez amplitud de poro menor.



*Ilustración 9.* Carbón activado granular

**Fuente:** Autoras

El carbón activado en pellets en cambio presenta una forma cilíndrica que presenta distintas longitudes, se utiliza principalmente para purificación de gases, el diámetro varía entre 0.8 a 3 mm



*Ilustración 10.* Carbón activado en pellets

**Fuente:** Pazmiño Ayala, 2007

### 2.2.7 Estructura porosa del carbón activado

El carbón activado se caracteriza por presentar una estructura porosa que contiene pequeñas cantidades de diferentes heteroátomos, es decir átomos diferentes a los átomos de carbono como por ejemplo átomos de nitrógeno o hidrógeno mismos que interactúan con átomos de carbono generando grupos superficiales razón por la cual favorece el proceso de adsorción. (Pazmiño Ayala, 2007)

**Tabla 7.** Variación de propiedades de acuerdo a la temperatura de carbonización en cascara de coco

Temperatura de carbonización (°C)	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	V total (cm <sup>3</sup> /g)	Diámetro (nm)
<b>400</b>	130	0.19	5.93
<b>600</b>	186	0.27	5.78
<b>800</b>	576	0.44	3.07
<b>1000</b>	702	0.53	3.03

Fuente: Pazmiño Ayala, 2007

De acuerdo a la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) la estructura porosa puede clasificarse en:

- Mesoporos: presenta una amplitud de 2-50nm
- Microporos: presenta una amplitud menor a 2nm
- Macroporos: presentan una amplitud mayor a 50nm

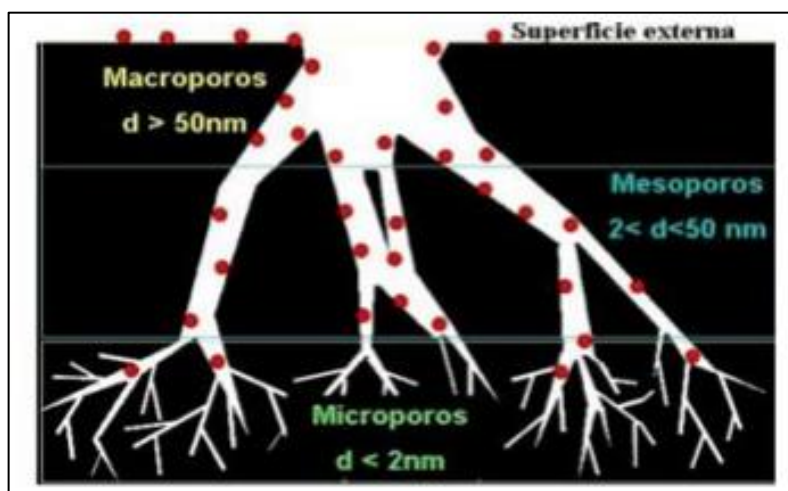


Ilustración 11. Esquema de adsorción de componentes sobre superficie del carbón activado

Fuente: Pilamonta Mañay, 2013

Los microporos debido a su pequeño tamaño tienen la ventaja de adsorber sustancias pequeñas como los compuestos más volátiles que se encuentran en el agua, olores, sabores y muchos solventes. (Pilamonta Mañay, 2013)

En cambio, los mesoporos son ideales para retener particular intermedias, la distribución del tamaño del poro depende de tres factores importantes:



- Tipo de activación
- Origen de la materia prima
- Duración del proceso de activación

Los Macroporos retienen partículas grandes tales como sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan durante la descomposición de la materia orgánica. (Pilamonta Mañay, 2013)

### 2.2.8 Métodos de activación del carbón activado

Existen varios métodos para la activación de carbón activado, pero todas se resumen en dos grandes grupos:

#### *Activación química*

Esta se realiza de una manera directa y en un solo paso, la materia prima es sometida a un agente químico que puede ser ácido fosfórico, hidróxido de sodio o cloruro de zinc y luego es sometida a calentamiento. Algo importante de considerar es que al obtener el carbón activado se debe lavar muy bien con solución neutra para eliminar cualquier exceso residuo del agente químico utilizado. Los principales factores que se deben controlar en este tipo de activación química son: temperatura de activación, tiempo de residencia, relación de impregnación. (Uribe, Lopez, & Gonzales, 2013)

#### *Activación con cloruro de Zinc ( $ZnCl_2$ )*

Fue el método más utilizado en 1970 en la activación de residuos de madera, hoy en día no se utiliza por los problemas medioambientales que causa el cloruro de zinc, sin embargo, en China todavía se utiliza como agente químico para activación del carbón. (Pilamonta Mañay, 2013)

#### *Activación con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ )*

El mecanismo que se presenta durante la activación química con ácido fosfórico no ha tenido investigaciones minuciosas, según algunas investigaciones el ácido fosfórico actúa como un agente deshidratante, cuando el ácido entra en contacto con la materia prima se acelera la deshidratación y a la vez degrada la materia prima impregnada. Luego de la activación química sucede un proceso semejante al tratamiento térmico, es decir se da carbonización de la muestra. (Pilamonta Mañay, 2013)

#### *Activación con hidróxido de potasio (KOH)*

Este agente químico se utiliza principalmente para fuentes de carbono mineral como coque de petróleo ya que debe ser de bajo contenido de volátiles y alto contenido en carbono. (Pilamonta Mañay, 2013)



Ilustración 12. Activación química con  $\text{H}_3\text{PO}_4$

#### *Activación física*

Este proceso requiere de dos pasos, el primero que consta de la carbonización de la materia prima sometiéndola a altas temperaturas desde 500 a 1200°C sin presencia de oxígeno, y, el segundo paso que sería ya la activación del material carbonizado consiste en gasificar parcialmente al carbón resultante ya sea con vapor de agua, oxígeno o con  $\text{CO}_2$ , si se realiza los dos pasos simultáneamente se habla de una activación directa. (Uribe, Lopez, & Gonzales, 2013)

Las reacciones del carbón con vapor de agua o con dióxido de carbono necesitan absorción de calor para poder activarse, motivo por el cual las partículas de carbón deben estar en óptimo contacto con el agente activante por lo que el gas debe estar a una temperatura superior que la temperatura de reacción.

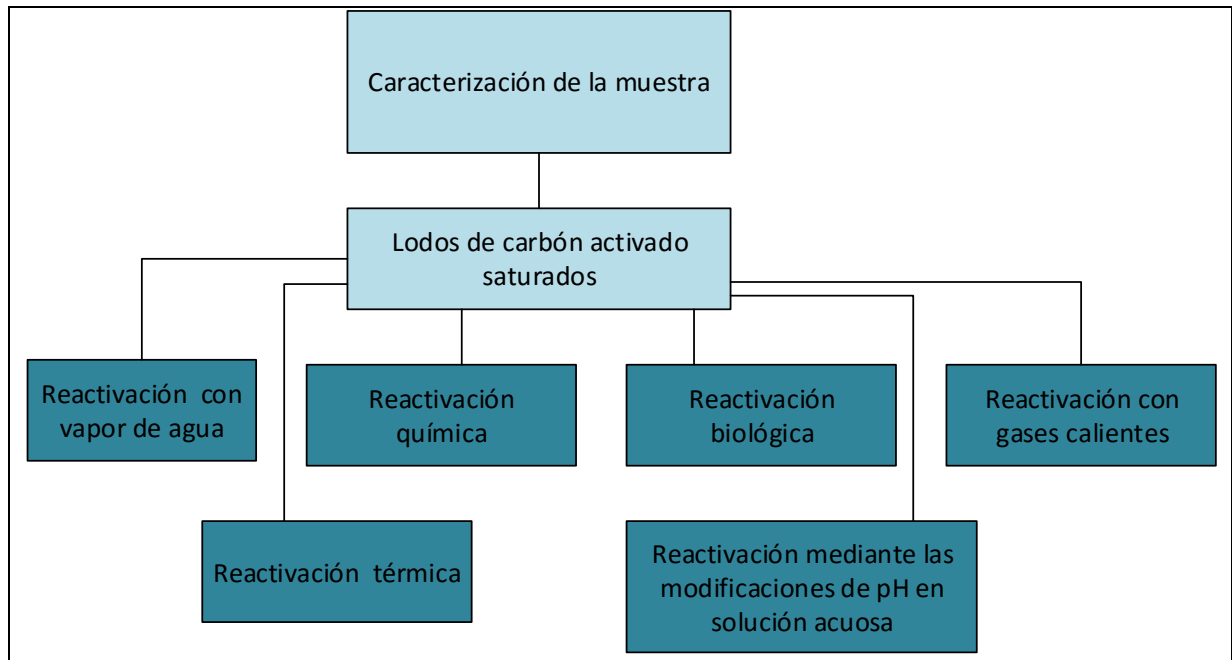




Ilustración 13. Activación física

### 2.2.9 Reactivación del carbón activado

A medida que se va realizando el proceso de adsorción este va saturándose y a la vez perdiendo la capacidad de adsorción por lo que es necesario realizar una reactivación misma que representa una ventaja de uso y ahorro.





#### *Reactivación con vapor de agua*

Este proceso consiste en hacer circular por el carbón activado saturado una cantidad de vapor de agua, de esta manera se consigue desorber moléculas orgánicas con volatilidad aproximadamente igual al del agua.

Mientras mayor sea la presión del vapor de agua utilizado mayor será su temperatura y por lo tanto será capaz de desorber compuestos más pesados.

#### *Reactivación con gases calientes*

Este método es muy similar al de utilizar vapor de agua únicamente que en este proceso se utiliza gases de combustión para realizar la desorción.

#### *Reactivación térmica*

Es uno de los métodos más utilizados puesto que con este proceso se elimina la mayor cantidad de sustancias orgánicas que se han retenido ya sea por quimisorción o fisorción. Este método es ideal en plantas que utilicen el carbón activado para decoloración o eliminación de permanganatos, ozono y otros agentes oxidantes. (Especificaciones de calidad y reactivación del carbon activado, 2009)

#### *Reactivación química*

Cuando el carbón activado toma una coloración blanquecina o gris significa que contiene hidróxido de sodio o carbonatos por lo que no es suficiente una reactivación térmica por lo que se necesita una solución ácida para dicha reactivación.

Para este método se puede emplear cualquier tipo de ácido, pero el más común y utilizado en las industrias es el ácido clorhídrico, este tipo de lavado dura aproximadamente entre 10-14 horas en tiempo de contacto. (Especificaciones de calidad y reactivación del carbon activado, 2009)

#### *Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa*

Este es un método que se utiliza en ciertos casos cuando el carbón activado se ha utilizado para adsorber una sola sustancia por ejemplo el fenol, se puede utilizar una solución de sosa cáustica al 4%. (Especificaciones de calidad y reactivación del carbon activado, 2009)



*Reactivación biológica*

Este método de reactivación es muy utilizado en tratamiento de aguas residuales con un tiempo de 96 horas, logrando así una regeneración de hasta el 80% del carbón activado.

Se trata de aprovechar las bacterias que se encuentran en la superficie del carbón activado brindándoles una corriente de nutrientes para que así se puedan alimentar de la materia biodegradable que ha sido adsorbida. (Especificaciones de calidad y reactivación del carbon activado, 2009).

2.2.10 Mercado de carbón activado en Ecuador

Hoy en día el carbón activado es muy cotizado a nivel mundial debido a su diversidad de aplicaciones que tiene tanto a la industria, como farmacéutica, potabilización de agua, entre otros.

Actualmente en Ecuador ya se da la producción, venta y distribución de este producto, en la ciudad de Quito existen empresas ecuatorianas nombradas Ecarbones y Erafi que se dedican exclusivamente a la producción y comercialización del carbón activado tanto granular como en polvo para diferentes usos y aplicaciones.

Los carbones activados producidos en Ecuador parten de una materia prima valiosa como son tallos, frutos u hojas de plantas exóticas como por ejemplo Erafi produce carbones activados a partir del coco de palma africana.

*Tabla 8. Ficha técnica de carbones activados producidos en Erafi*

ESPECIFICACIONES			
TIPO		Granular	Polvo
CODIGO		CA-G	CA-P
MATERIA PRIMA		Coco de palma africana	Coco de palma africana
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>			
<b>Densidad aparente</b>	Kg/m <sup>3</sup>	450-500	450-500
<b>Humedad empaque</b>	%	Max6%	Max6%
<b>Cenizas</b>	%	Max12%	Max12%
<b>Método activación</b>	-	High temperatura steam	
<b>Volumen poro</b>	cc/g	0.3-0.4	-
<b>Área superficial</b>	m <sup>2</sup> /g	700	700
<b>Yodo</b>	mg/g	700	700

Fuente: Industrias de producción y comercialización de carbón activado Erafi



### 2.2.11 Requisitos del carbón activado comercial

Tenemos varios parámetros que se deben tener en cuenta dentro de las especificaciones que debe cumplir un carbón activado dependiendo del uso y/o aplicación que se le dé, dentro de los parámetros más importantes a tener en cuenta en un carbón activado granular tenemos:

**Tabla 9.** *Parámetros a cumplir de un carbón activado granular*

PARAMETRO	UNIDADES DE MEDIDA	RANGO DE VALORES	NORMATIVA
<b>Numero de yodo</b>	mg/g de carbón	500-1200	ASTM D-4607
<b>Área superficial</b>	m <sup>2</sup> /g	500-1200	ASTM D-3037 BET
<b>Radio medio de poro y volumen total de poro</b>	nm y cm <sup>3</sup>	0.7-500 y 0.2-1	ASTM C-699
<b>Densidad aparente</b>	g/cm <sup>3</sup>	0.25-0.65	ASTM D -2854
<b>Dureza</b>	Adimensional	30-99	ASTM D -3802
<b>Rango de tamaño de partícula</b>	Malla estándar americana	4x8-20x50	ANSI/AWWA B604-90
<b>Tamaño efectivo de partícula</b>	Mm	0.4-3.3	ANSI/AWWA B604-90
<b>Coefficiente de uniformidad</b>	Adimensional	<2.1	ANSI/AWWA B604-90
<b>Contenido de cenizas totales</b>	%base seca	3-15	ASTM D -2866
<b>Solubles en agua</b>	%base seca	0.5-7	ASTM D -5029
<b>pH del extracto acuoso</b>	pH	2-11	ASTM D -3838
<b>Humedad (al empacar)</b>	%	2-15	ASTM D -2867
<b>Longitud de semi decloración</b>	cm	2-10	DIN 19603

**Fuente:** Extraído de tesina Especificaciones y reactivación de carbón activado

La *Tabla 9*. Indica los principales parámetros que debe cumplir un carbón activado basándose principalmente en normas internacionales.

## 2.3 ADSORCIÓN

### 2.3.1 Concepto adsorción

(Martinez de Yuzo Ariza, 2012) define adsorción como el proceso en el cual átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otro compuesto, fuerzas conocidas como “fuerzas de Van Der Waals”, por lo tanto, este fenómeno ocurre en la superficie de un sólido lo que nos indica que a mayor área superficial mejor será la adsorción de otros compuestos.

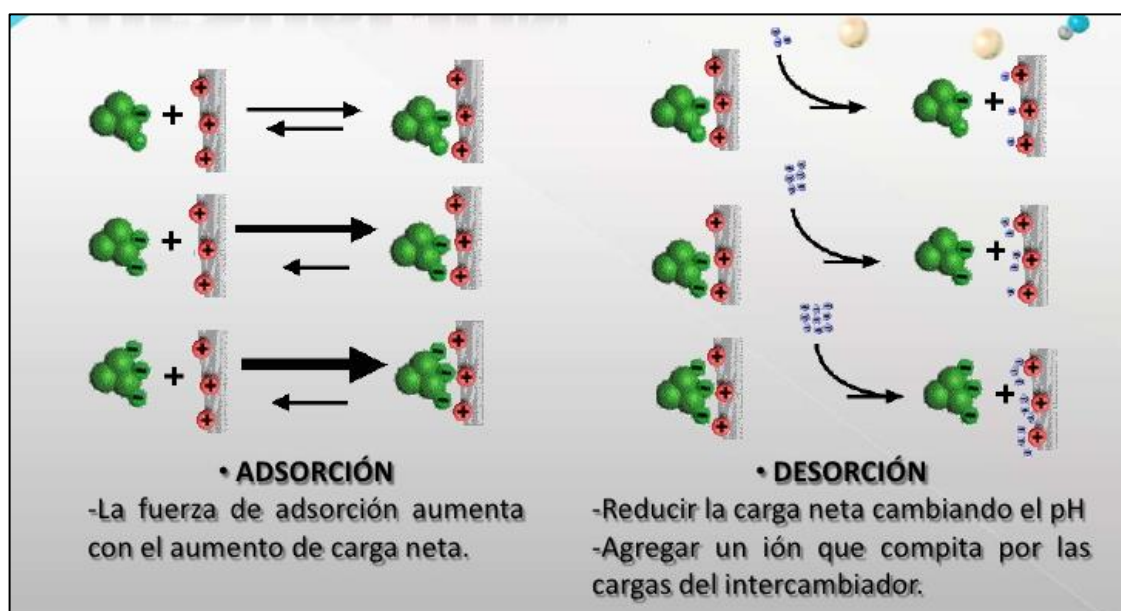


Ilustración 15. Proceso de adsorción y desorción

Fuente: Huerta Ochoa, 1995

Para que se lleve a cabo el proceso de adsorción se requiere de las siguientes fases:

1. Contacto del adsorbente (carbón activado) con la solución.
2. Unión del soluto a la superficie del adsorbente
3. Lavado del adsorbente para su reutilización provocando el proceso de desorción.  
(Huerta Ochoa, 1995)

El proceso de adsorción se da en tres pasos:

- Macrotransporte: movimiento del material orgánico a través de los macro poros
- del carbón activado.
- Microtransporte: movimiento del material orgánico a través de los micro poros del carbón activado.
- Adsorción: se da la adhesión física del material a la superficie del carbón activado asentándose en los mesoporos y microporos del carbón activo.  
(Pilamonta Mañay, 2013)

### 2.3.2 Tipos de adsorción

- **Adsorción por intercambio:** en este proceso el soluto y el adsorbente se atraen mediante fuerzas electrostáticas
- **Adsorción por fuerzas de Van der Waals:** también se la conoce como fisisorción o adsorción física, en este proceso el adsorbato no se encuentra fijo en la superficie del adsorbente
- **Adsorción química:** también conocida como adsorción química o quimisorción, en este proceso se da una interacción química entre el adsorbato y el adsorbente.

### 2.3.3 Isotermas de adsorción

Una isoterma de adsorción es la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio.

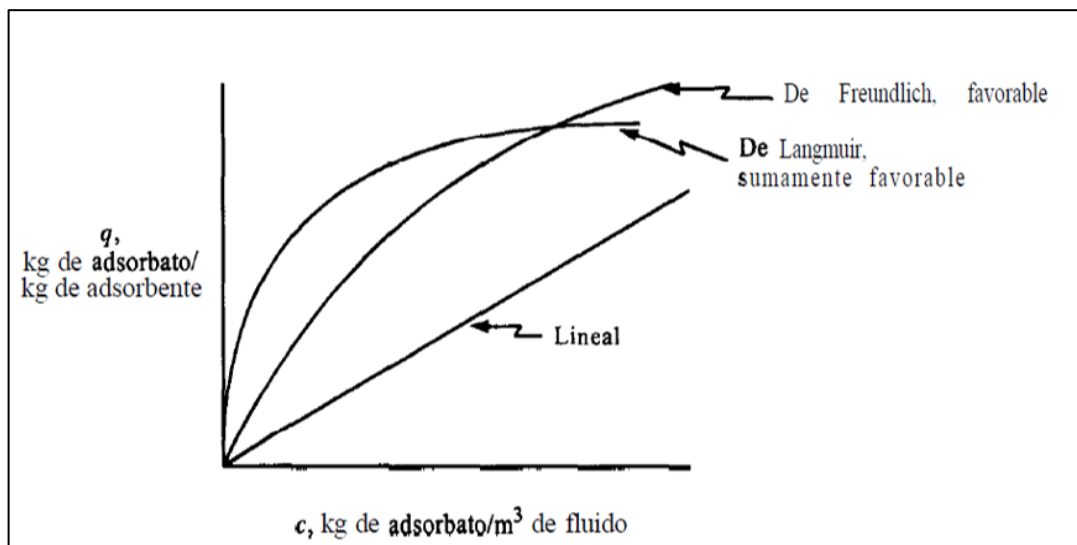


Ilustración 16. Representación de isotermas de adsorción

Fuente: Pilamonta Mañay, 2013

#### *Isoterma de Freundlich.*

La isoterma de Freundlich es una de las fórmulas más usuales y empleadas para la síntesis de datos de una isoterma especialmente en datos obtenidos en la adsorción del carbón activado empleado en tratamiento de aguas residuales y potabilización de agua. (Pilamonta Mañay, 2013)



La isoterma de Freundlich es la siguiente:

*Ecuación 1. Isoterma de Freundlich*

$$\frac{X}{m} = KfCe^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

- $X/m$ : es la cantidad adsorbida por unidad de adsorbente (carbón activado).
- $Ce$ : es la concentración de equilibrio del adsorbato en solución después de la adsorción.
- $Kf, n$ : son constantes que se determinan al graficar la relación  $X/m$  y la concentración de equilibrio  $Ce$ , aplicando logaritmos de la siguiente manera:

*Ecuación 2. Cálculo de constantes de Freundlich*

$$\log \frac{X}{m} = \log Kf + \frac{1}{n} \log Ce$$

### *Isoterma de Langmuir*

La isoterma de Langmuir se define de la siguiente manera:

*Ecuación 3. Isoterma de Langmuir*

$$\frac{X}{m} = \frac{abCe}{(1 + b \cdot Ce)}$$

- $X/m$ : es la cantidad adsorbida por unidad de adsorbente (carbón activado).
- $Ce$ : es la concentración de equilibrio del adsorbato en solución después de la adsorción.
- $a, b$ : son constantes empíricas

La isoterma de adsorción de Langmuir se desarrolló adoptando varias hipótesis:

1. Existe un número fijo de puntos accesibles en la superficie del adsorbente, teniendo todos una misma energía.
2. No existe una interacción entre moléculas que ya han sido adsorbidas
3. El grado de adsorción es inferior a una capa mono molecular completa en la superficie.
4. Siempre la adsorción será un proceso reversible. (Pilamonta Mañay, 2013)

Se puede hablar de un estado de equilibrio cuando la velocidad en que las moléculas son retenidas en el adsorbente es decir velocidad de adsorción es la misma que la velocidad de desorción. (Pilamonta Mañay, 2013)

Las constantes de la ecuación de Langmuir se calculan al graficar  $X/m$  y la concentración de equilibrio  $C_e$  aplicando la siguiente ecuación:

*Ecuación 4. Cálculo de constantes empíricas*

$$\frac{C_e}{\frac{X}{m}} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{aC_e}$$

### *Teoría BET*

La teoría de BET fue desarrollada por Brunauer, Emmett y Teller quienes tomaron las ideas de Langmuir para así describir una adsorción en multicapas. La ecuación de BET:

*Ecuación 5. Teoría de BET*

$$\frac{p}{n^a(p_0 - p)} = \frac{1}{n_m^a c} + \frac{c - 1}{n_m^a c \left(\frac{p}{p_0}\right)}$$

Donde:

- $n^a$  y  $n_m^a$  representa la cantidad adsorbida a la presión de equilibrio  $\frac{p}{p_0}$  y la cantidad absorbida en la monocapa respectivamente.
- $c$  representa una constante que está relacionada proporcionalmente con la fortaleza de la interacción del adsorbato y adsorbente y se puede usar para caracterizar la forma de la isoterma. (Pilamonta Mañay, 2013)



Esta ecuación se aplica para carbones activados con microporos, mesoporos y macroporos con una presión relativa entre 0.05 y 0.3.

#### 2.3.4 Perfiles de isotermas

- **Tipo I:** la mayoría de procesos de quimisorción presentan este perfil, el cual tiene una superficie uniforme como se muestra en la ilustración 17. (Rosas García, 1999)

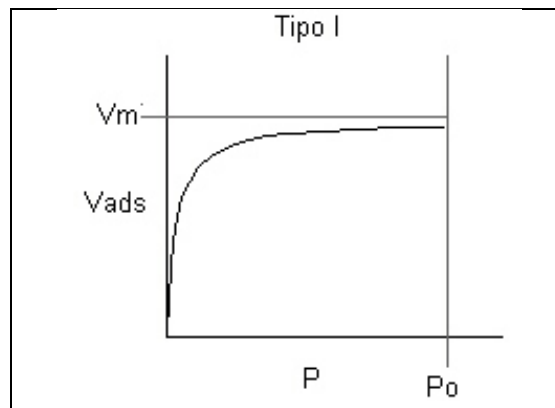


Ilustración 17. Perfil de una isoterma tipo I

Fuente: Rosas García, 1999

- **Tipo II:** En este perfil el adsorbato cubre el adsorbente hasta formar una monocapa y seguidamente se da la formación de multicapas, este perfil es común en procesos de fisisorción, con condición de que exista una afinidad fuerte del adsorbato por el adsorbente y no por sí mismo. (Rosas García, 1999)

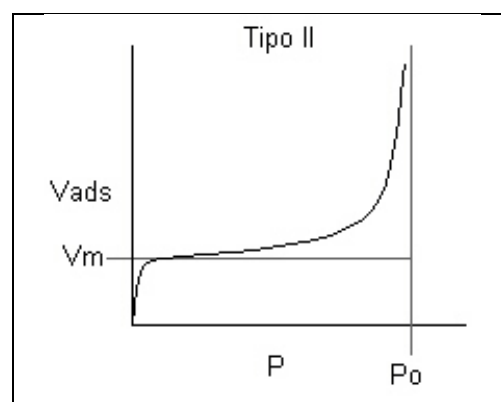


Ilustración 18. Perfil de una isoterma tipo II

Fuente: Rosas García, 1999

- **Tipo III:** Este perfil como se muestra en la ilustración 19. presenta un comportamiento desigual por lo que se puede dar una monocapa, multicapa o

incluso haber espacios libres con partes limpias debido a que el adsorbato presenta afinidad para un adsorbente pero también para sí mismo. (Rosas Garcia, 1999)

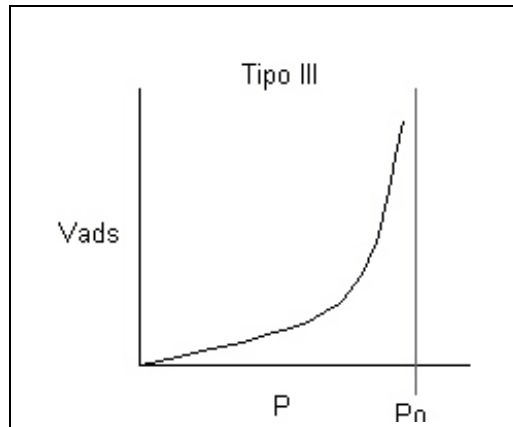


Ilustración 19. Perfil de una isoterma tipo III

Fuente: Rosas Garcia, 1999

- **Tipo IV:** Se observa en la ilustración 20. que a principio se da la formación de una monocapa y luego se forma multicapas, esto se da debido a un adsorbente rugoso que durante la formación de monocapa deja muchos huecos que permiten que se dé la saturación con adsorbato. (Rosas Garcia, 1999)

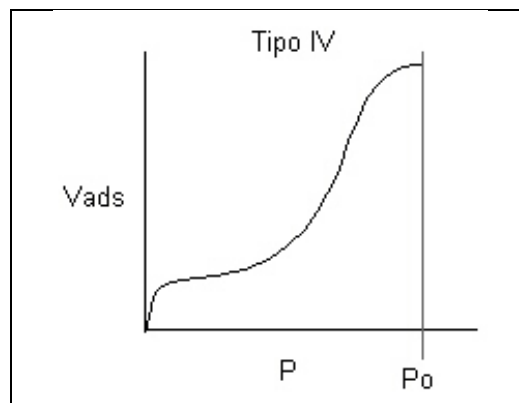


Ilustración 20. Perfil de una isoterma tipo IV

Fuente: Rosas Garcia, 1999

- **Tipo V:** En este tipo de perfil desde el principio se da una formación de multicapa debido a un adsorbato rugoso como el caso del perfil tipo IV esto debido a que no existe una buena afinidad del adsorbato con el adsorbente. (Rosas Garcia, 1999)

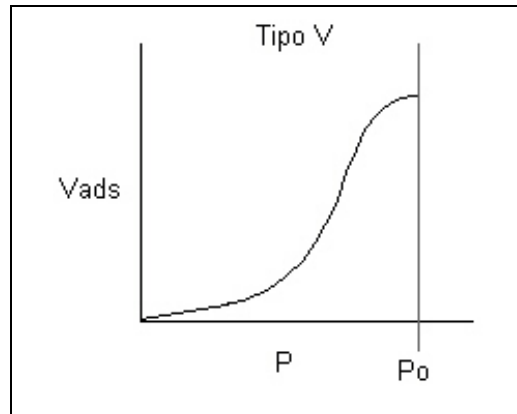


Ilustración 21. Perfil de una isoterma tipo V

Fuente: Rosas Garcia, 1999

### 2.3.5 Factores influyentes en adsorción de compuestos del agua

- Tipo de compuesto que se desea eliminar, teniendo en cuenta que se adsorben fácilmente aquellos compuestos que presenten baja solubilidad y alto peso molecular.
- Concentración del compuesto que se desea eliminar, ya que mientras más elevada sea la concentración del compuesto mayor cantidad de adsorbente se requiere (carbón activado).
- La presencia de otros compuestos que competirán con otros compuestos por ocupar espacios disponibles de adsorción.
- El pH del agua

### 2.3.6 Factores que afectan la cantidad adsorbida

- El tipo de sustancia y/o compuesto que desea eliminar
- La concentración del compuesto a eliminar
- Temperatura
- Tiempo de residencia entre adsorbato y adsorbente
- Presencia de otros compuestos que afecten la adsorción de otros compuestos.



## 2.4 APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado tiene una amplia gama de aplicaciones tanto para usos residenciales como industriales. Se puede mencionar problemas ambientales que perjudican al aire y el agua. Estos problemas son resueltos mediante el uso de carbón activado en sus diferentes formas y con la implementación de nuevas aplicaciones y el desarrollo continuo de investigaciones.

De los cuales se puede destacar:

- Purificación de agua potable
- Tratamiento de aguas residuales
- Adsorción de materia orgánica
- Reducción de cloro de agua de proceso para bebidas carbonatadas y no carbonatadas.
- Purificación de gases
- Tratamiento de líquidos de decoloración
  - o Clarificación de jarabe de azúcar
  - o Purificación de glicerina
  - o Decoloración de aceites
  - o Decoloración y desodorización de bebidas alcohólicas
- Auxiliar en tratamientos de intoxicación

### 2.4.1 Purificación de Agua Potable

El carbón activado es usado en las plantas de tratamiento de agua ya sea en polvo con un proceso de suspensión o granular con un proceso de lecho fijo, esto va a depender del objetivo a cumplir.

El carbón activado es usado en los sistemas de filtración de agua, siendo esta una solución eficiente y rentable.

**El carbón activado se emplea principalmente para la eliminación de:**

- Exceso de cloro
- Sustancias que afectan el olor
- Compuestos causantes de malos, sabores o colores.
- Materia orgánica
- Subproductos de desinfección relacionadas al cloro (Trihalometanos: cloroformo, bromoformo, etc.)
- Metales pesados
- Plaguicidas



Existen cada vez más requisitos exigentes de calidad del agua potable esto se puede observar en la norma (NTE INEN 1108:2014; AGUA POTABLE; ver Anexo 1) en donde se establece los requisitos a cumplir del agua potable para consumo humano en el Ecuador fijando de esta manera los límites máximos permitidos en las características físicas, sustancias inorgánicas, radioactivas, sustancias orgánicas, plaguicidas, residuos desinfectantes, subproductos de desinfección y requisitos microbiológicos.

Por este motivo han conllevado a la optimización del carbón activado para garantizar la calidad del agua potable. (Donau, s.f.)

#### 2.4.2 Tratamiento de aguas residuales

Aguas residuales son aquellas que están altamente contaminadas resultantes de procesos industriales, con el uso de químicos. De esta forma las plantas de tratamiento deben purificar el agua hasta límites aceptables antes de liberarla.

En la reforma del Libro VI del texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente (TULSMA) en el (ANEXO 1; correspondiente al Libro VI) presenta la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes referente al agua este anexo corresponde a una norma técnica ambiental en la que están presenten los requisitos a cumplir así como criterios de calidad, parámetros de monitoreo de descargas a cuerpos de agua, límites de permisibilidad, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado, permisos de descarga, métodos y parámetros para determinar parámetros químicos, físicos y biológicos en referencia al riesgo de contaminación del agua de origen industrial, comercial y de servicios ya sean públicos o privados. (TULSMA, 2014)

Mediante formulaciones de carbón activado y equipos especializados dirigidos a contaminantes específicos se realiza el tratamiento. (Corporation, 2016)

#### 2.4.3 Adsorción de materia orgánica

##### *Contaminación orgánica*

Una de las más grandes problemáticas se da en la preocupación por la calidad del agua potable debido a la contaminación orgánica y no solamente involucra esta sino la formación de productos secundarios como resultado de las interacciones con diferentes precursores que se usan como medio de desinfección. (Clark & Lykins, 1989)

La eliminación de las sustancias orgánicas se realiza principalmente por el proceso de adsorción.



En caso de que el agua contiene sustancias biodegradables, el efecto de purificación se realiza colocando microorganismos sobre el carbón activado.

El uso de carbón activado elimina del agua hasta las trazas más pequeñas de sustancias nocivas de manera más eficiente. (Donau, s.f.)

#### 2.4.4 Reducción de cloro de aguas de procesos para bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

Agentes oxidantes como el cloro y sus diferentes compuestos son usados para la desinfección en los sistemas de purificación de agua. Cuanto menor es el tamaño de partícula de carbón activado, mayor es la capacidad de decloración. (Donau, s.f.)

Para realizar la producción de bebidas carbonatadas y no carbonatas es necesario que el agua del proceso cumpla características especificadas a continuación.

#### **Características del Agua para la elaboración de bebidas**

- Es el componente mayoritario, alrededor del 90%
- Debe ser tratada, cuyo tratamiento dependerá de la naturaleza del agua.
- En la Tabla 10 se presenta la relación que existe entre las impurezas del agua y los defectos de calidad según Varnam y Sutherland (1997), y en la Tabla 11 los estándares químicos para el agua en la elaboración de refrescos.
- Los niveles de cloro aplicado en el agua pueden ser hasta de 4 mg/L, sin embargo, este contenido es excesivo y tiene que ser eliminado el exceso. Para ello se puede utilizar un lecho de carbón. (Varnam & Sutherland, 1997)

**Tabla 10.** Relaciones entre las impurezas del Agua y los defectos de Calidad en los Refrescos Carbonatados

<b>Impureza</b>	<b>Norma</b>	<b>Defecto</b>
Gusto	Insípida	Mal sabor
Olor	Inodora	Mal olor y sabor
Color	Unidades hazen	Mal color y sabor
Turbidez	1 mg./L (1)	Mal color y sabor
Sedimento	Ausencia	Sedimento, mal olor y sabor mal Sabor
Cloro libre	0.05mg/L	Mal sabor
Manganeso	0.30 mg/L	Mal sabor, sedimento
Plomo	0.10mg/L	Tóxico
Cobre	0.50mg/L	Tóxico



Flúor	2.0mg/L	Dientes manchados
Nitrato	10mg/L (2)	Posible enfermedad en niños pequeños, dañando las latas (barnices)
Nitrito	1mg/L (2)	Posible enfermedad en niños Pequeños, formación de nitrosaminas.

Toda agua utilizada debe ser potable y no tener ningún efecto adverso sobre las características o sobre la calidad del producto final.

1. Medido usando tierra de Fuller como referencia

2. Expresado como nitrógeno

**Fuente:** Varman y Sutherland ,1997

**Tabla 11.** Estándares Químicos para el Agua en la Elaboración de Refrescos

Parámetro	Nivel máximo permitido (mg/L)
Sólidos totales en disolución	500 – 850
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	50
Cloruros	250 – 300
Sulfatos	250 – 300
Hierro	0 – 0.3
Aluminio	0 – 0.2

**Fuente:** Varman y Sutherland ,1997

#### 2.4.5 Purificación de gases

El carbón activado granular es usado en el tratamiento de gases:

- Para la limpieza de gases de combustión en plantas que realizan la incineración de residuos con el objeto de la retención de metales pesados y dioxinas.
- En plantas que poseen aire de escape como subproducto del proceso de producción, el carbón activado elimina impurezas orgánicas y CO<sub>2</sub>
- Para eliminar contaminantes del aire en sistemas de aire acondicionado y ventilación.
- Para eliminar olores no deseados en campanas extractoras de cocina y filtros frigoríficos.
- Eliminar contaminantes del sistema de ventilación del automóvil
- En mascarillas de gas
- En filtros de cigarrillos
- Como medio portador para catalizadores.



#### 2.4.6 Tratamiento de líquidos y decoloración

En la industria el carbón activado se usa en el tratamiento de líquidos, así como de soluciones de azúcar, glucosa, aceites y grasas, concentrados de fruta, cerveza, vino, productos químicos y productos farmacéuticos, etc. (Donau, s.f.)

##### *Clarificación de jarabe de azúcar*

En la industria de bebidas el azúcar y el agua son las materias primas principales. Pero la calidad del azúcar es diferente esto va a depender del tipo de proceso de refinado que se somete la misma, existen diferentes estándares de calidad establecido por el CODEX Para Los Azúcares, (CODEX STAN 212, 1999). Muchas de las veces al preparar el jarabe de azúcar este no cumple con los requisitos establecidos para la preparación de bebidas debido al contenido de residuos que puede poseer el azúcar.

La clarificación consiste en eliminar las sustancias causantes de turbidez, color, olor y sabor.

Entonces es necesario que se dé un tratamiento en el cual involucra procesos dinámicos con el objetivo de obtener óptimos resultados. De esta forma se realiza una filtración y decoloración en donde la tecnología más usada es el tratamiento con carbón activado en polvo seguido por una filtración de tierras diatomeas. Otro método que puede usarse para decolorar el jarabe de azúcar es mediante columnas de resinas de intercambio iónico en esta etapa también es posible realizar una desmineralización o reducción de sales del jarabe y con un sucesivo tratamiento de desodorización con columnas de carbón activado granular.

El carbón activado remueve del jarabe las impurezas, de esta manera se elimina los componentes que causan sabores y colores indeseables. (Adue.it, 2016)

Existen factores que pueden influir en el tratamiento de decoloración así tenemos:

- Temperatura: Al aumentar la temperatura mejora la remoción de impurezas, esto es debido a que la viscosidad del jarabe disminuye.
- Cantidad de carbón activado: mientras más impurezas mayor cantidad de carbón activado se necesita.
- Tiempo de contacto: se debe establecer un tiempo óptimo de 30 minutos de contacto para garantizar la remoción de impurezas.





- pH: puede inducir a la adsorción de compuestos ácidos o básicos del jarabe. (Adue.it, 2016)

#### *Purificación de glicerina*

La glicerina es muy utilizada a nivel industrial ya sea en el área de alimentos como en farmacéutica. Por lo cual es muy importante obtener una glicerina con la mejor calidad, de esta manera se realiza la decoloración de la misma usando carbón activado por lo que se necesita un carbón activado con alta pureza para poder remover las impurezas evitando que se degrade la glicerina en el proceso. (Cabot, Norit GAC, s.f.)

#### *Decoloración de aceites*

En la decoloración de aceites se usa carbón activado, tierra de diatomea como sustancias adsorbentes para una posterior filtración, de esta forma se eliminan colores indeseados y del mismo modo partículas en suspensión, obteniendo un aceite con un tono más incoloro, la tonalidad dependerá el grado de tratamiento que se aplique al aceite. (Ortuño Sánchez, 2005)

#### *Decoloración y desodorización de bebidas alcohólicas*

En la industria de bebidas alcohólicas se puede mencionar el vino, cerveza, ron, vodka y whisky usan el carbón activado como medio de decoloración y desodorización con el fin de aumentar la estabilidad del producto a mayor tiempo y refinar el sabor.

Para esto el carbón activado a utilizar debe cumplir ciertos requisitos entre los que destacan son los siguientes:

- Libre de polvo
- Gran capacidad de adsorción con muy baja dosificación de carbón activado (Cabot, Activated Carbon)

#### 2.4.7 Auxiliar en tratamientos de intoxicación

En un caso de estudio elaborado por (Mintegui Raso, Fernández, & Fernández, 2003). Demostraron que mediante la administración de carbón activado en polvo donde la dosis depende del peso corporal del paciente, de este modo se estableció una dosificación de (1 g de carbón activado /kg paciente), donde los pacientes habían

ingerido fármacos en exceso y productos de limpieza domésticos, obteniendo como resultados que los pacientes presentaban mejoras con una buena evolución, por lo tanto la administración de carbón activado era un procedimiento seguro y eficaz de descontaminación gastrointestinal.

### 3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1 RECOLECCIÓN DE CÁSCARA DE COCO

Los materiales utilizados para la recolección de la materia prima fueron:

*Tabla 12. Materiales para recopilación de materia prima*

Material	Cantidad
<b>Cáscara de coco meta</b>	50kg
<b>Saquillos / fundas</b>	3



*Ilustración 22. Residuos encontrados en esquinas de lugares de recolección*

La materia prima fue obtenida a partir de residuos generados por comerciantes dedicados a la venta del fruto y del agua de coco, mismos que desechaban en gran cantidad hacia los basureros.

*Tabla 13. Lugares de recolección de cascara de coco*

Lugares de recolección	Cantidad recolectada
<b>Sector de Pasamanería</b>	5kg/día
<b>Sector Terminal Terrestre</b>	2kg/día

La materia prima fue recolectada en un periodo de tiempo de una semana obteniendo así 50kg de residuos del coco.

### 3.2 SELECCIÓN

La materia prima que fue recolectada posee cáscara de coco, la pulpa, basura, motivo por el cual se procedió a realizar la selección únicamente de la cáscara del coco para lo cual los materiales a utilizar fueron:

*Tabla 14. Materiales para selección de materia prima*

Materiales	Cantidad
<b>Residuos del coco</b>	50kg
<b>Saquillos</b>	2



*Ilustración 23. Selección de cáscara de coco*

Durante de selección de la cáscara de coco se obtuvo 35kg en si ya de materia prima, teniendo 15 kg correspondientes a otros residuos

Luego de la selección se realizó muestreo al azar específicamente por cuarteo para así obtener únicamente 10 kg, los mismos que se utilizan para obtención del carbón activado.

### 3.3 SECADO

Los materiales utilizados para este proceso fueron:

**Tabla 15.** *Materiales para secado de materia prima*

MATERIALES	
Materiales	Cantidad
<b>Cáscara de coco</b>	10kg
<b>Fundas plásticas</b>	3

Una vez que se obtuvo por selección los 10 kilogramos de materia prima se procede a dejarlos secar durante 48 horas, se realizó un secado tradicional dejando la cáscara sobre fundas plásticas limpias en una superficie plana.



*Ilustración 24.* Secado de materia prima

Luego de culminar el secado se obtuvo una pérdida de materia prima de 1kg quedando así un total de 9kg de cascara de coco.

### 3.4 MOLIENDA

Los materiales utilizados para la molienda de la materia prima fueron:

**Tabla 16.** *Materiales para molienda de materia prima*

MATERIALES	
Materiales	Cantidad
<b>Cáscara de coco</b>	9kg
<b>Molino de martillos 1kilo capacidad</b>	1
<b>Criba 3/8</b>	1
<b>Saquillos</b>	2



*Ilustración 25. Preparación de la materia prima para la molienda*

El molino de martillos que se utilizó para la molienda de la materia prima es propiedad de la Universidad de Cuenca, mismo que se encuentra en el campus de Balzay constatado con el siguiente código: 14845



*Ilustración 26. Molino de martillo*

La criba de 3/8 se envió a fabricar por cuenta de autoras de acuerdo a la medida del molino de martillo.

La molienda de la materia prima se la realizó en el laboratorio de cerámicas de la Universidad de Cuenca ubicado en Balzay, se colocó la muestra en pequeñas cantidades de 200g en el molino y se espera aproximadamente 30 minutos por cada kilo de materia prima, esto debido a la capacidad del molino y a la dureza que presenta la cáscara de coco.



Ilustración 27. Tamaño de materia prima pasada por criba de 3/8

Luego se procede a pesar la cantidad obtenida final ya que se pierde aproximadamente 100g debido a partículas que se vuelven polvo durante dicho proceso, finalmente se coloca la muestra obtenida en saquillos limpios para reposo hasta proceso de activación.

### 3.5 CARACTERIZACIÓN DE CÁSCARA DE COCO

#### DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Materiales y equipos

Tabla 17. *Materiales para determinación de humedad de la materia prima*

Materiales	Cantidad
<b>Cáscara de coco</b>	2.5g
<b>Capsula de porcelana</b>	1
<b>Pinza metálica</b>	1
<b>Desecador</b>	1

Tabla 18. *Equipos para determinación de humedad de la materia prima*

Equipos	Marca
<b>Balanza analítica</b>	Sartorius CP224S
<b>Estufa</b>	Memmert SN75

### *Descripción del método*

1. Pesar la cápsula de porcelana limpia y seca (P)
2. Luego pesar aproximadamente 2g de cáscara de coco (P1) en la cápsula de porcelana
3. Precalear la estufa a  $103 \pm 3^\circ\text{C}$
4. Colocar la muestra durante 2 horas aproximadamente en la estufa
5. Sacar la muestra y colocar durante 15 minutos en el desecador
6. Pesar la muestra
7. Repetir hasta conseguir un peso constante

### *Proceso*

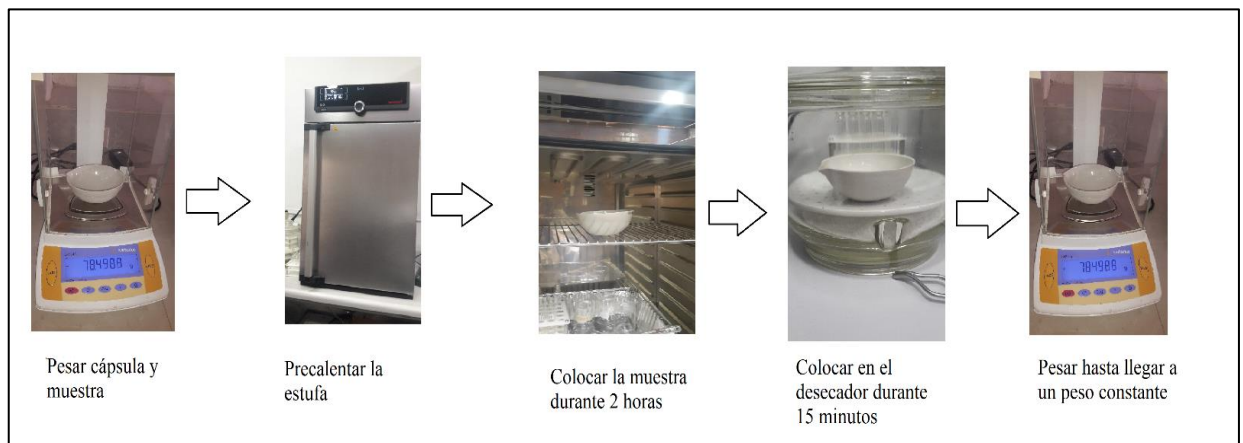


Ilustración 28. Proceso de determinación de humedad en materia prima

### *Cálculo del % de humedad*

#### *Fórmula utilizada*

*Ecuación 6. Cálculo del porcentaje de humedad*

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P} * 100$$

Donde:

P: cápsula vacía

P<sub>1</sub>: cápsula + materia húmeda

P<sub>2</sub>: cápsula + materia seca



### Datos obtenidos

**Tabla 19.** Pesos iniciales para cálculo de humedad

P	Peso Cápsula	
P <sub>1</sub>	Peso Cápsula + muestra	80.7158g
-	Peso muestra	2.217g

**Tabla 20.** Pesos obtenidos para cálculo de humedad

N	Hora	Peso
1	10:00	80.7158g
2	12:26	80.4592g
3	12:55	80.4555g
4	13:30	80.4528g
5	14:00	80.4526g

$$\%H = \frac{80.7158g - 80.4526g}{80.7158g - 78.4988g} * 100$$

$$\%H = 11.87$$

### 3.5.1 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

#### *Materiales y equipos*

**Tabla 21.** Materiales para determinación de cenizas

Materiales	Cantidad
Cocineta	1
Crisoles	2
Pinza metálica	1

**Tabla 22.** Equipos para determinación de cenizas

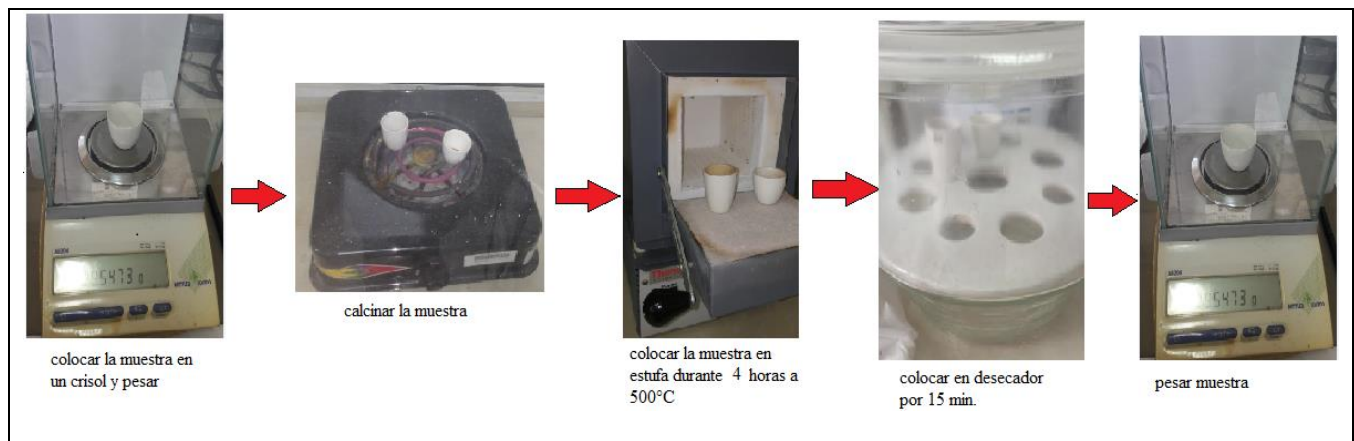
Equipos	Marca
Mufla	Thermo Scientific – Thermolyne
Balanza analítica	METTLER TOLEDO AB204



### *Descripción del método*

1. Pesar 0.1g aproximadamente en la balanza analítica.
2. Calcinar la muestra en una cocineta hasta que deje de desprender humos, con la finalidad de que no se pierda muestra en la mufla.
3. Colocar la muestra en la mufla a una temperatura de 500°C. durante 4 horas
4. Colocar en el desecador durante 15 minutos.
5. Pesar la muestra en la balanza analítica
6. Se realizó el ensayo por duplicado

### *Proceso*



*Ilustración 29.* Proceso de determinación de cenizas de materia prima

### *Cálculo de cenizas*

Fórmula utilizada para cálculo de cenizas totales

*Ecuación 7.* Cálculo de cenizas totales de materia prima

$$\% \text{cenizas totales} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100$$

**Donde:**

**P<sub>2</sub>:** Peso del crisol con las cenizas

**P<sub>1</sub>:** peso del crisol con la muestra

**P<sub>0</sub>:** peso del crisol vacío



*Datos obtenidos*

**Tabla 23.** Datos de pesos de muestra 1 para determinación de cenizas

Datos	Nomenclatura	Pesos
Peso Crisol 1	P <sub>0</sub>	24.9769g
Peso Crisol 1 +muestra	P <sub>1</sub>	25.8388g
Peso muestra	-	0.8619g
peso muestra calcinada + crisol	P <sub>2</sub>	24.9845g

**Tabla 24.** Datos de pesos muestra 2 para determinación de cenizas

Datos	Nomenclatura	Pesos
Peso Crisol 2	P <sub>0</sub>	29.5385g
Peso Crisol 2 +muestra	P <sub>1</sub>	30.5315g
Peso muestra 2	-	0.993g
peso muestra calcinada+ crisol	P <sub>2</sub>	29.5473g

*Valores calculados*

Cálculo de cenizas totales muestra 1

$$\%cenizas\ totales\ 1 = \frac{24.9845g - 24.9769g}{25.8388g - 24.9769g} * 100$$

$$\%cenizas\ totales\ 1 = 0.882$$

Cálculo de cenizas totales muestra 2

$$\%cenizas\ totales\ 2 = \frac{29.5473g - 29.5385g}{30.5315g - 29.5385g} * 100$$

$$\%cenizas\ totales\ 2 = 0.886$$

Cálculo de cenizas totales promedio

$$\%cenizas\ totales\ promedio = \frac{0.882 + 0.886}{2}$$

$$\%cenizas\ totales\ promedio = 0.884$$



### 3.6 ACTIVACIÓN QUÍMICA

Se realizó la activación química del carbón mediante dos métodos a distintas concentraciones y temperaturas, una a 85% de ácido fosfórico con una temperatura de 120°C y otra a 40% de ácido fosfórico a una temperatura de 300°C.

#### 3.6.1 CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 85% ÁCIDO FOSFÓRICO

##### *Materiales y reactivos*

**Tabla 25.** *Materiales y reactivos para activación de carbón 85% ácido fosfórico*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Cáscara de coco	8.5kg
Cápsulas de porcelana capacidad 250cm <sup>3</sup>	4
Cápsulas de porcelana capacidad 100cm <sup>3</sup>	4
Pipeta volumétrica 20cm <sup>3</sup>	1
Espátula	1
Papel aluminio	1.8m
Bandejas de aluminio	3
<b>Reactivos</b>	
Ácido fosfórico 85%	600cm <sup>3</sup>

##### *Equipos*

**Tabla 26.** *Equipos utilizados en activación con 85% de ácido fosfórico*

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>
Balanza analítica	Sartorius CP224S
Estufa a 110°C	Memmert SN75

##### *Descripción del método*

1. Esta parte metodológica se la realizó en el laboratorio de la Universidad de Cuenca (laboratorio de energía e ingeniería de la reacción).
2. Se realiza un muestreo por cuarteo de los 8.5 kilos obtenidos anteriormente restando 1.5kg para determinación de humedad, cenizas y pérdidas durante muestreo, dejando así 6kg y utilizando 670g aproximadamente para cada concentración de ácido fosfórico, esto debido a la capacidad de la estufa que no permite realizar una mayor cantidad ya que el ácido fosfórico es corrosivo y podría dañar equipos en el laboratorio.
3. En las cápsulas de 250cm<sup>3</sup> de capacidad se pesó aproximadamente 100g de muestra y en las cápsulas de 100cm<sup>3</sup> de capacidad se le colocó aproximadamente 50g de muestra; a cada una de las cápsulas se le adicionó ácido fosfórico al 85% en relación 1:1 P/V.
4. Se tapa cada cápsula con papel aluminio dejando agujeros de eliminación de vapor, como se muestra en la ilustración 30.

5. Se colocan las cápsulas sobre bandejas de aluminio dentro de la estufa precalentada a 120°C, dejándolas durante 24 horas de contacto.
6. Sacar la muestra de la estufa y se deja enfriar a temperatura ambiente



Ilustración 30. Agujeros para eliminación de vapores de la muestra

### Proceso

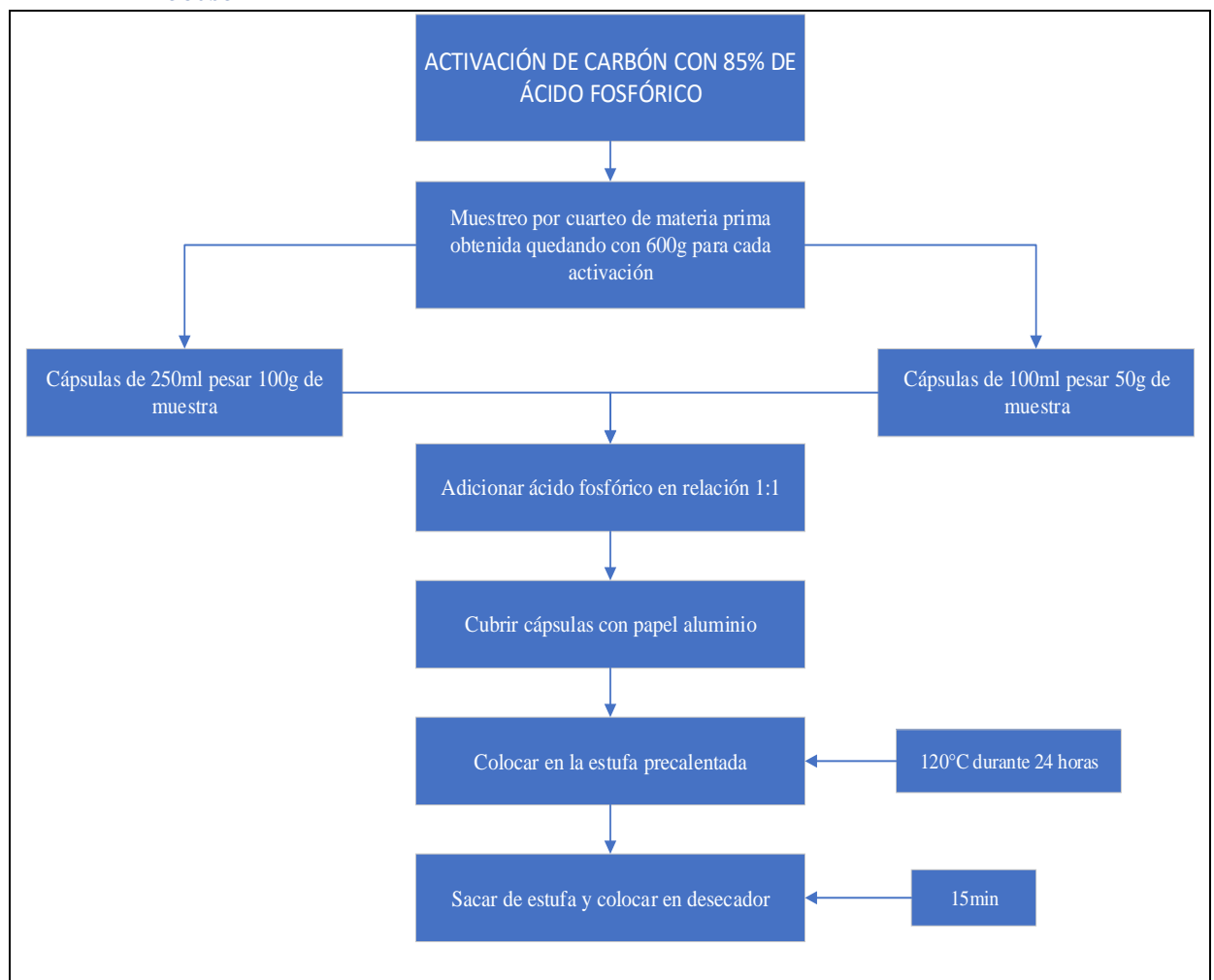


Ilustración 31. Proceso de activación con ácido fosfórico 85%



### 3.6.2 CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 40% ÁCIDO FOSFÓRICO

#### *Materiales y reactivos*

**Tabla 27.** *Materiales y reactivos para activación de carbón 40% ácido fosfórico*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Cáscara de coco	680g
Cápsulas de porcelana capacidad 250cm <sup>3</sup>	2
Cápsulas de porcelana capacidad 100cm <sup>3</sup>	4
Pipeta volumétrica 20cm <sup>3</sup>	1
Espátula	1
Papel aluminio	1.8m
Termómetro	1
Guantes térmicos	1par
Pinza metálica	1
<b>Reactivos</b>	
Ácido fosfórico 40%	1100cm <sup>3</sup>

#### *Equipos*

**Tabla 28.** *Equipos utilizados en activación con 40% de ácido fosfórico*

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>
Balanza analítica	Sartorius CP224S
Cocina industrial	-
Campana de extracción	-

#### *Descripción del método*

Esta parte metodológica por motivos de posibles daños en equipo de la Universidad de Cuenca, se la realizó en Ricaurte en un terreno alejado de la población para evitar problemas debido a la emanación de vapores.

1. Se pesa aproximadamente 600g de cáscara de coco
2. En las cápsulas de 250cm<sup>3</sup> de capacidad se pesó 150g y 120g de muestra respectivamente y en las cápsulas de 100cc de capacidad se le colocó 100g de muestra en cada una; a cada una de las cápsulas se le adicionó ácido fosfórico al 40% en relación 1:3 P/V.
3. Se tapa cada cápsula con papel aluminio dejando agujeros de eliminación de vapor.
4. La mezcla se deja en reposo durante 16 horas con agitación de manera ocasional.
5. Se carboniza la muestra colocándola en la cocina industrial controlando la temperatura  $300 \pm 5$  °C durante 2.5 horas.
6. Retirar la muestra de la cocina industrial y enfriar a temperatura ambiente.



*Disolución de Ácido Fosfórico al 85% para obtener un ácido al 40% de concentración*

Para determinar el volumen necesario del ácido fosfórico al 85% se aplica la siguiente ecuación:

*Ecuación 8. Determinación volumen/concentración del ácido fosfórico*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Donde:

C<sub>1</sub>: Concentración inicial

C<sub>2</sub>: Concentración final

V<sub>1</sub>: volumen inicial

V<sub>2</sub>: volumen final

Cálculo del volumen de ácido fosfórico 85% para obtener Ácido fosfórico al 40%

$$85\% \times V_1 = 40\% \times 5000ml$$

$$V_1 = 2352,94 ml$$

*Volumen de ácido (85%)*

Entonces se disuelve 2352,94 ml de ácido fosfórico al 85% en 2647,07 ml de agua destilada para así obtener 5000ml de una disolución de ácido fosfórico al 40%.

*Proceso*

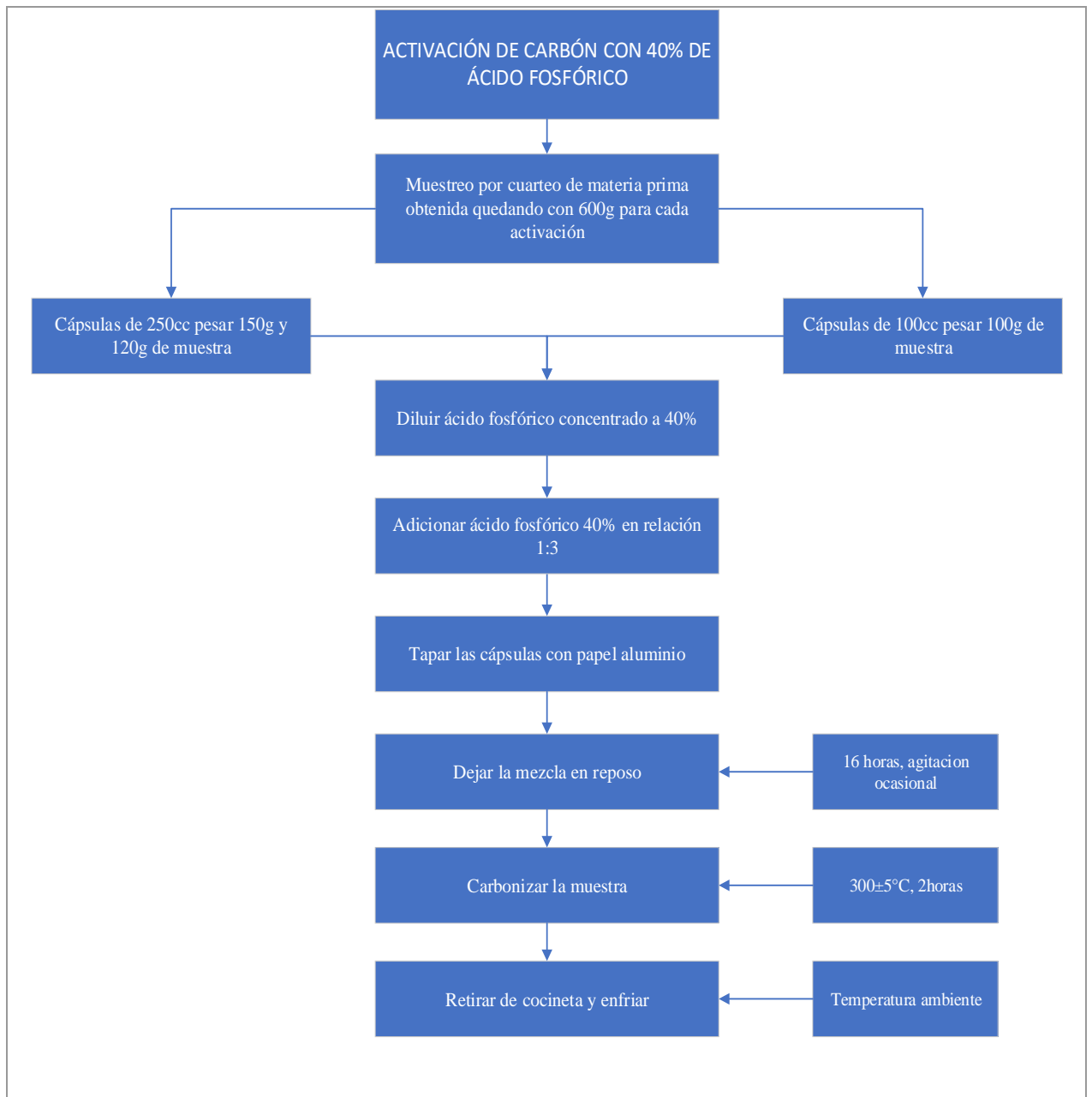


Ilustración 32. Proceso de activación con ácido fosfórico 40%



### 3.7 LAVADO

#### 3.7.1 Materiales y reactivos

**Tabla 29.** *Materiales y reactivos para lavado de carbón activado*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Carbón activado	600g
Balanza analítica	1
Espátula	1
Cocineta	1
Piceta	2
Papel filtro Whatman	1 metro
Embudo	4
Termómetro	1
Varillas	2
Probeta	1
Vaso de precipitación 1000ml	1
Vasos de precipitación 500ml	2
Vasos de precipitación 100ml	3
<b>Reactivos</b>	
Hidróxido de sodio (NaOH) 1N	4 litros
Agua destilada	40 litros

#### 3.7.2 Equipos

**Tabla 30.** *Equipos utilizados para el lavado de carbón activado*

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>
pH metro	Hanna Edge

#### 3.7.3 Descripción del método

1. Se calienta en la cocineta agua destilada en vasos de precipitación a 80°C.
2. Se les adiciona el agua destilada caliente a las cápsulas de porcelana
3. Se corta el papel según el embudo a utilizar, se pasa el carbón al embudo y se comienza a lavar con agua destilada realizando como inicio 10 lavados como se muestra en la ilustración 33.
4. Se procedió a medir el pH, éste debe ser neutro, de no ser así se sigue lavando con agua destilada.





*Ilustración 33.* Lavado de carbón activado con agua destilada

5. En el caso de que se realice 20 lavados con agua destilada y no se llegue al pH deseado empezar a lavar con hidróxido de sodio.
6. Lavar finalmente con agua destilada y medir el pH obtenido.



*Ilustración 34.* pH final obtenido durante el proceso de lavado del carbón activado

### 3.7.4 Proceso

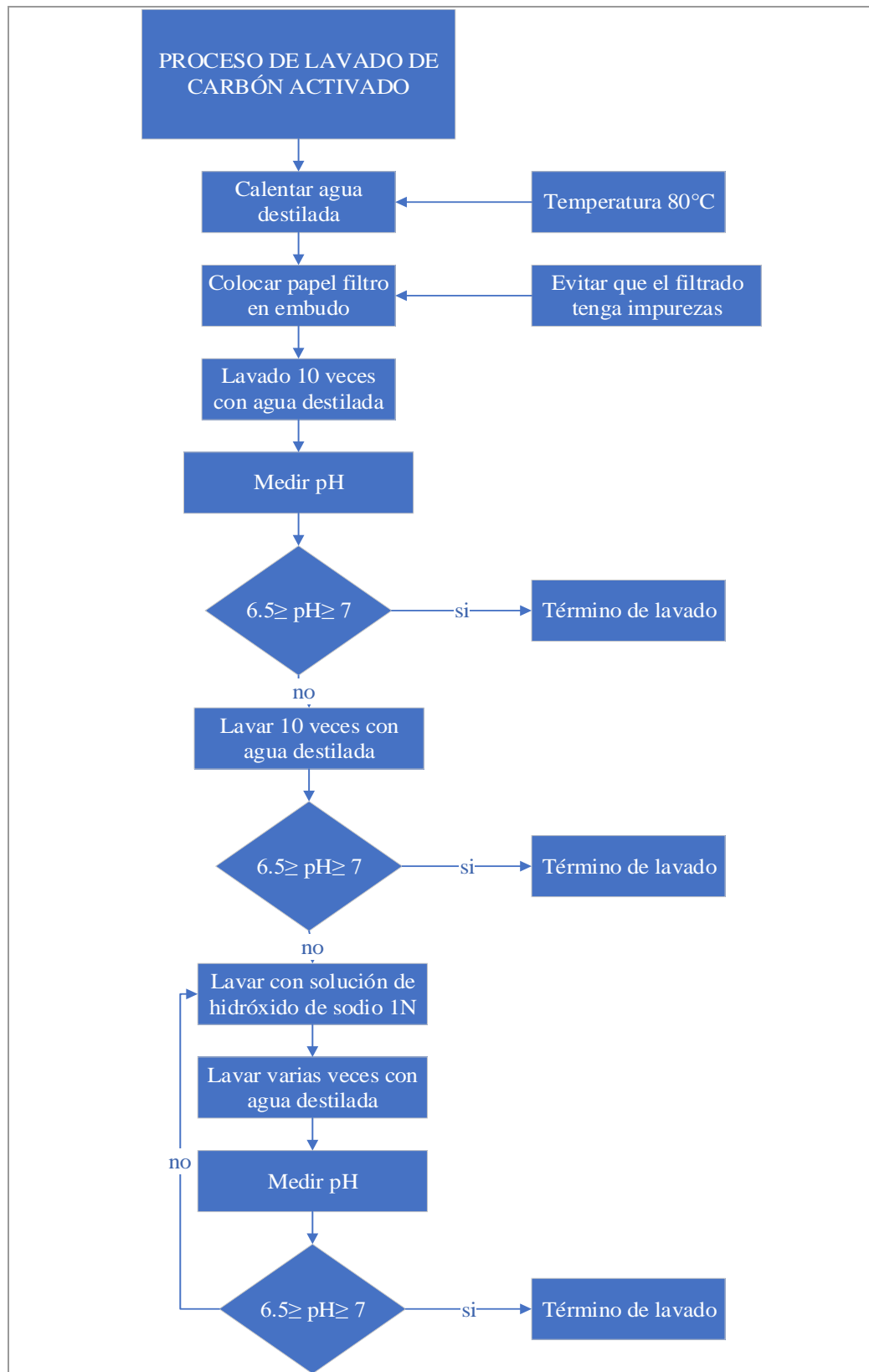


Ilustración 35. Proceso de lavado de carbón activado

### 3.8 SECADO

#### 3.8.1 Descripción

1. Se coloca el carbón activado obtenido del paso anterior en cápsulas de porcelana
2. Precalear la estufa a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$
3. Colocar las cápsulas en la estufa durante un tiempo de 48 horas
4. Pasado este tiempo sacar de la estufa y enfriar



*Ilustración 36.* Carbón Activado obtenido después del proceso de secado

### 3.9 REDUCCIÓN DE TAMAÑO

#### 3.9.1 Descripción

1. Mediante un mortero se pulveriza las muestras de carbón activado obtenidos a diferentes concentraciones de activación como se muestra en ilustración 37.



*Ilustración 37.* Pulverizado de carbón activado en mortero

2. Pasar por el tamiz N° 8 U.S



*Ilustración 38.* Carbón activado pasado por el tamiz N°8 U.S

3. Almacenar en recipientes plásticos

### 3.10 PESADO

#### 3.10.1 Descripción

1. Pesar con ayuda de la balanza



*Ilustración 39.* Pesado de carbón activado obtenido

2. Determinar el rendimiento alcanzado

## 3.10.2 Proceso

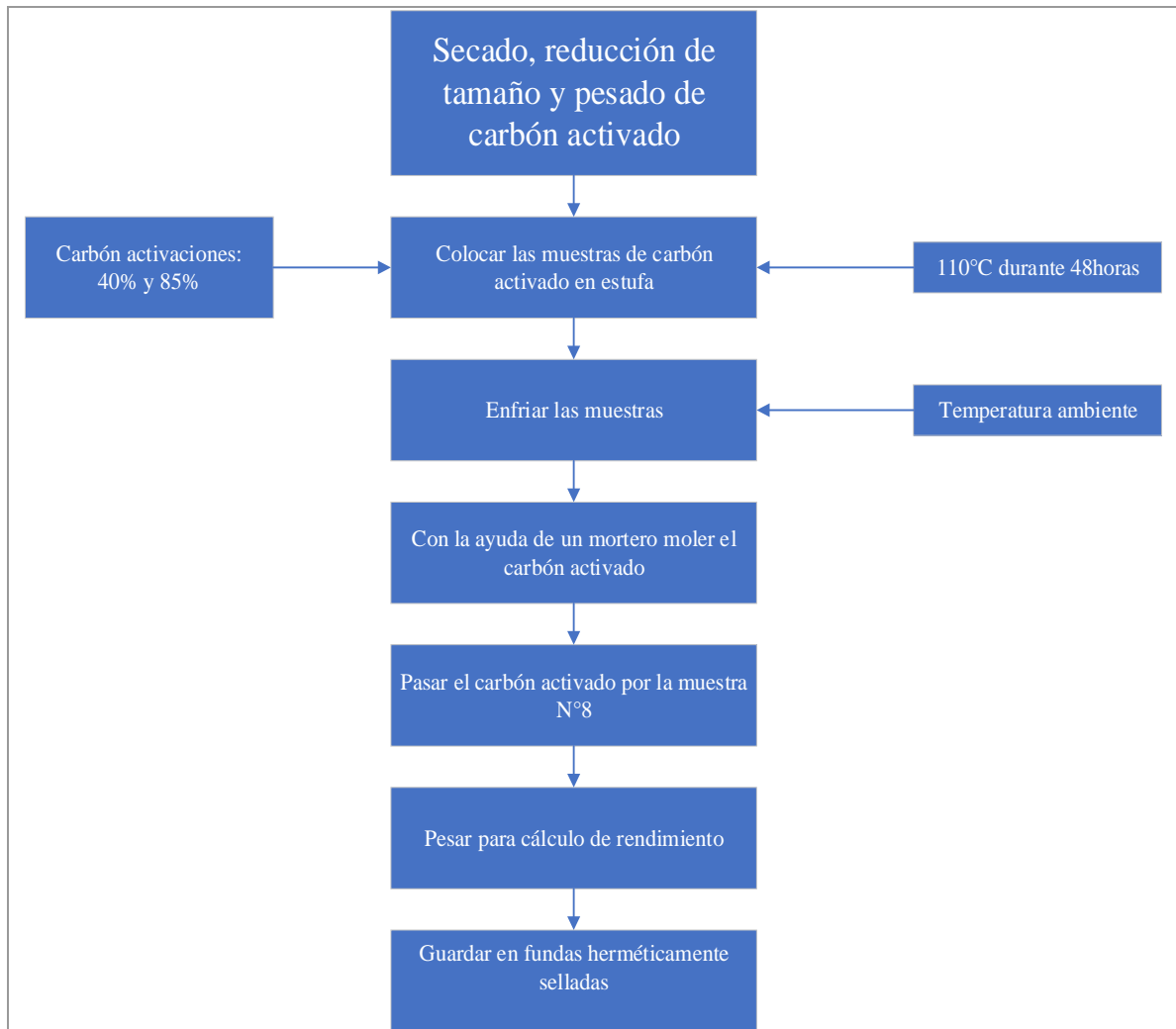


Ilustración 40. Proceso de secado, reducción de tamaño y pesado de carbón activado granular

## 3.10.3 Porcentaje de Rendimiento alcanzado durante la Activación

Para la determinación del rendimiento se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Porcentaje de Rendimiento

$$\%R = \frac{\text{rendimiento real}}{\text{rendimiento teórico}} \times 100$$



*Para el carbón activado al 40%*

Datos obtenidos

**Tabla 31.** Muestras de cáscara de coco para la activación química al 40%

Muestras de cáscara de coco	
Nº cápsula	Peso
1	120.12
2	150.1
3	100.05
4	100.13
5	100.11
6	100.14
<b>TOTAL</b>	<b>670.65g</b>

Peso de cáscara de coco:	670.65 g
Peso obtenido de carbón activado al 40%:	438.90 g

*Cálculo del rendimiento alcanzado para el carbón activado al 40%*

$$\%R = \frac{438.65}{670.65} \times 100$$
$$\%R = 65.4$$

*Para el carbón activado al 85%*

Datos obtenidos

**Tabla 32.** Muestras de cáscara de coco para la activación química al 85%

Muestras de cáscara de coco	
Nº cápsula	Peso
1	60.12
2	60.11
3	60.12
4	60.11
5	100.04
6	100.1
7	50.02
8	50.06
9	60.05
10	60.09
<b>TOTAL</b>	<b>660.82 g</b>



Peso de cáscara de coco:	660.82 g
Peso obtenido de carbón activado al 85%:	409.79 g

Cálculo del rendimiento alcanzado para el carbón activado al 85%

$$\%R = \frac{409.79}{660.82} \times 100$$
$$\%R = 62$$

### 3.11 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO

#### 3.11.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD

La determinación de la cantidad de agua presente en las muestras de carbón activado obtenidas se llevó a cabo mediante la pérdida de peso de las muestras en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y esta se expresa en porcentaje.

Para realizar la determinación del porcentaje de humedad es necesario los siguientes:

#### *Materiales y Equipos*

**Tabla 33.** *Materiales para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Carbón Activado	1 g
Espátula	1
Desecador	1
Cápsula de porcelana	1

**Tabla 34.** *Equipos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>
Balanza	METTLER TOLEDO ME 204
Estufa	Memmert SN75

### Descripción del método

1. Pesar 1g de muestra de carbón activado en una cápsula de porcelana
2. Precalear la estufa a  $145 \pm 5^\circ\text{C}$
3. Colocar la muestra en la estufa durante 1 hora
4. Pasado ese tiempo colocar la muestra en el desecador
5. Pesar la muestra en la balanza analítica
6. Repetir el proceso hasta obtener un peso constante

### Proceso

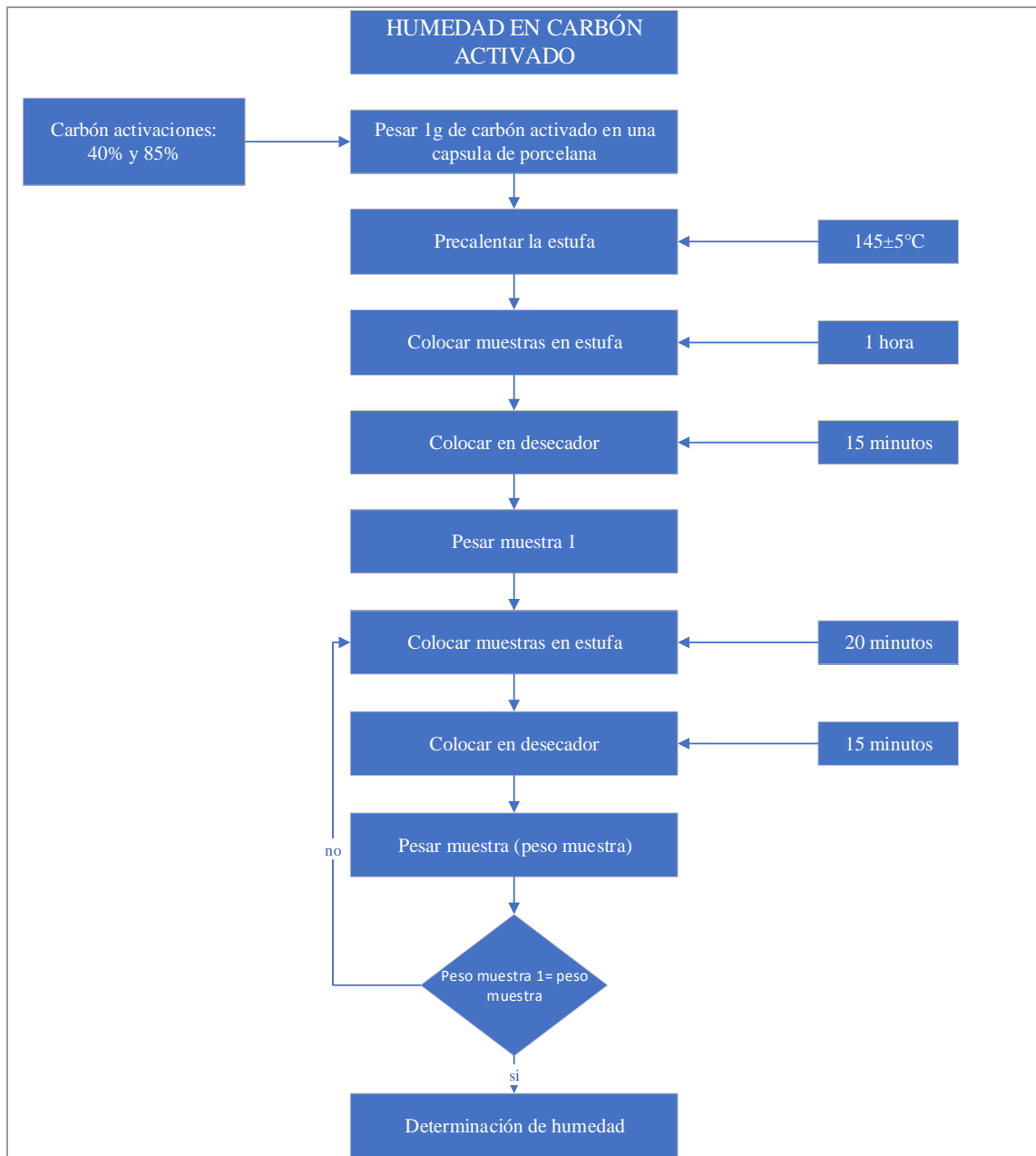


Ilustración 41. Proceso de Determinación de Humedad de Carbones Activados Granulares





### Cálculos

El porcentaje de humedad se calcula mediante la *Ecuación 6*, establecida anteriormente:

*Ecuación 6. Cálculo del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado*

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P} \times 100$$

Donde:

P: Cápsula vacía

P<sub>1</sub>: cápsula más muestra húmeda

P<sub>2</sub>: cápsula más muestra seca

### *Carbón Activado al 40%*

Datos obtenidos para el carbón activado al 40% para la determinación del % Humedad

**Tabla 35.** Datos obtenidos para la Determinación de Humedad del Carbón Activado al 40%

Cápsula	Cantidad
P	143.5552 g
P <sub>1</sub>	144.6135 g
m <sub>1</sub>	1.0583 g

m<sub>1</sub>: muestra de carbón activado al 40%

**Tabla 36.** Pesos obtenidos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado al 40%

Nº muestra	Tiempo	Peso
1	10:00	144.6135 g
2	11:15	144.5245 g
3	12:10	144.5118 g
4	12:43	144.5115 g

Cálculo del porcentaje de humedad del carbón activado al 40%

$$\%H = \frac{144.6135g - 144.5115g}{144.6135g - 143.5552g} \times 100$$

$$\%H = 9.638$$



### Carbón Activado al 85%

Datos obtenidos para el carbón activado al 85% para la determinación del % Humedad

**Tabla 37.** Datos obtenidos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado al 85%

Cápsula	Peso
P	114.5234 g
P <sub>1</sub>	115.5787 g
m <sub>2</sub>	1.0553 g

m<sub>2</sub>: muestra de carbón activado al 85%

**Tabla 38.** Pesos obtenidos para la Determinación del Porcentaje de Humedad del Carbón Activado al 85%

Nº muestra	Tiempo	Peso
1	10:00	115.5787 g
2	11:15	115.4857 g
3	12:10	115.4807 g
4	12:43	115.4806 g

Cálculo del porcentaje de humedad del carbón activado al 85%

$$\%H = \frac{115.5787g - 115.4806g}{115.5787g - 114.5234g} \times 100$$

$$\%H = 9.296$$

### 3.11.2 DENSIDAD APARENTE

Para la determinación de la densidad aparente de los carbones activados obtenidos, se tomó como referencia la norma NTE INEN 1986: Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Determinación de la densidad aparente: para lo cual es necesario primero obtener la cantidad de humedad que poseen los mismos, de esta manera se puede continuar con la determinación de la misma mediante la siguiente ecuación:



Ecuación 10. Cálculo de la Densidad Aparente de Carbón Activado

$$d_{ap} = \frac{m_1 \times (100 - \%H)}{10000}$$

Donde:

$m_1$ : masa del carbón en gramos

%H: porcentaje de humedad

$d_{ap}$ : densidad aparente en  $g/cm^3$

### *Materiales y Equipos*

Tabla 39. Materiales para la Determinación de la Densidad Aparente

Material	Cantidad
Carbón Activado	-
Espátula	1
Probeta	1
Embudo	1

Tabla 40. Equipos para la Determinación de la Densidad Aparente

Equipo	Marca
Balanza	BOECO BWL

### *Descripción del método*

1. Pesar la probeta
2. Colocar el embudo sobre la probeta
3. Cuidadosamente colocar la muestra en el embudo
4. Añadir la muestra a la probeta hasta completar la marca a  $100\text{ cm}^3$



*Ilustración 42.* Muestra de carbón activado en la probeta para Determinación de Densidad Aparente

#### 5. Pesar la probeta



*Ilustración 43.* Pesado de Probeta más muestras

#### 6. Calcular la densidad aparente de cada muestra.

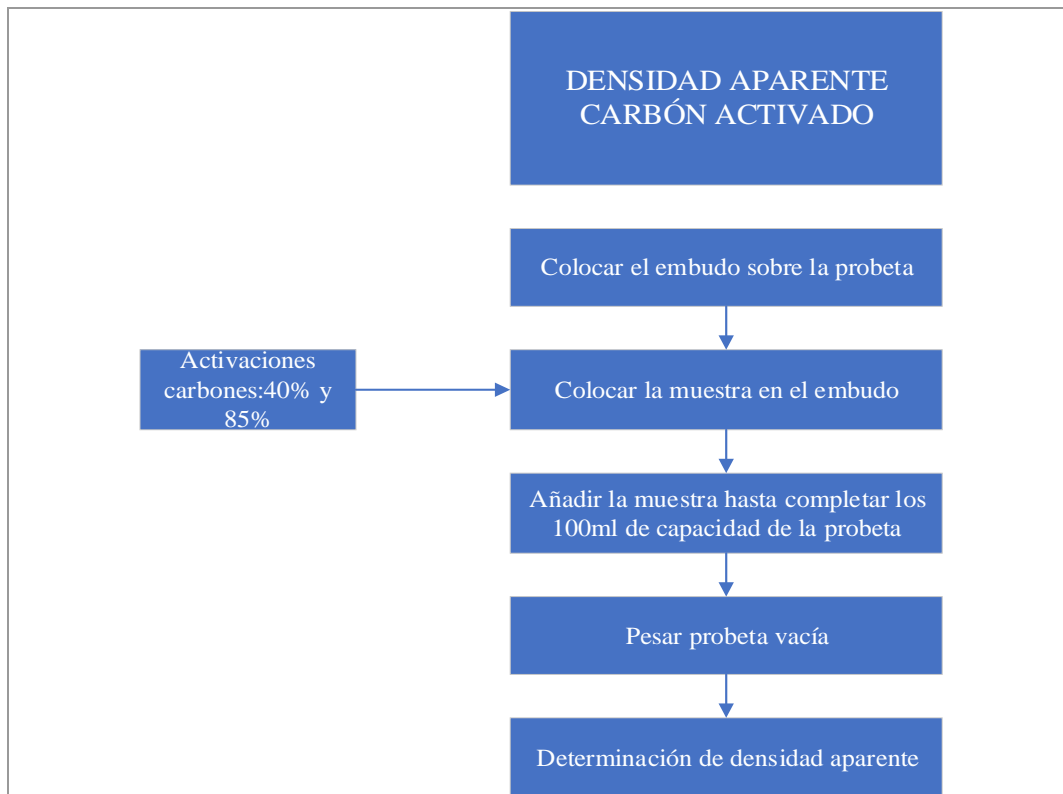
*Proceso*

Ilustración 44. Proceso de Densidad Aparente del Carbón Activado Granular

*Cálculo de la densidad para el Carbón Activado al 40%*

Datos obtenidos para el carbón activado al 40% para determinar la densidad aparente

<b>m<sub>1</sub>:</b>	55.1g
<b>%H:</b>	9.638

*Cálculo de la densidad aparente del carbón activado al 40%*

$$d_{ap} = \frac{55.1 \times (100 - 9.638)}{10000}$$

$$d_{ap} = 0.4979 \text{ g/cm}^3$$



*Cálculo de la densidad para el Carbón Activado al 85%*

Datos obtenidos para el carbón activado al 85% para determinar la densidad aparente

<b>m<sub>2</sub>:</b>	72.2g
<b>%H:</b>	9.296

Cálculo de la densidad aparente del carbón activado al 85%

$$d_{ap} = \frac{72,2 \text{ g} \times (100 - 9,296)}{10000}$$

$$d_{ap} = 0,6548 \text{ g/cm}^3$$

3.11.3 ÍNDICE DE YODO

Para la determinación del índice de yodo de los carbones activados obtenidos se tomó como referencia la normativa NTE INEN 1988:2013 (Anexo 2.)

Para las dos concentraciones se siguió la misma metodología variando únicamente el volumen de titulación con tiosulfato de sodio.

*Materiales*

**Tabla 41.** *Materiales utilizados para Determinación del Índice de Yodo*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Carbón activado	2g
Vasos de precipitación de 250ml	4
Vasos de precipitación de 500ml	4
Balón de aforo de 250ml	1
Varilla de vidrio	2
Papel filtro Whatman	Cuadrado de 30x30cm
Pipetas volumétricas 10ml,1ml,50ml	1 c/u
Bureta	2
Pinza metálica	2
Soporte metálico	2
Espátula	1
Desecador	1
Soporte para embudos	1
Embudos	2
Cápsulas de porcelana	2
Cocineta	1



### *Reactivos*

La preparación de las soluciones estándar se siguió de acuerdo a la normativa, ver (Anexo 2.)

**Tabla 42.** *Reactivos utilizados para Determinación del Índice de Yodo*

<b>Reactivos</b>	<b>Cantidad</b>
Ácido Clorhídrico	20ml
Solución Estándar de Tiosulfato de Sodio 0.1N	14ml
Solución Estándar de Yodo 0.1N	200ml
Solución de Almidón	2ml

### *Equipos*

**Tabla 43.** *Equipos utilizados para Determinación de Índice de Yodo*

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>
Estufa	Memmert SN75
Balanza analítica	METTLER TOLEDO

### *Descripción del método*

1. Precalentar la estufa a 145°C
2. Pesar aproximadamente 2g de carbón activado de cada concentración en cápsulas de porcelana.
3. Colocar las muestras en la estufa durante 2 horas.
4. Sacar las muestras y colocarlas en el desecador durante 15 minutos.
5. Pesar aproximadamente 1.5g de cada carbón activado y colocar cada muestra en un vaso de precipitación.
6. Añadir 10ml de ácido clorhídrico HCl al 5% y hacer movimientos giratorios al vaso de precipitación hasta que todo el carbón activado se haya humedecido.



*Ilustración 45.* Adición de ácido en las muestras de carbón activado

7. Colocar los vasos de precipitación en una cocineta, esperar que llegue a ebullición y mantenerlos así durante 30 segundos exactamente ver ilustración 46.



*Ilustración 46.* Ebullición con HCl durante 30 segundos

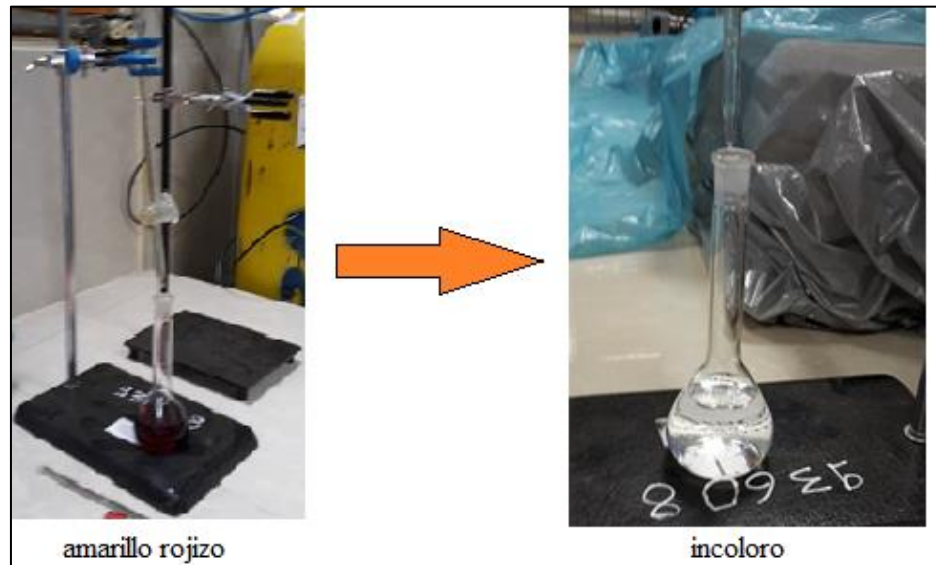
8. Dejar enfriar los vasos de precipitación hasta que lleguen a temperatura ambiente y añadir mediante pipeta volumétrica 100ml de la solución estándar de yodo 0.1N.





*Ilustración 47. Adición de Solución Estándar de Yodo 0.1N*

9. Tapar inmediatamente los vasos de precipitación y comenzar a agitar vigorosamente durante 30 segundos.
10. Colocar los embudos en el respectivo soporte y filtrar las soluciones mediante un papel filtro Whatman.
11. Descartar los primeros 20ml a 30ml del filtrado y recoger el resto del filtrado en un vaso de precipitación.
12. Pipetear 50ml del filtrado final y colocarlo en un balón de aforo para facilidad de titulación.
13. Llenar las buretas con tiosulfato de sodio 0.1N.
14. Empezar con la titulación del filtrado hasta que el color amarillo rojizo intenso desaparezca.



*Ilustración 48.* Cambio de coloración durante titulación con Tiosulfato de Sodio

15. Colocar 1ml de la solución de almidón a cada una de las muestras las mismas que se tornan de coloración azul.
16. Seguir titulando hasta que el color azul desaparezca y anotar el volumen de titulación.

Proceso

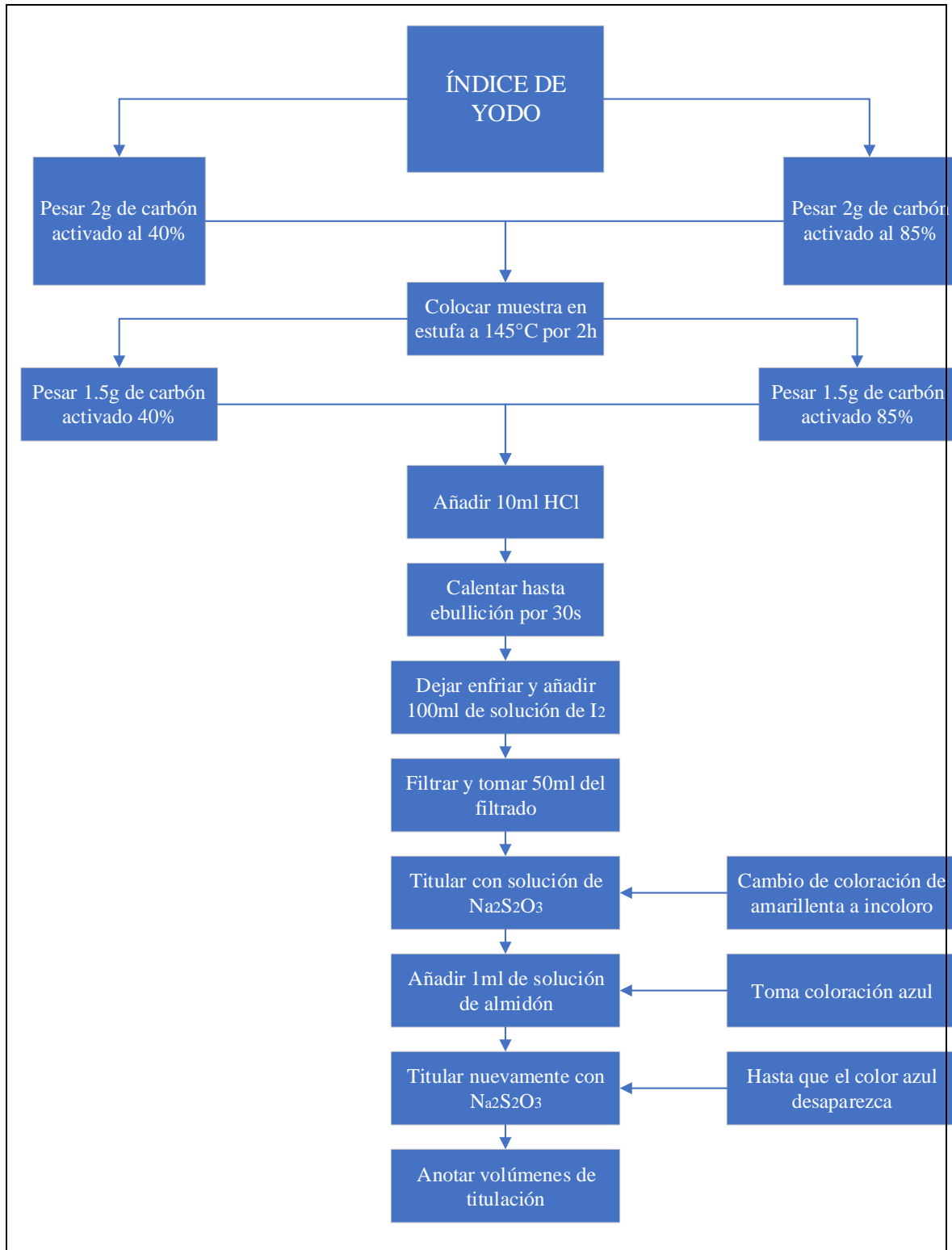


Ilustración 49. Diagrama de flujo de la Determinación de Índice de Yodo



*Cálculos para la Determinación del Índice de Yodo*  
Fórmulas para cálculo de índice de yodo

*Ecuación 11. Determinación del Índice de Yodo*

$$\text{Índice de yodo} = \frac{V}{m} * f$$

**En donde:**

*Ecuación 12. Cálculo de relación V/m*

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2.2 * B * V1)}{mc}$$

*Ecuación 13. Cálculo de las constantes del Índice de Yodo A y B*

$$A = N_1 * 12693$$

$$B = N_2 * 126,93$$

*Ecuación 14. Cálculo de la constante C para determinar factor f del Índice de Yodo*

$$C = \frac{N_2 * V_1}{50}$$

**Donde:**

V/m: mg de yodo absorbidos por gramo de carbón activado

C: normalidad del filtrado residual (para calcular factor f)

f: factor de corrección (ver *Tabla 46*)

V<sub>1</sub>: Volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0.1 N en ml (para cada una de las concentraciones de carbón activado 40 y 85% respectivamente).

N<sub>1</sub>: normalidad de la solución estándar de yodo 0.1 N

N<sub>2</sub>: normalidad de la solución estándar del tiosulfato de sodio 0.1 N



### Datos obtenidos

**Tabla 44.** Datos obtenidos de pesos y volumen de titulación para Determinación de Índice de Yodo de Carbón Activado al 40% de Ácido Fosfórico

<b>Concentración 40% Ácido Fosfórico</b>		
<b>P<sub>1</sub></b>	Peso cápsula vacía	139.5011g
<b>P<sub>2</sub></b>	Peso cápsula + muestra	141.5524g
<b>P</b>	Peso de muestra	2.0513g
<b>mc</b>	Masa carbón activado seco	1.5975g
<b>V<sub>1</sub></b>	Volumen Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9 ml
<b>N<sub>1</sub></b>	Normalidad de Solución de Yodo	0.098N
<b>N<sub>2</sub></b>	Normalidad de Solución de Tiosulfato de Sodio	0.099N

**Tabla 45.** Datos obtenidos de pesos y volumen de titulación para Determinación de Índice de Yodo de Carbón Activado al 85% de Ácido Fosfórico

<b>Concentración 85% Ácido Fosfórico</b>		
<b>P<sub>1</sub></b>	Peso cápsula vacía	141.4432g
<b>P<sub>2</sub></b>	Peso cápsula + muestra	143.7024g
<b>P</b>	Peso de muestra	2.2592g
<b>mc</b>	Masa carbón activado seco	1.6392g
<b>V<sub>1</sub></b>	Volumen Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15ml
<b>N<sub>1</sub></b>	Normalidad de Solución de Yodo	0.097N
<b>N<sub>2</sub></b>	Normalidad de Solución de Tiosulfato de Sodio	0.099N

### Valores calculados

Valores calculados para constantes A y B

$$A = 0.097N * 12693$$
$$A = 1231.221$$

$$B = 0.099N * 126.93$$
$$B = 12.56607$$

Valor calculado de la constante C

*Constante C para 40% de ácido fosfórico*



$$C = \frac{0.099N * 9ml}{50}$$

$$C = 0.01782$$

*Constante C para 85% de ácido fosfórico*

$$C = \frac{0.099N * 15ml}{50}$$

$$C = 0.0297$$

Valores calculados de la relación V/m

*V/m para 40% de ácido fosfórico*

$$\frac{V}{m} = \frac{1231.221 - (2.2 * 12.5660 * 9)}{1.5975}$$

$$\frac{V}{m} = 614.969 \text{ mg/g}$$

*V/m para 85% de ácido fosfórico*

$$\frac{V}{m} = \frac{1231.221 - (2.2 * 12.5660 * 15)}{1.6392}$$

$$\frac{V}{m} = 498.135 \text{ mg/g}$$

Valores obtenidos del factor f

Se obtuvo un C de 0.01188 y 0.01881 para el carbón activado de 40 y 85% de ácido fosfórico respectivamente por lo que buscamos en la tabla 46. Teniendo así: 1.0208 y 0.9394 respectivamente.



Tabla 46. Cálculo del factor  $f$  con relación a  $C$  para Determinación del Índice de Yodo

<b>NORMALIDAD DEL FILTRADO RESIDUAL, C</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.0009</b>
0.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9213	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270
0.0330	0.9263	0.9263	0.9257	0.9250	0.9250	-	-	-	-	-

Fuente: NTE INEN 1988:2013



*Resultados de valores obtenidos*

**Tabla 47.** Datos de constantes calculadas necesarias para determinación de Índice de Yodo

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
V/m 40% ácido fosfórico	614.969 mg/g
V/m 85% ácido fosfórico	498.135 mg/g
Factor f 40% ácido fosfórico	1.0208
Factor f 85% ácido fosfórico	0.9394

*Índice de yodo de carbón activado 40% de ácido fosfórico*

$$\text{Índice de yodo} = 614.969\text{mg/g} * 1.0208$$

$$\text{Índice de yodo} = 627.76\text{mg/g}$$

*Índice de yodo de carbón activado 85% de ácido fosfórico*

$$\text{Índice de yodo} = 498.135\text{mg/g} * 0.9394$$

$$\text{Índice de yodo} = 467.94\text{mg/g}$$

3.11.4 ÁREA SUPERFICIAL

*Determinación del área superficial*

Se realizó el análisis de determinación del área superficial del carbón activado al 40% de ácido fosfórico puesto que gracias a los parámetros ya determinados como índice de yodo y densidad aparente se pudo visualizar que es el que mayor capacidad de adsorción presentaba. Este análisis se realizó en el laboratorio de ingeniería de reactores y catálisis de la Universidad de Cuenca, el reporte de dicho resultado se encuentra anexado ver anexo 13, mismo que es generado con la respectiva isoterma de adsorción que genera automáticamente el equipo.

*Equipo utilizado*

**Tabla 48.** Equipo utilizado para Determinación de Área Superficial

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>
Equipo de Fisorción	NOVA quantachrome2200 Surface Area and Pore Size Analyzer





*Ilustración 50.* Equipo para la Determinación de Área Superficial



*Ilustración 51.* Celdas ocupadas en la Determinación de Área Superficial

El análisis duró 8 horas con el siguiente fundamento:

- La muestra fue sometida a una temperatura de  $300^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas y al vacío esto con la finalidad de generar una desgasificación de la muestra con esto se da la evaporación de cualquier sustancia gas presente en este material.
- Luego se da la adsorción de estos espacios que dejan las sustancias gas por  $\text{N}_2$ , es decir los espacios vacíos son ocupados por nitrógeno gas.



### *Resultados obtenidos*

**Tabla 49.** *Resultado obtenido del Área Superficial del Carbón Activado al 40%*

<b>Muestra</b>	<b>Cantidad analizada</b>	<b>Área superficial</b>
40% activación	0.1033g	660.287m <sup>2</sup> /g

## 3.12 CONSTRUCCIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Las isotermas de adsorción se realizaron en función del ácido oxálico este fue elegido ya que es un método más preciso el mismo que nos proporcionará las isotermas verídicas sobre la capacidad de adsorción de cada carbón activado.

### 3.12.1 Materiales

**Tabla 50.** *Materiales utilizados en Construcción de Isoterma de Adsorción*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Carbón activado	20g
Vasos de precipitación	10
Balones de aforo	2
Buretas	2
Soporte metálico	2
Pinza para bureta	2
Embudos	10
Pipeta volumétrica	2
Papel filtro	1 metro
Cocineta	1

### 3.12.2 Reactivos

**Tabla 51.** *Reactivos utilizados en Construcción de Isoterma de Adsorción*

<b>Reactivos</b>	<b>Cantidad</b>
Ácido Oxálico 0.1N	300ml
Agua Destilada	200ml
Ácido Sulfúrico 2N	20ml
Permanganato de Potasio 0.1N	

### 3.12.3 Descripción del método

1. Preparar una solución de ácido oxálico 0.1N
2. Colocar en vasos de precipitación mezclas de ácido oxálico y agua destilada en distintas relaciones: 10-40, 20-30, 30-20, 40-10 y 50-0 relación acido-agua.
3. Pesar 2 gramos de carbón activado y colocar en cada vaso de precipitación.
4. Tapar la solución y agitar vigorosamente durante 30 minutos.
5. Dejar reposar los vasos de precipitación durante 1 hora
6. Filtrar la solución a través del embudo y el papel filtro.



*Ilustración 52. Filtración de mezclas*

7. Añadir 2ml de ácido sulfúrico 2N a cada filtrado.
8. Calentar la solución durante 5 minutos.
9. Titular la solución utilizando permanganato de potasio 0.1N



*Ilustración 53.* Titulación de filtrados con permanganato de potasio

10. El punto de viraje será cuando la solución tome una coloración rosada como se muestra en la ilustración 54.



*Ilustración 54.* Coloración del punto de viraje de la solución

### 3.12.4 Proceso

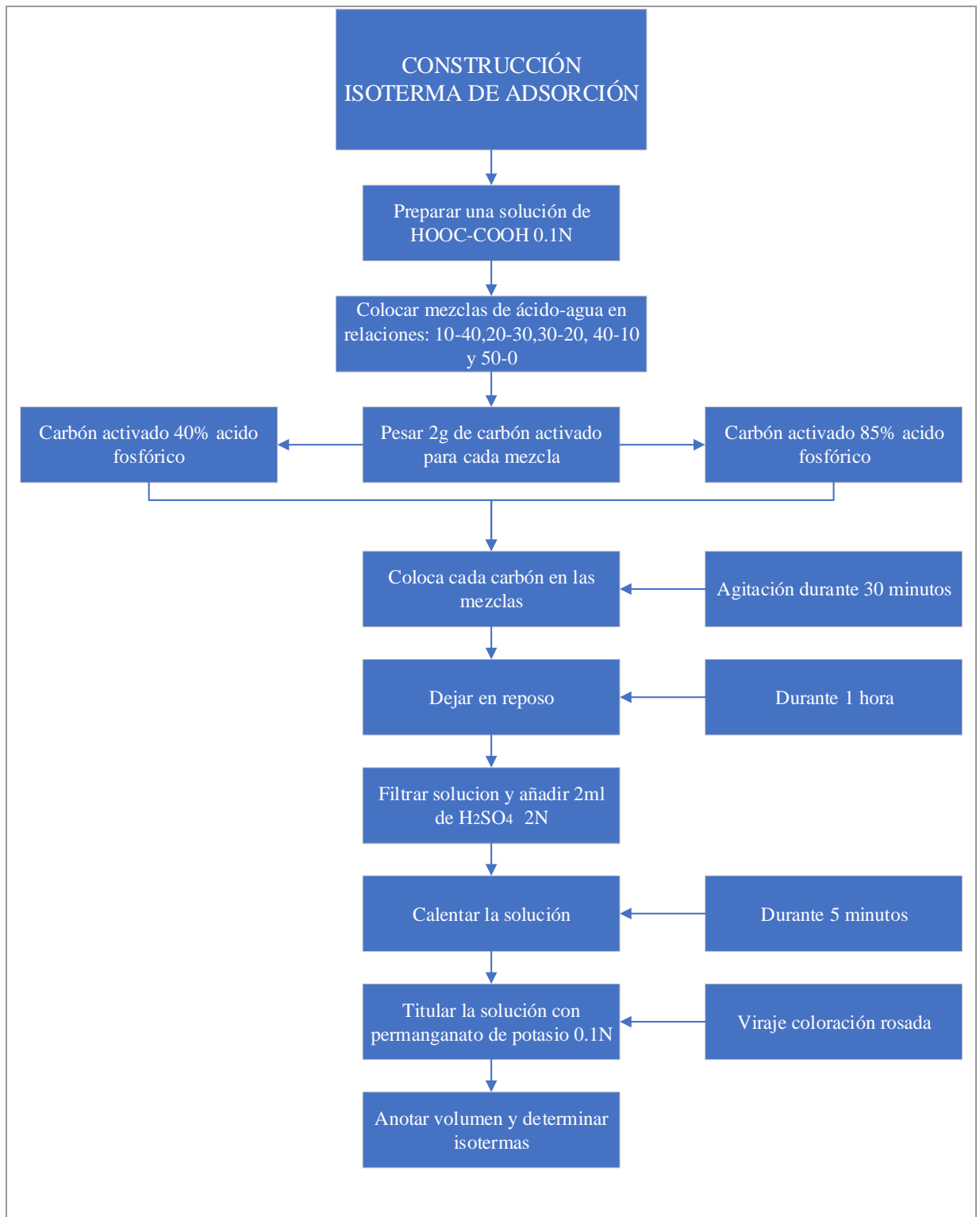


Ilustración 55. Proceso para la construcción de la Isoterma de Adsorción



### 3.12.5 Isotermas de Adsorción

#### *Carbón Activado al 40%*

**Tabla 52.** Datos obtenidos para construcción de isoterma de adsorción 40% ácido fosfórico

40% Ácido Fosfórico				
Nº muestra	Ácido oxálico (ml)	Agua destilada (ml)	Peso carbón (g)	Volumen titulación (ml)
1	10	40	2.0666	3
2	20	30	2.0134	5.3
3	30	20	2.0534	8.3
4	40	10	2.077	10.65
5	50	0	2.0036	13.1

Concentración de partida de ácido oxálico: 0,1N

#### Conversión de Normalidad a Molaridad

*Ecuación 15. Conversión de Normalidad a Molaridad*

$$M = \frac{N}{\theta_{eq}}$$

Donde:

M: molaridad

N: normalidad

$\theta_{eq}$ : número equivalente

#### 1. Cálculo de la molaridad de partida de ácido oxálico

$$M = \frac{0,1N}{2}$$

$$M = 0,05$$

#### 2. Cálculo del número de moles iniciales de ácido oxálico en cada muestra

$$n(\text{iniciales}) = \frac{0,05\text{moles}}{1 \text{ litro disolución}} \times \text{litros de Ac. oxálico en cada muestra}$$



**Tabla 53.** Cálculo del número de moles iniciales para carbón activado 40%

Nº muestra	Ácido oxálico en cada solución (L)	(n) Moles iniciales de ácido oxálico
1	0.01	0.0005
2	0.02	0.001
3	0.03	0.0015
4	0.04	0.002
5	0.05	0.0025

3. Cálculo de la Concentración en Equilibrio en cada uno de los filtrados

$C_{e\text{Ácid}} \times V_{sol} = C_{KMnO_4} \times V_{KMnO_4}$
$C_{e\text{Ácid}} = \frac{C_{KMnO_4} \times V_{KMnO_4}}{V_{sol}}$
<p>Donde</p> <p><math>C_{e\text{Ácid}}</math>: Concentración del ácido oxálico en equilibrio</p> <p><math>V_{sol}</math>: Volumen de la disolución de ácido oxálico (50ml)</p> <p><math>C_{KMnO_4}</math>: Concentración del permanganato de potasio</p> <p><math>V_{KMnO_4}</math>: Volumen del permanganato de potasio ocupado en la titulación</p>
<p><math>C_{KMnO_4} = 0,1N</math></p> <p>Por ejemplo: para la muestra Nº1</p> $C_{e\text{Ácid}} = \frac{0,1N \times 3ml}{50ml} = 0,006N$

**Tabla 54.** Cálculo concentración en equilibrio para carbón activado al 40%

Nº muestra	Volumen	Ce (N)	Ce (M)
	KMnO <sub>4</sub> (ml)	Concentración en equilibrio	Concentración en equilibrio
1	3	6.0E-03	3.0E-03
2	5.3	1.1E-02	5.3E-03
3	8.3	1.7E-02	8.3E-03
4	10.65	2.1E-02	1.1E-02
5	13.1	2.6E-02	1.3E-02



4. Cálculo del número de moles en equilibrio, adsorbidos del ácido oxálico de cada uno de los filtrados y número de moles de ácido/ gramo de adsorbente

$$n(\text{equilibrio}) = \frac{C_e}{1 \text{ litro disolución}} \times \text{litros de Ac. oxálico}$$
$$n(\text{moles adsorbidos}) = n(\text{moles iniciales}) - n(\text{moles equilibrio})$$
$$x = \frac{n(\text{moles adsorbidos})}{g \text{ de adsorbente}}$$

Tabla 55. Cálculo de número de moles adsorbidos para carbón activado 40%

Nº muestra	n (moles equilibrio)	n (moles adsorbidos)	moles de ácido oxálico/g de adsorbente (x)
1	1.50E-04	3.50E-04	1.69E-04
2	2.65E-04	7.35E-04	3.65E-04
3	4.15E-04	1.09E-03	5.28E-04
4	5.33E-04	1.47E-03	7.07E-04
5	6.55E-04	1.85E-03	9.21E-04

5. Gráficas

Tabla 56. Datos obtenidos para gráfica de Isoterma Carbón Activado 40%

Concentración en equilibrio $C_e$ (M)	moles de ácido oxálico/g de adsorbente (x)
3.00E-03	1.69E-04
5.30E-03	3.65E-04
8.30E-03	5.28E-04
1.07E-02	7.07E-04
1.31E-02	9.21E-04



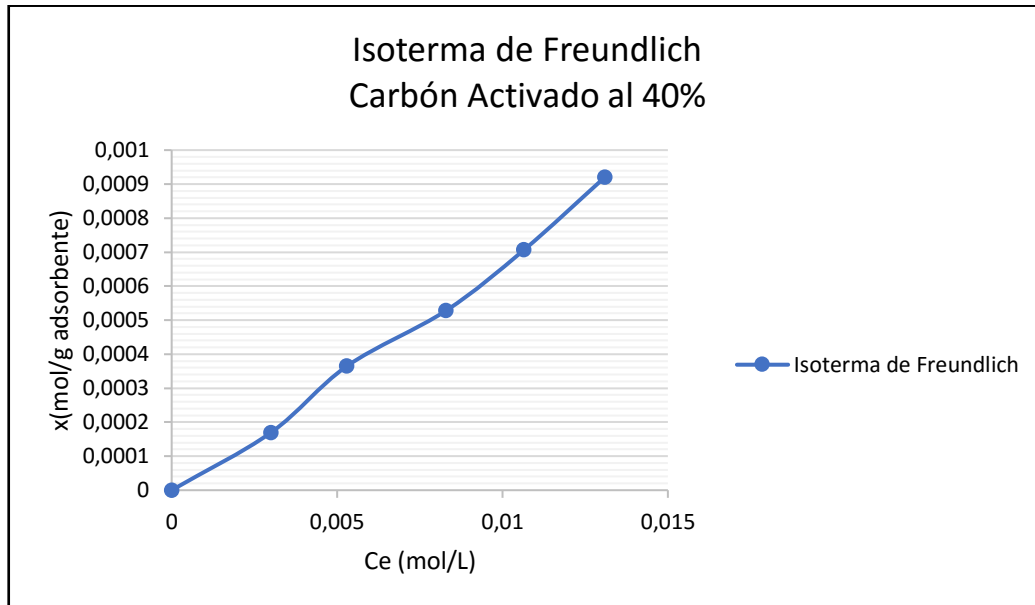


Ilustración 56. Isoterma de adsorción obtenida de carbón activado al 40%

Tabla 57. Aplicación de logaritmos a datos obtenidos para carbón activado 40%

$\log(C_e)$	$\log(x)$
-2.5228	-3.7711
-2.2757	-3.4376
-2.0809	-3.2770
-1.9726	-3.1508
-1.8827	-3.0358

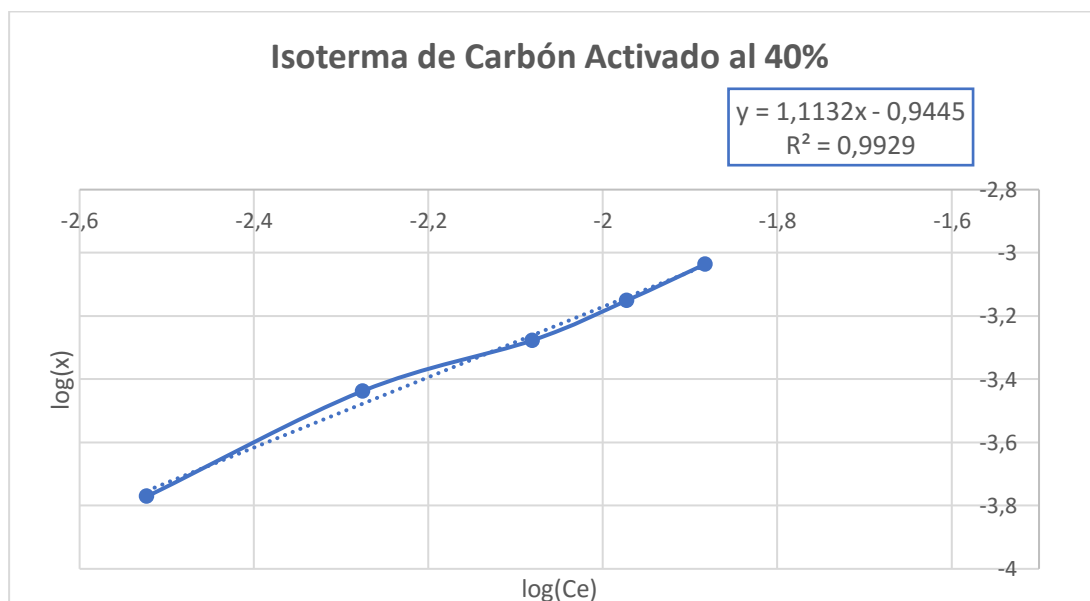


Ilustración 57. Isoterma obtenida con logaritmos para carbón activado al 40%



<p><b>Isoterma empírica</b>  <math>x = kc^{1/n}</math></p>
<p>Donde:  x: número de moles de ácido oxálico adsorbido por unidad de masa de carbón activado  c: concentración de ácido oxálico en la disolución en equilibrio  k y n: constantes empíricas (parámetros) características de las sustancias que interviene en la adsorción</p>
<p><b>Para determinar los parámetros (k y n) de esta isoterma, se usa la ecuación logarítmica:</b></p> $\log x = \log k + \frac{1}{n} \log c$ <p>Donde:  La gráfica logarítmica <b>log(x)</b> vs <b>log(c)</b> proporciona una línea recta en donde:  <b>n</b> es la pendiente y <b>k</b> se obtiene a partir de la ordenada en el origen</p>
<p><b>Ecuación obtenida a partir de la linealización  Carbón Activado al 40%</b></p> $y = 1.1132x - 0.9445$
$1/n=1.1132$ $n=0.8983$
$\log(k)=-0.9445$ $k=0.1136$
<p><b>Carbón Activado al 40%</b>  <math>x = 0.1136c^{1.1132}</math></p>

**Carbón Activado al 85%**

*Tabla 58. Datos obtenidos para construcción de Isoterma de Adsorción 85% ácido fosfórico*

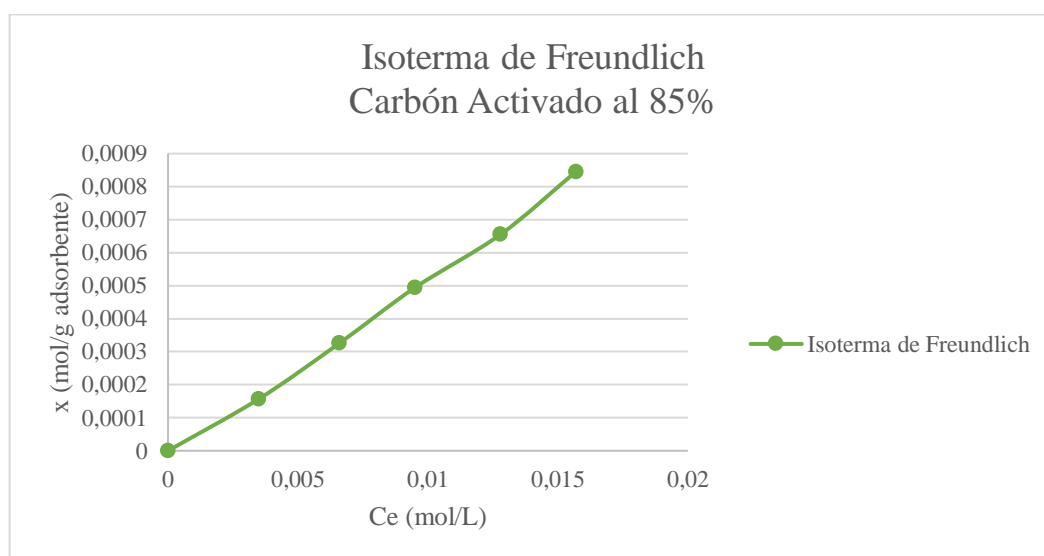
85% Ácido Fosfórico				
Nº muestra	Ácido oxálico (ml)	Agua destilada (ml)	Peso carbón (g)	Volumen titulación (ml)
<b>1</b>	10	40	2.0658	3.5
<b>2</b>	20	30	2.0541	6.6
<b>3</b>	30	20	2.0746	9.5
<b>4</b>	40	10	2.0744	12.8
<b>5</b>	50	0	2.0278	15.7

**Tabla 59.** Cálculo del número de moles iniciales, equilibrio y adsorbidos para carbón activado 85%

Nº muestra	Volumen ácido oxálico de cada solución (L)	n(moles iniciales)	n (moles en equilibrio)	n (moles adsorbidos)
1	0.01	5.0E-04	1.8E-04	3.3E-04
2	0.02	1.0E-03	3.3E-04	6.7E-04
3	0.03	1.5E-03	4.8E-04	1.0E-03
4	0.04	2.0E-03	6.4E-04	1.4E-03
5	0.05	2.5E-03	7.9E-04	1.7E-03

**Tabla 60.** Datos para obtención de la isoterma de Carbón activado al 85%

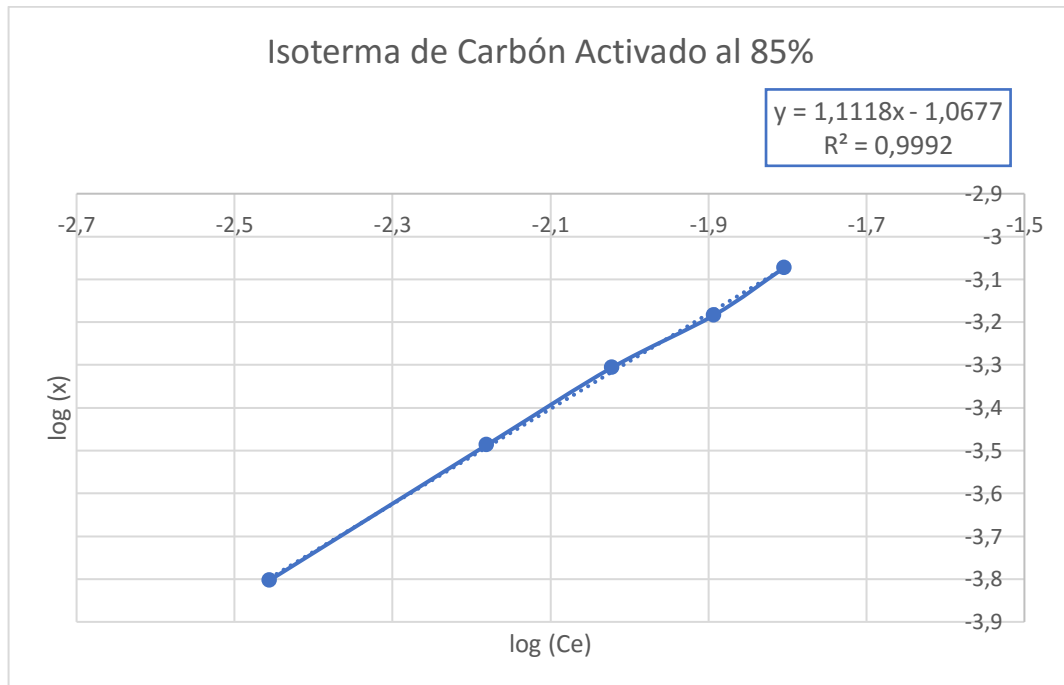
Concentración en equilibrio $C_e$ (M)	moles de ácido oxálico/g de adsorbente (x)
3,50E-03	1,57E-04
6,60E-03	3,26E-04
9,50E-03	4,94E-04
1,28E-02	6,56E-04
1,57E-02	8,46E-04



*Ilustración 58.* Isoterma de Adsorción obtenida con carbón activado al 85%.

**Tabla 61.** Conversión de datos a logaritmos de carbón activado 85%.

<b>log(Ce)</b>	<b>log(x)</b>
-2.4559	-3.8032
-2.1804	-3.4865
-2.0222	-3.3062
-1.8927	-3.1833
-1.8041	-3.0727



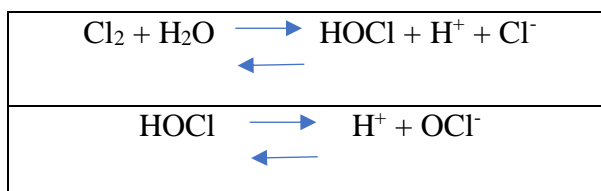
*Ilustración 59.* Isoterma obtenida con logaritmos para carbón activado al 85%

<p><b>Ecuación obtenida a partir de la linealización Carbón Activado al 85%</b></p>
<p><math>y = 1.1118x - 1.0677</math></p>
<p><math>1/n=1.1118</math> <math>n=0.8994</math></p>
<p><math>\log(k)=-1.0677</math> <math>k=0.085</math></p>
<p><b>Carbón Activado al 85%</b> <math>x = 0.085c^{1.1118}</math></p>

### 3.13 APLICACIÓN

#### 3.13.1 Cloro en Agua Potable

Al ser añadido el cloro en el agua ya sea como como una solución o como un gas, éste forma ácido hipocloroso (HOCl), que se descompone en varias reacciones químicas:



##### 3.13.1.1 Prueba de reducción de Cloro en Agua Potable

Se llevó a cabo una prueba de reducción de cloro usando el indicador de DPD (dietil-para-fenil-diamina), mediante un kit de comparación. Esta prueba es el método más rápido y sencillo para evaluar el cloro residual. En esta prueba se añade el reactivo a una muestra de agua, que la tiñe de rojo.

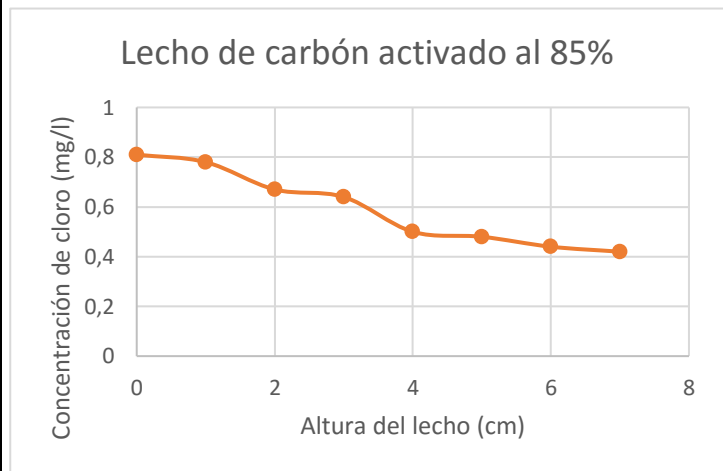
La intensidad del color dependerá de la concentración de cloro residual en la muestra.

Mediante un lecho de carbón activado en una bureta a diferentes alturas y gracias a un colorímetro (POCKET Colorimeter Kit) se determina la concentración de cloro que contiene el agua.

3.13.1.2 Para el Carbón Activado al 85%

**Tabla 62.** Datos obtenidos de la reducción de cloro usando carbón activado al 85%

Altura del lecho (cm)	Concentración obtenida de cloro (mg/l)
0	0.81
1	0.78
2	0.67
3	0.64
4	0.50
5	0.48
6	0.44
7	0.42



*Ilustración 60.* Gráfica de la reducción de cloro usando carbón activado al 85%



*Ilustración 61.* Reducción de cloro usando carbón activado al 85%

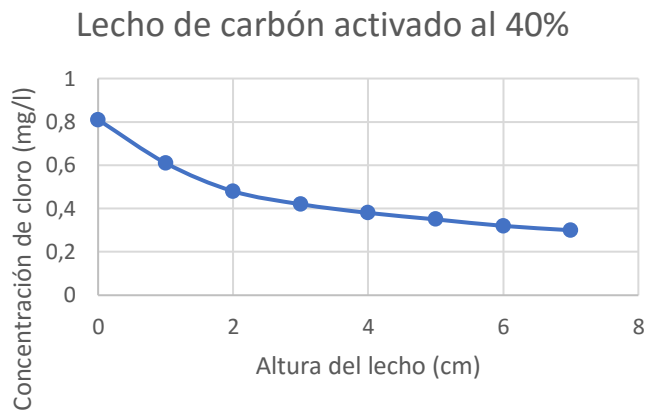


*Ilustración 62.* Medición de la concentración de cloro usando carbón activado al 85%

3.13.1.3 Para el Carbón Activado al 40%

**Tabla 63.** Datos obtenidos de la reducción de cloro usando carbón activado al 40%

<b>Altura del lecho (cm)</b>	<b>Concentración obtenida de cloro (mg/l)</b>
0	0.81
1	0.61
2	0.48
3	0.42
4	0.38
5	0.35
6	0.32
7	0.3



*Ilustración 63.* Gráfica de la reducción de cloro usando carbón activado al 40%



*Ilustración 64.* Reducción de cloro usando carbón activado al 40%



*Ilustración 65.* Medición de la concentración de cloro usando carbón activado al 40%

**Comparación de Gráficos entre el Carbón Activado al 85% vs Carbón Activado al 40% en la reducción de cloro**

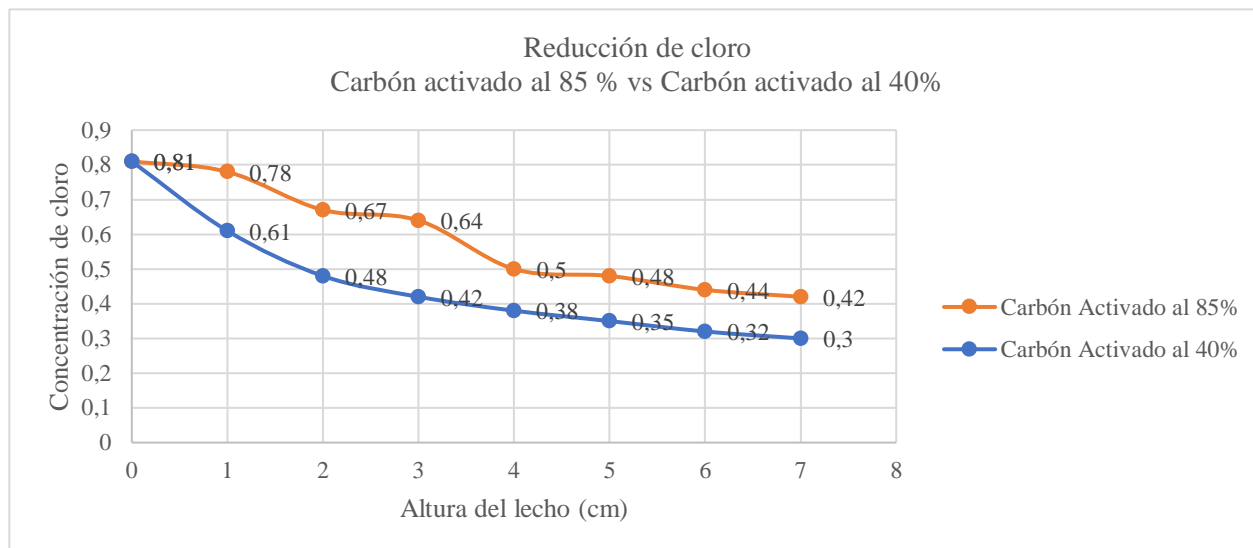


Ilustración 66. Gráfica de comparación de reducción de cloro entre el carbón activado al 85% vs carbón activado al 40%

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se encuentran especificados en tres partes importantes como son materia prima, rendimiento del proceso y producto final.

Se obtuvieron dos carbones activados de distintas concentraciones con distintas temperaturas para así establecer la diferencia entre los parámetros de cada producto.

Tabla 64. Resultados obtenidos de caracterización de materia prima

CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA	
% humedad	11.87
% cenizas totales	0.884

En la tabla 64. Se puede visualizar los resultados obtenidos del análisis de caracterización de materia prima, así como es el análisis de porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas totales, parámetros sumamente importantes para así obtener un producto que cumpla con requisitos de normativas.



#### 4.1 HUMEDAD DE LA CÁSCARA DE COCO

El análisis fue realizado a la cáscara de coco molida. Es muy importante mencionar que la forma de la cáscara de coco es irregular esto se debe a que la molienda no expulsa el material de forma uniforme

El porcentaje de humedad obtenido de la cáscara de coco es de 11.87%, que de acuerdo a la bibliografía ver tabla 3, el valor referente es de 12.01%, muy cercano a lo obtenido.

#### 4.2 CENIZAS CÁSCARA DE COCO

Para el análisis realizado de cenizas totales a la cascara de coco se obtuvo un resultado de 0.884% similar al reportado en una revista boliviana escrita por Correa y Velásquez valor de 0.74%, mismo que señala que las especificaciones van de 0.70% a 1.10%.

El contenido de cenizas da un indicio muy importante de la calidad del carbón activado que se obtendrá como producto puesto que mientras menor sea el contenido de cenizas se mayor calidad del carbón activado es decir mayor área superficial, índice de yodo y a la vez capacidad de adsorción.

#### 4.3 RENDIMIENTO DE PROCESO

**Tabla 65.** Resultados obtenidos de rendimiento del proceso de obtención del carbón activado

<b>RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN</b>	
<b>Carbón activado 40%</b>	65.4%
<b>Carbón activado 85%</b>	62%

Durante el proceso de obtención de carbón activado existen pérdidas que se dan durante la activación y el lavado por lo que es fundamental el cálculo del rendimiento de dicho proceso para poder saber cuan rentable sería la producción a mayor escala del producto, resultados que se pueden visualizar en la tabla 65.

**Tabla 66.** Resultados obtenidos de caracterización de carbón activado 40% y 85% de ácido fosfórico

	<b>CARACTERIZACIÓN CARBÓN ACTIVADO 40%</b>	<b>CARACTERIZACIÓN CARBÓN ACTIVADO 85%</b>
<b>% humedad</b>	9.638	9.296
<b>Densidad aparente</b>	0.4976g/cm <sup>3</sup>	0.6548g/cm <sup>3</sup>
<b>Índice de yodo</b>	627.76 mg/g	467.94 mg/g
<b>Área superficial</b>	660.287m <sup>2</sup> /g	No se determinó



Una vez obtenidos los dos carbones a cada uno se realizó la caracterización del producto visualizando así los resultados en la tabla 66. Los análisis determinados como son el porcentaje de humedad, densidad aparente e índice de yodo del carbón activado con 40 % y 85% de ácido fosfórico.

#### 4.4 HUMEDAD CARBÓN ACTIVADO

El porcentaje de humedad que presentan los dos carbones son de 9.29% para el carbón activado del 85% y de 9.63% para el carbón activado del 40% , estos se encuentran entre los rangos aceptables donde las especificaciones de calidad limitan el contenido de humedad alrededor de 2-15% valores establecidos en la normativa ASTM D -2867, ver tabla 9; la cantidad de humedad que presentan es debido a que existe una adsorción de humedad del aire de forma rápida y de esta manera gana humedad los carbones activados al ser expuestos al ambiente.

Si el carbón activado posee un alto contenido de humedad de más del 15% tienden a tener defectos como perder dureza y por lo tanto tiende a romperse, lo cual puede ser indeseable en casos de fundiciones donde se usa calor.

#### 4.5 DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente obtenida para el carbón activado al 40% es de 0.4976 g/cm<sup>3</sup> y para el carbón activado al 85% es de 0.6548 g/cm<sup>3</sup>, los valores obtenidos se encuentran entre los rangos de valores típicos que son de 0.26-0.65 g/cm<sup>3</sup> según se establece en la normativa ASTM D -2854, ver tabla 9.

Esta variable permite determinar el volumen que contiene una determinada cantidad de carbón activado granular. Así que este valor permite conocer el volumen de agua necesario cuando se aplique el retro lavado del carbón activado granular.

#### 4.6 ÍNDICE DE YODO

El índice de yodo que se obtuvo para cada uno de los carbones es 627.76mg/g para 40% de activación y 467.94mg/g para 85% de activación, según especificaciones de carbones activados establecidos por la normativa estadounidense ASTM D-4607 este valor debe variar entre 500-1200mg/g de carbón activado.

El índice de yodo es un factor muy importante para determinar la calidad del carbón activado obtenido puesto que mientras mayor sea este valor mayor capacidad de adsorción tendrá.

El índice de yodo es directamente proporcional al área superficial ya que el yodo por el tamaño que posee se aloja en los poros más pequeños en los que se lleva a cabo la



adsorción, por lo que mientras mayor sea el número de yodo mayor área superficial tendrá y por ende los poros del carbón activado serán más pequeños.

#### 4.7 ÁREA SUPERFICIAL

En el análisis de determinación de área superficial se obtuvieron valores de  $660.287\text{m}^2/\text{g}$  para el carbón activado al 40% y en cuanto al carbón activado al 85% no se realizó este análisis debido a que posee bajo índice de yodo y por ende el valor de área superficial también saldría bajo, según la normativa ASTM D-3037 BET indica que hay un rango de  $500\text{-}1200\text{m}^2/\text{g}$  para que sea considerando un buen carbón activado, por lo que en cuanto al carbón activado de 40% tenemos un valor dentro del rango mismo que es semejante al índice de yodo ya que estos valores deben ser aproximados.

##### ***Isoterma para el Carbón Activado al 40% generada durante la determinación de área superficial***

Se observa en la gráfica (ver anexo 13) una isoterma del tipo I, esta es cóncava en relación al eje de la presión relativa ( $P/P_0$ ) existe un aumento y posteriormente alcanza valores que no fluctúan demasiado esto se da en bajas presiones. Este tipo de isotermas suelen presentar materiales microporosos.

El área superficial que presenta este carbón activado es de  $660.287\text{ m}^2/\text{g}$ , siendo este potencialmente comercial.

#### 4.8 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO

La ilustración 56 y 58. Indican el comportamiento de una isoterma de adsorción relacionando la cantidad de ácido oxálico adsorbida por 1 gramo de carbón activado de 40% de ácido fosfórico y 85% de ácido fosfórico respectivamente.

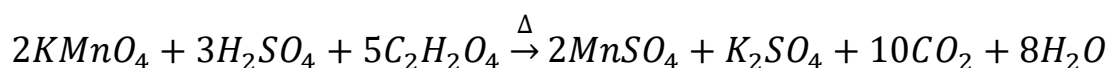
##### ***Fundamento de la reacción de reducción del permanganato de potasio***

Para obtener las isotermas de adsorción de los dos carbones activados conseguidos se determinó la capacidad de adsorción de ácido oxálico en disoluciones a distintas concentraciones, con el objeto de determinar la concentración de ácido oxálico adsorbido por los carbones activados.

Para tener el valor de titulación, se llevó a cabo una estandarización del permanganato de potasio usando como sustancia patrón el ácido oxálico, es muy importante mencionar que la valoración se realizó en un medio ácido fuerte es por eso que es necesario el ácido sulfúrico y en presencia de calor aproximadamente  $60^\circ\text{C}$  con el objetivo de elevar la velocidad de reacción y con esto también la liberación del  $\text{CO}_2$ .



La reacción estequiométrica de valoración que se dio es la siguiente:



Al adicionar el permanganato de potasio a la disolución de ácido oxálico, se da un color rosa que el mismo es persistente en el tiempo lo que quiere decir que es una reacción lenta. Al seguir en la valoración la decoloración es más rápida lo que indica una reducción del ion manganeso (II) y al final se obtendrá un color rosa permanente mostrando el término de la titulación, y con este valor se realizó los diferentes cálculos para determinar la cantidad adsorbida de ácido oxálico en el carbón activado.

No es necesario el uso de indicadores externos ya que el exceso de permanganato de potasio colorea la disolución.

### ***Gráficas de las Isotermas obtenidas***

En las ilustraciones 56 y 58 se puede observar que la adsorción del ácido oxálico sobre el carbón activado si ocurre ya que el número de moles en equilibrio de las soluciones fue menor al medido inicialmente, esto sucede en los dos carbones activados al 40% y 85%.

Se representan las isotermas de adsorción de Freundlich, realizando un ajuste mediante una linealización de cada una de las curvas y se obtuvo un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) que tiende a uno (1).

Según (Huerta Ochoa, 1995), indica que (n) se encuentra relacionado con la intensidad de adsorción, donde ( $n < 1$ ) indica que la isoterma es favorable y ( $n > 1$ ) indica que la isoterma es desfavorable.

Para el carbón activado al 40% se obtuvo una  $1/n = 1.1132$  entonces  $n = 0.8983$ , por lo tanto, la isoterma es favorable.

Para el carbón activado al 85% se obtuvo una  $1/n = 1.1118$  entonces  $n = 0.8994$ , por lo tanto, la isoterma es favorable.

## **4.9 COMPARACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS CON EL COMERCIAL**

Se realizó la comparación entre carbones activados obtenidos y carbón activado comercial nacional en cada parámetro establecido teniendo así los resultados en la tabla 67.

Tabla 67. Comparación de Carbones obtenidos vs Comercial

<b>Comparación de parámetros entre carbones obtenidos vs comercial</b>			
	<b>40%</b>	<b>85%</b>	<b>Comercial</b>
<b>% humedad</b>	9.638	9.296	No especifica
<b>Densidad aparente</b>	0.4976g/cm <sup>3</sup>	0.6548g/cm <sup>3</sup>	0.45-5g/cm <sup>3</sup>
<b>Índice de yodo</b>	627.76mg/g	467.94mg/g	700mg/g
<b>Área superficial</b>	660.287m <sup>2</sup> /g	-	700m <sup>2</sup> /g

La tabla 67 indica la comparación del carbón activado obtenido con el carbón activado comercial nacional empresa denominada Erafi, indicando así que el carbón activado obtenido posee parámetros muy importantes elevados como son principalmente el área superficial e índice de yodo teniendo valores muy cercanos al comercial con 660.287m<sup>2</sup>/g y 627.76mg/g respectivamente.

Esta comparación da un indicio claro que el carbón activado de 40% es una competencia para la industria de carbones activados en Ecuador tomando en cuenta que existe una reducción de costos de producción debido a que la adquisición de la materia prima es casi nula, mientras que en la industria Erafi ocupan como materia prima fruta, tallo y hojas de una planta lo que aumenta su costo de adquisición y a la vez producción.



## 5 CONCLUSIONES

Se obtuvo dos carbones activados granulares mediante una activación química con ácido fosfórico a partir de la cáscara de coco seca y molida.

El carbón activado con 40% de ácido fosfórico presentó mejores propiedades fisicoquímicas como son: área superficial e índice de yodo mismos que indica por sus valores establecidos en la normativa ASTM D-3037 BET y ASTM D-4607 respectivamente, que este material posee gran porosidad debido a la presencia de micro y mesoporos lo que le confiere una mayor capacidad de adsorción comparada con el carbón activado al 85% resultados que se pueden visualizar en la tabla 66.

Durante el proceso de activación se da una reducción de volumen de la cáscara de coco, así como también en el proceso de reducción de tamaño se obtuvo carbón activado tanto granular como en polvo por lo que se descartó este último, teniendo así un porcentaje de rendimiento un poco bajo para cada uno de los carbones activados obtenidos.

El proceso de obtención y activación de carbón activado mostró que la activación con 40% de ácido fosfórico presenta un mayor rendimiento debido a que existe una pérdida de producto durante el proceso de lavado ya que el carbón con 85% de activación para lograr el pH neutro requirió de una mayor cantidad de lavados mismos que ocasionaron pérdida de material.

Se realizó la aplicación en la adsorción de cloro del agua potable en cada uno de los carbones activados obtenidos, de los cuales el carbón activado al 40% adsorbió el cloro con mayor facilidad por lo tanto se concluye que a mayor cantidad de carbón activado mayor cantidad de adsorción con respecto al contaminante.

Los carbones activados obtenidos en esta investigación presentan distintos índices de yodo por lo que se determina que, el que tiene un mayor potencial para su comercialización es el carbón activado al 40 % ya que posee un valor alto con referencia al mínimo establecido en la normativa ASTM D-4607. que es de 500 mg I<sub>2</sub> /g de carbón.

El ácido fosfórico residual que se generó en los lavados puede ser recuperado o reciclado, además que la materia prima es obtenida a partir de residuos del coco con esto se evitaría un impacto ambiental.

En las isotermas de adsorción la linealidad de los datos obtenidos de los dos carbones activados se ajustó al modelo propuesto por Freundlich. De la cual se determinó que a mayor concentración de ácido oxálico existe una mayor cantidad de soluto adsorbido por parte de una cantidad de carbón activado constante.



Al finalizar esta investigación se determinó que el mejor proceso de activación química para obtener un carbón activado que cumpla con los requisitos establecidos en las normativas es el carbón que fue activado con ácido fosfórico a una concentración de 40% con una temperatura de 300°C durante 2.5 horas debido a que existen factores muy importantes para la obtención de dicho producto como son: temperatura de activación, tiempo de residencia y concentración de ácido.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

Ordóñez León, M. B. (2015). *Repositorio ucsg*. Obtenido de PROPUESTA PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE JUGOS COMO TENIENDO COMO INSUMO BÁSICO EL AGUA DE COCO.: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3282/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-149.pdf>

Adue.it. (2016). *Juicy Technology and sparkling ideas*. Obtenido de Tratamiento de Jarabe de Azúcar: <https://www.adue.it/oursolutions/tratamiento-de-jarabe-de-azucar/?lang=es>

Arias Maya, L. S., & Trujillo Sánchez, A. F. (09 de Febrero de 2015). *Food News latam*. Obtenido de Noticias diarias de la industria de alimentos y bebidas América Latina; El coco, recurso renovable para el diseño de materiales verdes: <http://www.foodnewslatam.com/paises/77-colombia/2961-el-coco,-recurso-renovable-para-el-dise%C3%B1o-de-materiales-verdes.html>

Bastidas, M., Buelvas, L., Marquez, M., & Rodriguez, K. (2010). Activated Carbon Production from Carbonaceous Precursors of the Department of Cesar, Colombia. *scielo*, 1-5.

Cabot. (s.f.). *Activated Carbon*. Obtenido de Bebidas Alcohólicas: <http://www.cabotcorp.com.ar/solutions/applications/food-and-beverage/alcoholic-beverages>

Cabot. (s.f.). *Norit GAC*. Obtenido de Purificación de glicerina: <http://www.cabotcorp.mx/solutions/applications/chemical-purification-and-catalysts/glycerin-purification>

*Carbon activo como adsorbente* . (25 de Junio de 2006). Obtenido de Carbon activo como adsorbente : <https://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/adsorbente>

Clark, R. M., & Lykins, B. W. (1989). *Granular Activated Carbon*. (C. Press, Ed.) United States of America: Lewis Publishers. doi:0873711149, 9780873711142

CODEX STAN 212. (1999). *NORMA DEL CODEX PARA LOS AZUCARES*.

Corporation, C. A. (2016). *Carbon Activated Europe*. Obtenido de Our activated carbon technology provides the best solution for a variety of water purification applications.: <https://activatedcarbon.com/applications/water/>

Correa, M., & Velásquez, J. (2009). OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCO MEDIANTE STEAM EXPLOSION. *Revista Investigaciones Aplicadas No. 6* , 1-3.

Donau, C. (s.f.). *Activated Carbon and its Applications*. Obtenido de <https://www.donau-carbon.com/getattachment/76f78828-2139-496f-9b80-6b6b9bdc6acc/aktivkohle.aspx>





- Especificaciones de calidad y reactivacion del carbon activado* . (s.f.). Obtenido de Especificaciones de calidad y reactivacion del carbon activado:  
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/capitulo2.pdf>
- Forero Núñez, C. A., Castellanos Contreras, J. U., & Sierra Vargas, F. E. (2013). Control de una planta prototipo de gasificación de biomasa mediante redes neuronales. *Scielo*, 8.
- Grimwood, B. E., & Ashman, F. (1979). *Coconut Palm Products: Their Processing in Developing Countries*. London: Food & Agriculture Org.
- Huerta Ochoa, S. (1995). Adsorción. En S. Huerta Ochoa, *Planta Piloto de Fermentaciones* (págs. 1-5). UAM-Iztapalapa.
- I, A. A., II, P. R., III, L. G., III, L. B., IV, G. B., & IV, J. S. (Septiembre de 2004). *Scielo*. Obtenido de La pirólisis de los residuos de coco-Bay ( *Cocos nucifera* Linn) y el análisis del carbón vegetal:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622004000500010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000500010)
- Infoagro. (s.f.). *EL CULTIVO DEL COCO*. Obtenido de Infoagro Systems, S.L. :  
[http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/coco.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/coco.htm)
- Khalil, H. A., Alwani, M. S., & Omar, A. M. (2006). Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers. *BioResources*, 1, 220-232. doi:10.15376/biores.1.2.220-232
- LI, W., Yang, K., Peng, J., Zhang, L., Guo, S., & Xia, H. (2008). Effects of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut shell chars. *ELSEVIER*, 190-198.
- Lincoln , T., & Zeiger, E. (2007). *Fisiología vegetal* (Vol. 10). Universitat Jaume I. doi:8480216018, 9788480216012
- Lizano, M. (2013). *Guía Técnica del Cultivo de Coco; Ministerio de Agricultura y ganadería Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Obtenido de Programa nacional de frutas de El Salvador:  
<http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/2013819141156.pdf>
- Martinez de Yuzo Ariza, A. (2012). Carbon Activado . En A. Martinez de Yuzo Ariza, *DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-HEXANO* (págs. 4-8). Villanueva de Gallego.
- Mintegui Raso, S., Fernández, J. B., & Fernández, A. (2003). Uso del carbón activado en las sospechas de intoxicación en urgencias de pediatría. *SCIELO Uruguay*, 5.
- Nations, F. a. (1985). *Coconut Wood: Processing and Use*. (A. R. Haas, Ed.) Food & Agriculture Org. doi:9251022534, 9789251022535




- Nayar, N. M. (2016). *The Coconut: Phylogeny, Origins, and Spread*. Academic Press, 2016. doi:0128097795, 9780128097793
- NORMA NTE INEN 1108. (2014). *AGUA POTABLE. REQUISITOS*. Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de.
- NORMA NTE INEN 1988. (2013). *Productos Químicos Industriales. Carbón Activado para uso industrial. Determinación del Número de Yodo*.
- Ortuño Sánchez, M. F. (2005). *La cara oculta de alimentos y cosméticos*. aiyana ediciones.
- Pazmiño Ayala, J. (7 de 2007). *generalidades de carbon activado*. Obtenido de carbon activado:  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/747/2/86340%20%28Tesis%29.pdf>
- Pilamonta Mañay, J. V. (2013). *MEJORAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CONTAMINADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE . MEJORAMIENTO DEL CARBÓN ACTIVADO CONTAMINADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE*. Quito, Ecuador.
- Rosas Garcia, V. M. (29 de septiembre de 1999). *Adsorcion*. Obtenido de tipos de isotermas de adsorcion: <http://lqi.tripod.com/FQAv/isoterms.htm>
- Salazar Varas, A. (12 de 2006). *Carbon Activado*. Obtenido de Carbon activado:  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/800/1/977.pdf>
- TULSMA. (2014). *Anexo I Del Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio de ambiente*. Obtenido de Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua:  
<http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>
- Universidad de Sevilla. (2011). *Manual del carbon activo* . Obtenido de  
<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Uribe, L. M., Lopez, M. E., & Gonzales, A. G. (abril de 2013). *ACTIVACIÓN DE CARBÓN MINERAL MEDIANTE PROCESO FÍSICO EN HORNO TUBULAR HORIZONTAL Y ATMÓSFERA INERTE*. *Revista Colombiana de Materiales N.4*, 25-40. Obtenido de *ACTIVACIÓN DE CARBÓN MINERAL MEDIANTE PROCESO FÍSICO EN HORNO TUBULAR HORIZONTAL Y ATMÓSFERA INERTE*.
- Varnam, A., & Sutherland, J. (1997). *Bebidas. Tecnología, química y microbiología*. España: Acribia, S.A.



Velasco, B. (19 de Julio de 2017). Esmeraldas concentra la palma de coco. *Líderes*.  
Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/esmeraldas-concentra-palma-coco-negocios.html>

## 7 ANEXOS

### 7.1 Anexo 1. (NORMA NTE INEN 1108, 2014), Agua Potable. Requisitos.



**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN 1108**  
Quinta revisión  
2014-01

**AGUA POTABLE. REQUISITOS**

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

---

DESCRPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.  
ICS: 13.060.20

10 Páginas
---------------

**Fuente:** Extraído de (NORMA NTE INEN 1108, 2014)

Fuente: Extraído de (NORMA NTE INEN 1108, 2014)

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE REQUISITOS	NTE INEN 1108:2014 Quinta revisión 2014-01
--------------------------------------	-------------------------	--

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

### 2. CAMPO DE APLICACIÓN

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

### 3. REFERENCIAS NORMATIVAS

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation). *Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales* (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición.

Ministerio de salud Pública *REGLAMENTO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA ALIMENTOS PROCESADOS* Decreto Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4 de Noviembre del 2002

### 4. DEFINICIONES

4.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1.1 **Agua potable.** Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

4.1.2 **Agua cruda.** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

4.1.3 **Límite máximo permitido.** Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

4.1.4 **ufc/ml.** Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

4.1.5 **NMP.** Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

4.1.6 **mg/l.** (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

4.1.7 **Microorganismo patógeno.** Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

4.1.8 **Plaguicidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

4.1.9 **Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

4.1.10 **Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

4.1.11 **Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

4.1.12 **Sistema de abastecimiento de agua potable.** El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

4.1.13 **Sistema de distribución.** Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

### 5. REQUISITOS

5.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

5.2 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<b>Inorgánicas</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0.02
Arsénico, As	mg/l	0.01
Bario, Ba	mg/l	0.7
Boro, B	mg/l	2.4
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cianuros, CN <sup>-</sup>	mg/l	0.07
Cloro libre residual*	mg/l	0.3 a 1,5 <sup>1)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2.0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0.05
Fluoruros	mg/l	1.5
Mercurio, Hg	mg/l	0.006
Níquel, Ni	mg/l	0.07
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3.0
Plomo, Pb	mg/l	0.01
Radiación total α*	Bq/l	0.5
Radiación total β**	Bq/l	1.0
Selenio, Se	mg/l	0.04

<sup>1)</sup> Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos  
<sup>\*</sup> Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>226</sup>Ra, <sup>222</sup>Rn, <sup>228</sup>Ac, <sup>228</sup>Pb, <sup>228</sup>Th, <sup>232</sup>Th, <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Pu  
<sup>\*\*</sup> Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>132</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>214</sup>Pb



Fuente: Extraído de (NORMA NTE INEN 1108, 2014)

NTE INEN 1108

2014-01

TABLA 2. Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP	mg/l	0,0007
Benzo [a] pireno		
<b>Hidrocarburos:</b>		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Dij(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4-Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitritotriacético	mg/l	0,2

TABLA 3. Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

NTE INEN 1108

2014-01

TABLA 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

TABLA 5. Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
• Bromodiclorometano	mg/l	0,3
• Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

TABLA 6. Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.3 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

TABLA 7. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> o 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

## 6. INSPECCIÓN

### 6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

7.2 Anexo 2. (NORMA NTE INEN 1988, 2013), Productos Químicos Industriales. Carbón Activado para uso industrial. Determinación del Número de Yodo.



Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1988:2013**  
**Primera revisión**

---

---

**PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES. CARBÓN ACTIVADO  
PARA USO INDUSTRIAL. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE  
YODO**

**Primera edición**

INDUSTRIAL CHEMICAL PRODUCTS. ACTIVATED CARBON FOR INDUSTRIAL USE. DETERMINATION OF IODINE NUMBER

First edition

---

DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.  
QU 03.01-337  
CDU: 661.183.2  
CIU: 3511  
ICS: 71.080.01

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO	NTE INEN 1988:2013 Primera revisión 2013-06
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar la capacidad de adsorción o número de yodo, en el carbón activado para uso industrial.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. DEFINICIONES</b></p> <p>2.1 Para los efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición.</p> <p>2.1.1 <i>Número de yodo.</i> Se define como los mg de yodo adsorbidos por 1 g de carbón, cuando la concentración del yodo del filtrado residual es 0,02 N.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>3.1 Resumen</b></p> <p>3.1.1 Se somete una cantidad de muestra a la acción del ácido clorhídrico, luego se libera el yodo en exceso como yoduro de potasio y se titula con tiosulfato de sodio.</p> <p><b>3.2 Equipos</b></p> <p>3.2.1 <i>Balanza analítica,</i> sensibilidad 0,1 mg.</p> <p>3.2.2 <i>Estufa de temperatura regulable</i> 150 °C ± 5 °C.</p> <p>3.2.3 <i>Desecador,</i> cloruro de calcio anhidro u otro desecante apropiado.</p> <p>3.2.4 <i>Frascos volumétricos,</i> 500, 1 000 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.5 <i>Frascos Erlenmeyers,</i> 250, 500 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.6 <i>Papel filtro Whatman N° 2V,</i> o su equivalente.</p> <p>3.2.7 <i>Pipetas volumétricas</i> de 10, 25, 50, 100 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.8 <i>Bureta volumétrica</i> de precisión.</p> <p>3.2.9 <i>Plancha de calentamiento.</i></p> <p>3.2.10 <i>Material usual de laboratorio.</i></p> <p>3.2.11 <i>Equipo de protección personal adecuado para laboratorio.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <p>DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.</p>		

### 3.3 Reactivos

3.3.1 *Acido clorhídrico al 5% (m/v).* A 550 cm<sup>3</sup> de agua destilada, añadir 70 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico concentrado, d = 1,19 (ver nota 1).

3.3.2 *Solución estándar de Tiosulfato de sodio estándar 0,1 N.* Disolver 24,82 g de tiosulfato de sodio, para análisis, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O, en 1 litro de agua destilada fresca y hervida. Añadir unas pocas gotas de cloroformo para minimizar la descomposición bacteriana de la solución de tiosulfato (ver anexo A).

3.3.3 *Solución estándar de yodo 0,1 N.* Disolver 12,7 g de yodo, (I<sub>2</sub>) y 19,1 g de yoduro de potasio en aproximadamente 25 cm<sup>3</sup> de agua destilada. Dejar la solución en reposo durante 4 h, agitando ocasionalmente. Diluir a 1 litro en un frasco aforado con agua destilada. Colocar en una botella de vidrio de color oscuro con tapa; almacenar en un lugar oscuro (ver anexo B).

3.3.4 *Solución de almidón.* Tomar 2,5 g de almidón, añadir una pequeña cantidad de agua destilada y moler en un mortero para formar una pasta delgada. Verter en una botella de 1 litro que contenga agua destilada hirviendo, enrasar. Preservar con 1,25 g de ácido salicílico por 1 litro de solución de almidón.

### 3.4 Procedimiento

3.4.1 Moler una muestra representativa hasta que el 95 % del carbón, pase el tamiz INEN de 45 µm. Se puede determinar la finura del carbón en base de un análisis por tamizado en húmedo.

3.4.2 Secar una porción de muestra del carbón pulverizado, a 140 °C por 2 h o también 110 °C por 3 h.

3.4.3 Dependiendo del carbón usado, pesar de 1,0 g a 1,6 g de carbón pulverizado seco y colocar en un matraz Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>.

3.4.4 Añadir, 10 cm<sup>3</sup> de HCl al 5% (m/m) y dar vueltas el frasco Erlenmeyer, hasta que todo el carbón se haya humedecido.

3.4.5 Colocar el frasco Erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento, llevar el contenido a ebullición y mantener así durante 30 s exactamente.

3.4.6 Dejar enfriar el Erlenmeyer y su contenido a temperatura ambiente y añadir mediante pipeta volumétrica, 100 cm<sup>3</sup> de solución estándar de yodo 0,1 N.

3.4.7 Tapar inmediatamente el frasco Erlenmeyer y agitar vigorosamente el contenido durante 30 s, filtrar a través del papel filtro Whatman N° 2V o su equivalente.

3.4.8 Descartar los primeros 20 cm<sup>3</sup> a 30 cm<sup>3</sup> de filtrado, y recoger el filtrado en un frasco Erlenmeyer limpio.

3.4.9 Mezclar el filtrado en el frasco Erlenmeyer con una varilla de vidrio y pipetear 50 cm<sup>3</sup> del filtrado en un Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>.

3.4.10 Titular los 50 cm<sup>3</sup> de muestra, con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta que el color amarillo haya desaparecido. Añadir aproximadamente 1 cm<sup>3</sup> de solución de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul del indicador desaparezca.

NOTA 1. *Pureza de los reactivos.* Los reactivos utilizados en esta norma deben ser productos químicos con grado analítico.

*(Continúa)*





3.4.11 Anotar el volumen usado de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N (ver nota 2).

3.4.12 Efectuar la determinación por duplicado.

3.5 Cálculos

3.5.1 El número de yodo del carbón se calcula aplicando la ecuación siguiente:

$$\text{Número de yodo} = \frac{V}{m} \times f$$

En donde

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2,2 \times B \times V_1)}{m_0}$$

$$C = \frac{N_2 \times V_1}{50}$$

$$A = N_1 \times 12693$$

$$B = N_2 \times 126,93$$

- V/m = mg de yodo absorbidos por g de carbón activado
- C = normalidad del filtrado residual (para calcular f)
- f = factor de corrección (ver Anexo C)
- V<sub>1</sub> = volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0,1 N, en cm<sup>3</sup>
- N<sub>1</sub> = normalidad de la solución estándar de yodo 0,1 N
- N<sub>2</sub> = normalidad de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N

3.6 Errores de Método

3.6.1 La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder del 5% del valor promedio, en caso contrario, debe repetirse la determinación.

3.7 Informe de resultados

3.7.1 Como resultado final, debe informarse la media aritmética de los resultados de la determinación.

3.7.2 En el informe de resultados debe indicarse el método usado y el resultado obtenido; debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.

3.7.3 Debe incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.

NOTA 2. La capacidad de un carbón para cualquier adsorción depende de la concentración de la adsorción en el medio que contiene el carbón. De esta manera la concentración del filtrado residual debe ser especificada para que los factores adecuados puedan ser aplicados para corregir la concentración para que concuerde con la definición.

La cantidad de muestra que va usarse en la determinación está regulada por la actividad del carbón. Si la normalidad "C" del filtrado residual, no está dentro del rango 0,0080 N - 0,0334 N indicado en el Anexo C, repetir el procedimiento utilizando una cantidad de muestra diferente.

Lo anterior es importante para el análisis, ya que la relación de peso de yoduro de potasio a yodo es 1,5: 1 de la solución estándar de yodo.

(Continúa)

ANEXO A

ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0,1 N, MEDIANTE LA SOLUCIÓN DE BIYODATO DE POTASIO 0,1 N, [KI (I0<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] (ver nota 3).

A.1 Pesar 3,249 g de biyodato de potasio 0,1N [KI (I0<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] y llevar a un litro con agua destilada en un frasco volumétrico. Conservar en una botella de vidrio con tapa.

A.2 Añadir 80 cm<sup>3</sup> de agua destilada, mediante chorro constante, 1 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico (d = 1,84), 10 cm<sup>3</sup> de solución de biyodato de potasio 0,1 N y 1 g de yoduro de potasio (KI).

A.3 Titular la mezcla anterior inmediatamente con la solución de tiosulfato de sodio. Añadir de 2 a 3 gotas de almidón, cuando el yoduro presenta un ligero color amarillo.

A.4 Continuar la titulación, añadiendo la solución de tiosulfato de sodio gota a gota, hasta que una gota ya no produzca color.

A.5 Anotar el volumen de la solución de tiosulfato de sodio, utilizado en la titulación.

A.6 La normalidad N<sub>2</sub> se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$N_2 = \frac{1000}{\text{Tiosulfato de sodio consumido cm}^3}$$

NOTA 3. Para preparar la solución de biyodato de potasio 0,1 N, utilizar biyodato de potasio de calidad estándar primario, el cual ha sido secado durante 12 h a 105 °C y enfriado en un desecador.

(Continúa)



NTE INEN 1988 2013-00

**ANEXO B**

**ESTANDARIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE YODO 0,1 N**

**B.1** Pipetear 25 cm<sup>3</sup> de solución de yodo 0,1 N a un Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>.

**B.2** Titular inmediatamente con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N.

**B.3** Añadir de 2 a 3 gotas de almidón cerca del punto final, continuar la titulación hasta que la solución sea incolora.

**B.4** Anotar el volumen utilizado de solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N.

**B.5** La normalidad N<sub>i</sub> se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$N_i = \frac{\text{cm}^3 \text{ tiosulfato de sodio utilizado por } N \text{ del tiosulfato}}{25}$$

*(Continúa)*

-5- 2013-1320

NTE INEN 1988 2013-00

**ANEXO C**

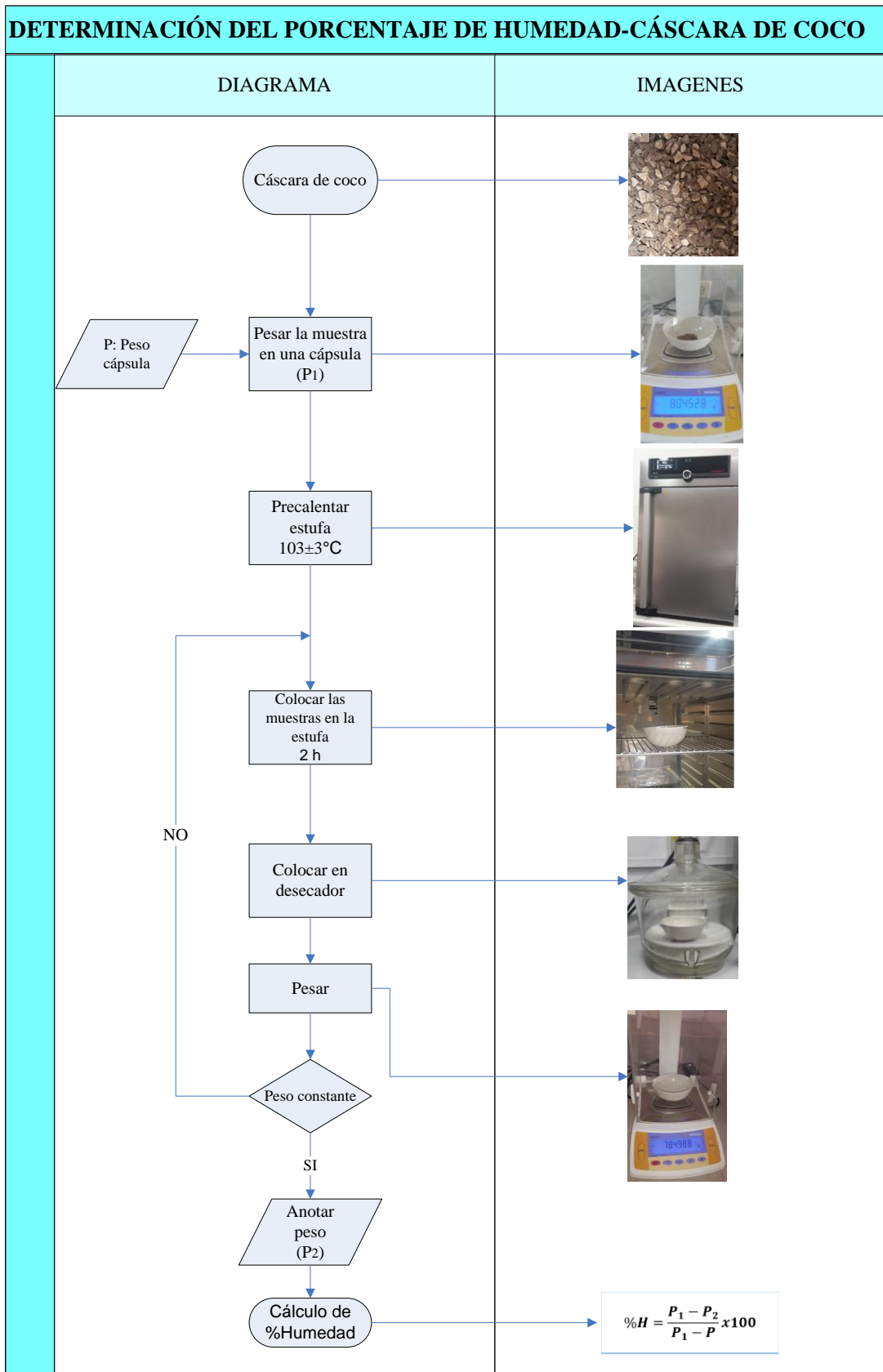
**FACTOR DE CORRECCIÓN f PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO**

NORMALIDAD DEL FILTRADO RESIDUAL, C	0,0000	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009
0,0080	1,1625	1,1613	1,1600	1,1575	1,1550	1,1538	1,1513	1,1500	1,1475	1,1463
0,0090	1,1438	1,1425	1,1400	1,1375	1,1363	1,1350	1,1325	1,1300	1,1288	1,1275
0,0100	1,1250	1,1238	1,1225	1,1213	1,1200	1,1175	1,1163	1,1150	1,1138	1,1113
0,0110	1,1100	1,1088	1,1075	1,1063	1,1038	1,1025	1,1000	1,0988	1,0975	1,0963
0,0120	1,0950	1,0938	1,0925	1,0900	1,0888	1,0875	1,0863	1,0850	1,0838	1,0825
0,0130	1,0800	1,0788	1,0775	1,0763	1,0750	1,0738	1,0725	1,0713	1,0700	1,0688
0,0140	1,0675	1,0663	1,0650	1,0625	1,0613	1,0600	1,0588	1,0575	1,0563	1,0550
0,0150	1,0538	1,0525	1,0513	1,0500	1,0488	1,0475	1,0463	1,0450	1,0438	1,0425
0,0160	1,0413	1,0400	1,0388	1,0375	1,0375	1,0363	1,0350	1,0333	1,0325	1,0313
0,0170	1,0300	1,0288	1,0275	1,0263	1,0250	1,0245	1,0238	1,0225	1,0208	1,0200
0,0180	1,0200	1,0188	1,0175	1,0163	1,0150	1,0144	1,0138	1,0125	1,0125	1,0113
0,0190	1,0100	1,0088	1,0075	1,0075	1,0063	1,0050	1,0050	1,0038	1,0025	1,0025
0,0200	1,0013	1,0000	1,0000	0,9988	0,9975	0,9975	0,9963	0,9950	0,9950	0,9938
0,0210	0,9938	0,9925	0,9925	0,9913	0,9900	0,9900	0,9888	0,9875	0,9875	0,9863
0,0220	0,9863	0,9850	0,9850	0,9838	0,9825	0,9825	0,9813	0,9813	0,9800	0,9788
0,0230	0,9788	0,9775	0,9775	0,9763	0,9763	0,9750	0,9750	0,9738	0,9738	0,9725
0,0240	0,9725	0,9708	0,9700	0,9700	0,9688	0,9688	0,9675	0,9675	0,9663	0,9663
0,0250	0,9650	0,9650	0,9638	0,9638	0,9625	0,9625	0,9613	0,9613	0,9606	0,9600
0,0260	0,9600	0,9588	0,9588	0,9575	0,9575	0,9563	0,9563	0,9550	0,9550	0,9538
0,0270	0,9538	0,9525	0,9525	0,9519	0,9513	0,9513	0,9506	0,9500	0,9500	0,9488
0,0280	0,9488	0,9475	0,9475	0,9463	0,9463	0,9463	0,9450	0,9450	0,9438	0,9438
0,0290	0,9425	0,9425	0,9425	0,9413	0,9413	0,9400	0,9400	0,9394	0,9388	0,9388
0,0300	0,9375	0,9375	0,9375	0,9363	0,9363	0,9363	0,9363	0,9350	0,9350	0,9346
0,0310	0,9333	0,9333	0,9325	0,9325	0,9325	0,9319	0,9313	0,9213	0,9300	0,9300
0,0320	0,9300	0,9294	0,9288	0,9288	0,9280	0,9275	0,9275	0,9275	0,9270	0,9270
0,0330	0,9263	0,9263	0,9257	0,9250	0,9250	-	-	-	-	-

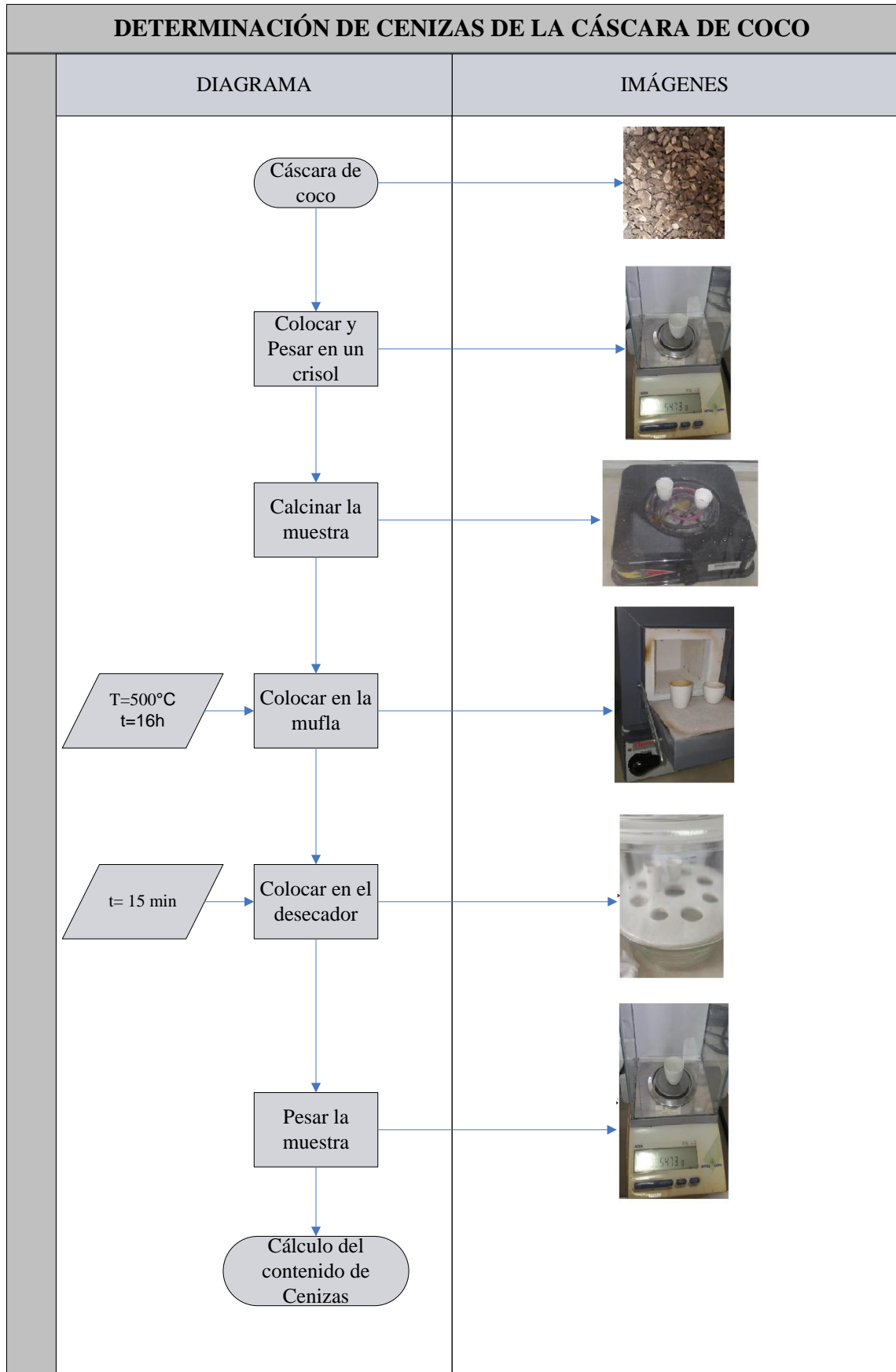
*(Continúa)*

-6- 2013-1320

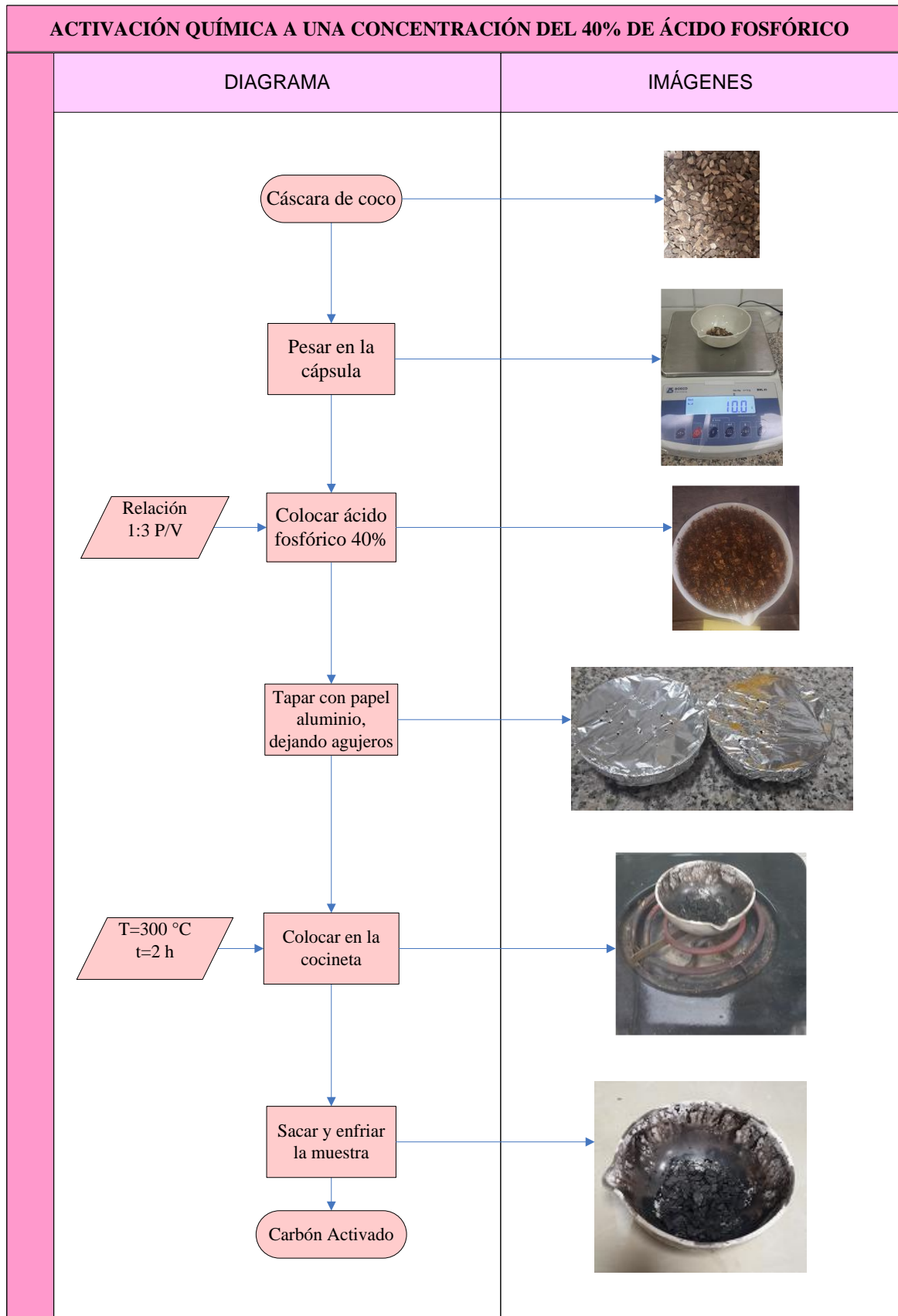
7.3 Anexo 3. Diagrama de Determinación del Porcentaje de Humedad de la cáscara de coco



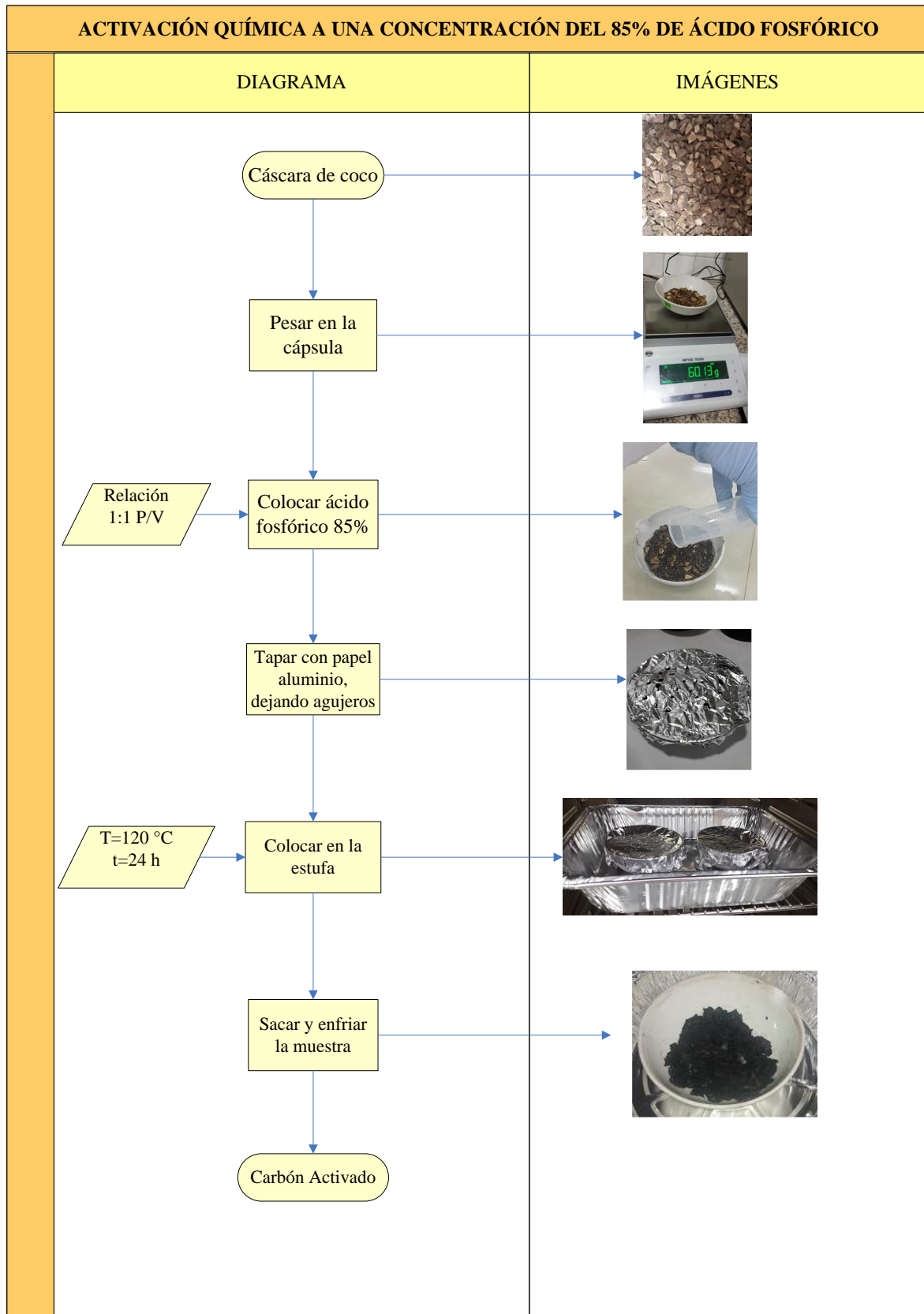
7.4 Anexo 4. Diagrama de la Determinación de Cenizas de la Cáscara de Coco



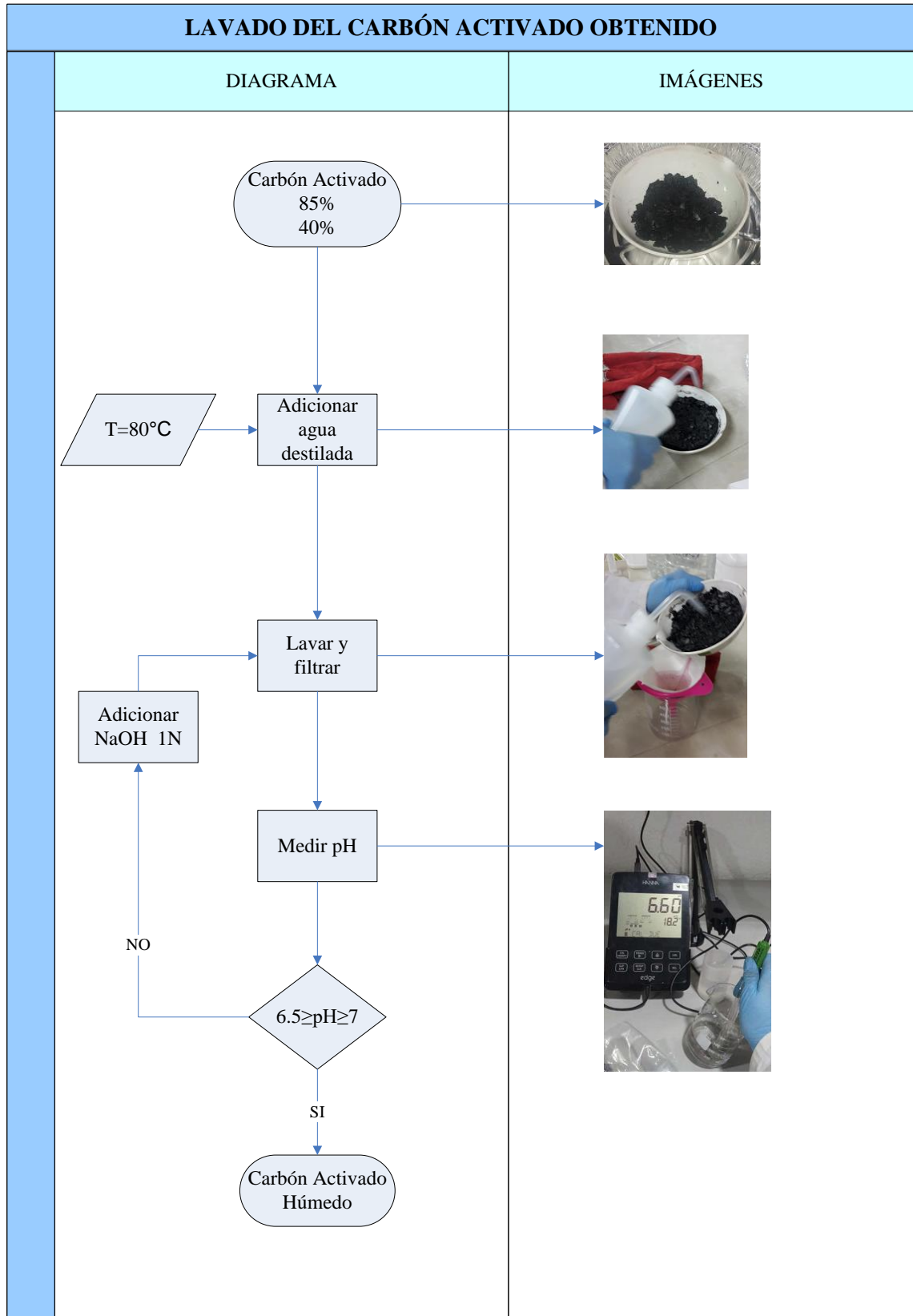
7.5 Anexo 5. Diagrama de la Activación Química a una concentración del 40% de ácido fosfórico



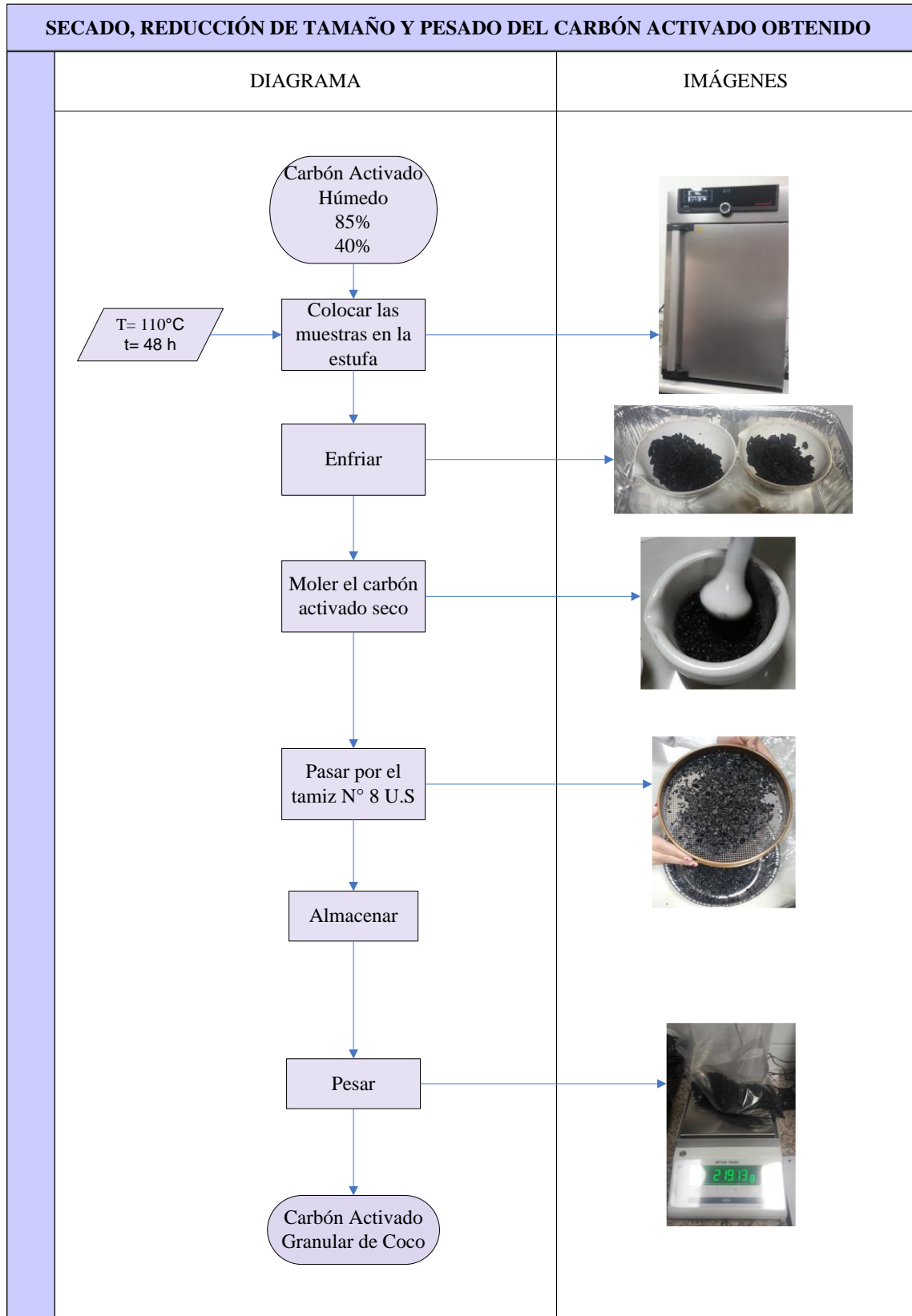
## 7.6 Anexo 6. Diagrama de la Activación Química a una concentración del 85% de ácido fosfórico



### 7.7 Anexo 7. Diagrama del proceso de lavado del carbón activado obtenido

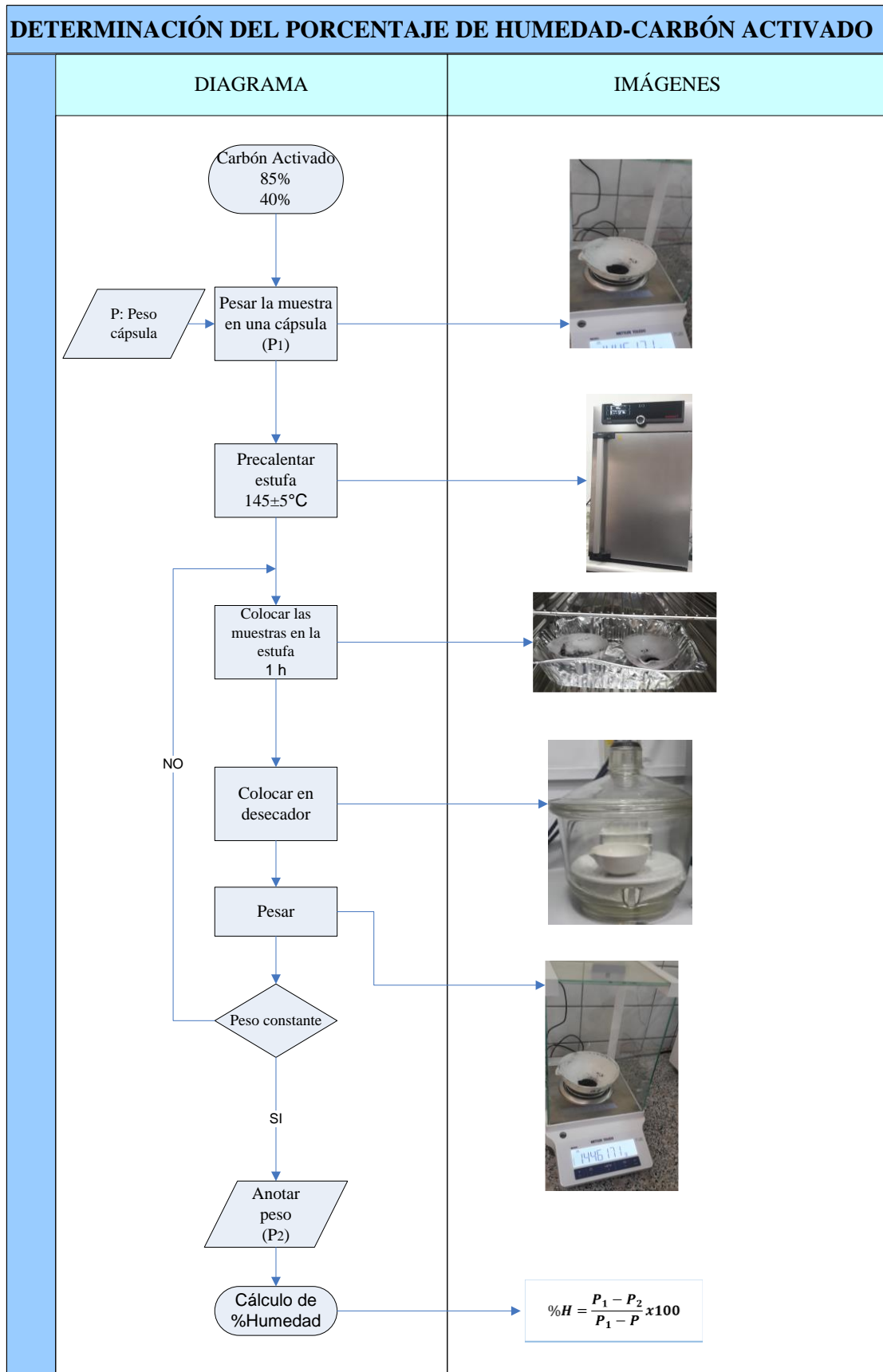


### 7.8 Anexo 8. Diagrama de secado, reducción de tamaño y pesado del carbón activado.

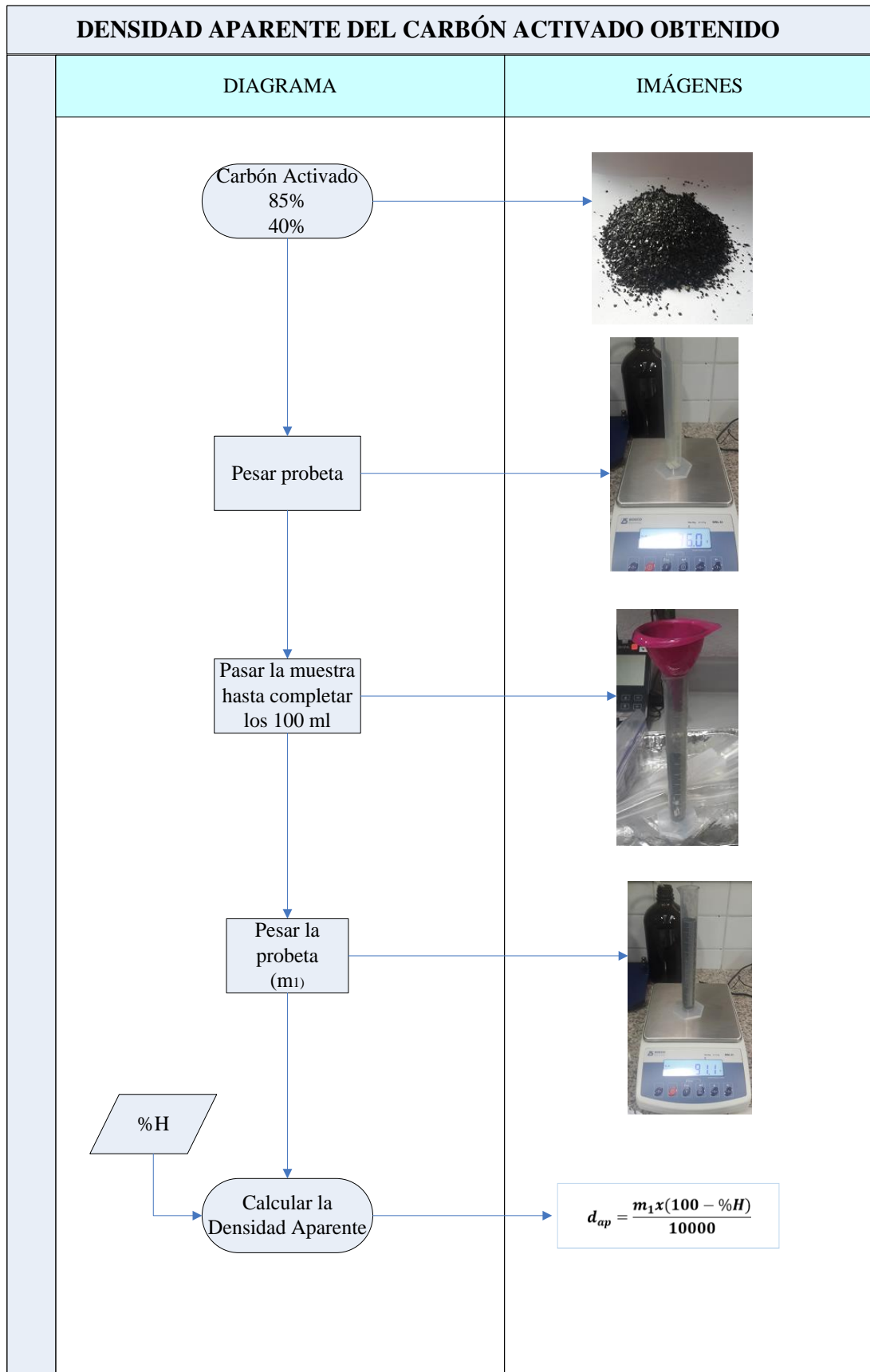




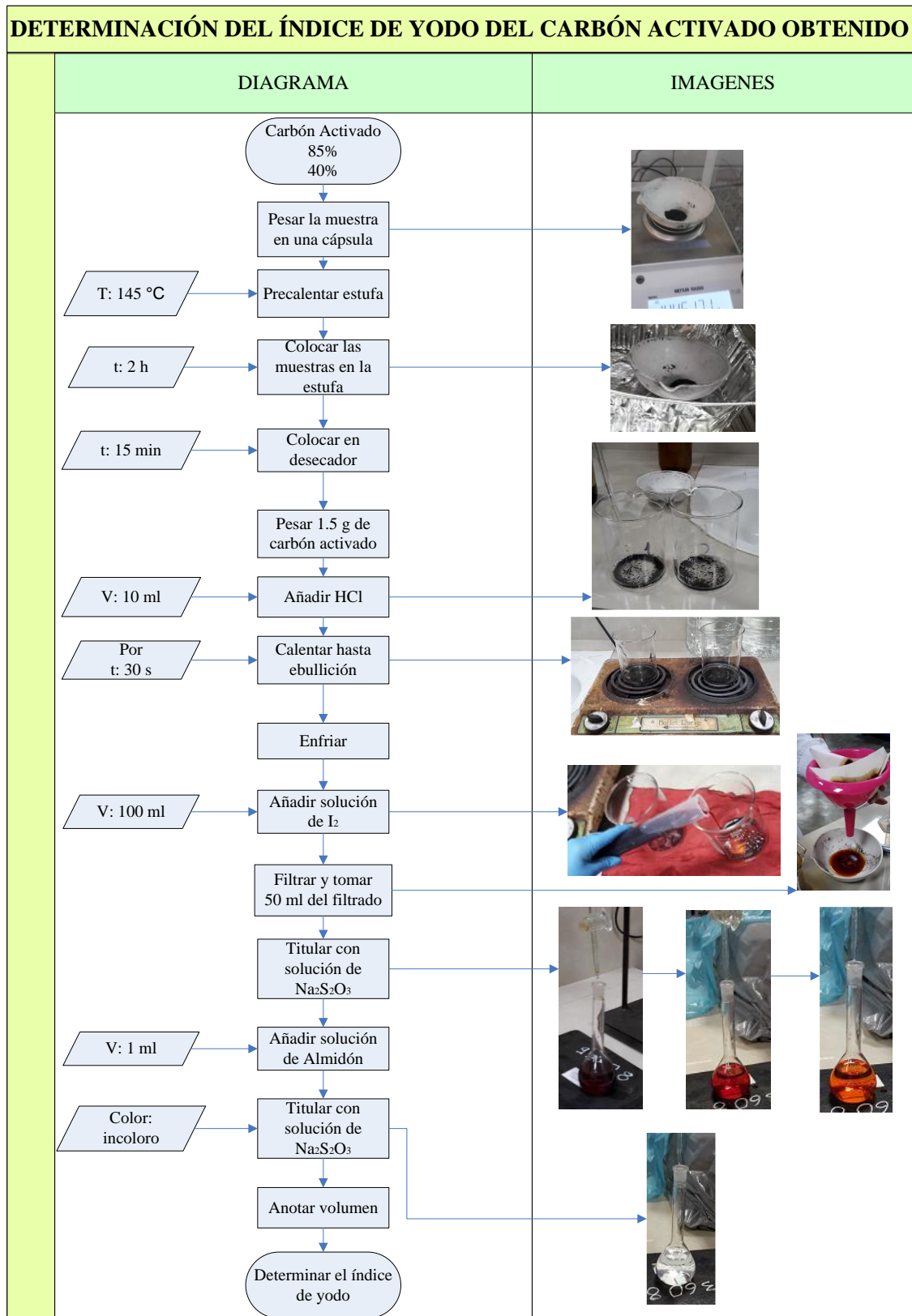
7.9 Anexo 9. Diagrama de la Determinación del Porcentaje de Humedad del carbón activado.



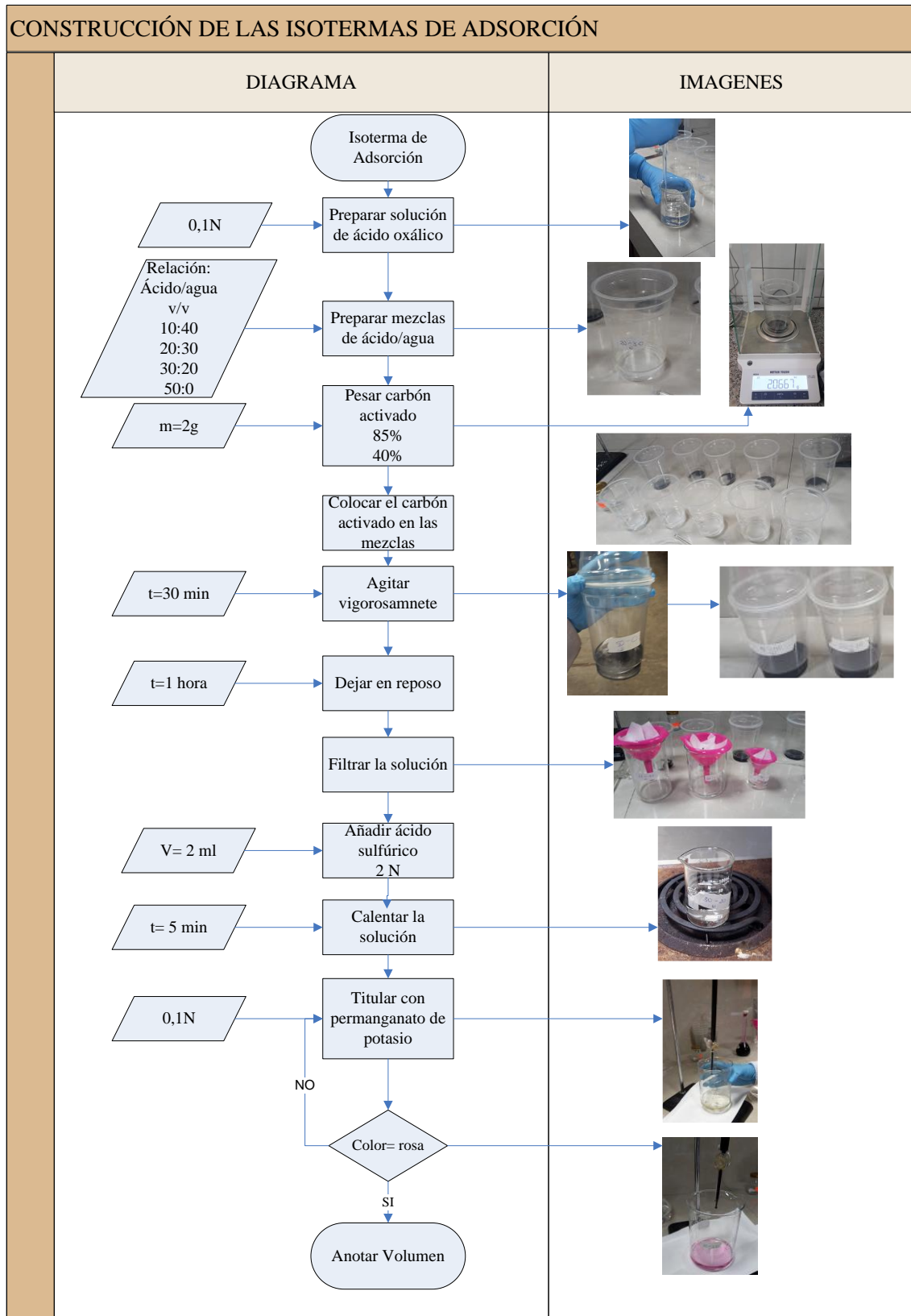
7.10 Anexo 10. Diagrama de la Determinación de la densidad aparente del carbón activado



7.11 Anexo 11. Diagrama de la Determinación del índice de Yodo del carbón activado

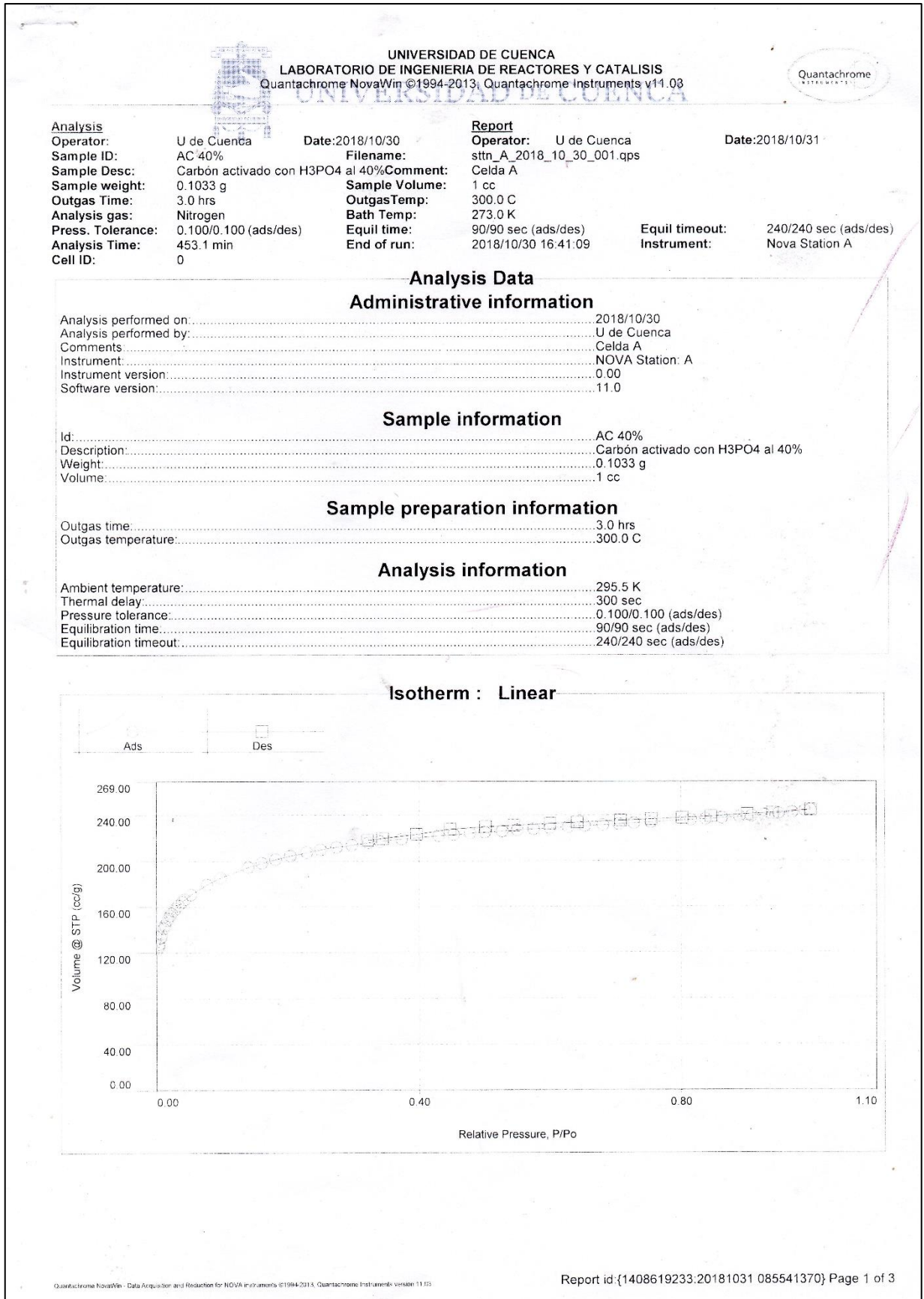


### 7.12 Anexo 12. Diagrama de la construcción de la Isoterma de Adsorción del Carbón Activado





### 7.13 Anexo 13. Resultados entregados por el laboratorio de ingeniería de reactores y catálisis de la determinación del área superficial BET





**Analysis**  
Operator: U de Cuenca Date:2018/10/30  
Sample ID: AC 40% Filename: strn\_A\_2018\_10\_30\_001.qps

**Isotherm**

Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
4.05500e-03	124.2493	2.29350e-01	207.3285	8.63358e-01	237.3384
4.34700e-03	125.6306	2.50405e-01	209.6472	8.90181e-01	238.3220
4.77900e-03	127.2151	2.74499e-01	211.9465	9.09035e-01	239.1333
6.94300e-03	132.8081	2.97680e-01	213.8050	9.28396e-01	240.0137
8.43000e-03	135.8601	3.22809e-01	215.7181	9.50336e-01	241.1833
1.17220e-02	141.0489	3.40543e-01	216.9655	9.71128e-01	242.3133
1.34910e-02	143.4464	3.73829e-01	218.9636	9.91092e-01	243.8043
1.70760e-02	148.1450	4.30607e-01	221.8573	9.99700e-01	244.4821
1.86370e-02	149.5985	4.53544e-01	222.8153	9.40862e-01	241.9691
2.17510e-02	152.3913	4.79021e-01	223.9970	9.02195e-01	240.6479
2.36800e-02	154.0113	5.01553e-01	224.8817	8.46499e-01	238.7768
2.74430e-02	156.7987	5.28601e-01	225.9837	8.02564e-01	237.5375
2.96920e-02	158.3329	5.51557e-01	226.8450	7.55966e-01	236.3486
3.41980e-02	161.1816	5.76563e-01	227.7821	7.08587e-01	235.2401
3.99090e-02	164.3308	6.01184e-01	228.6618	6.43342e-01	233.5491
4.39170e-02	166.3910	6.29248e-01	229.5873	6.01720e-01	232.4200
5.34100e-02	170.6689	6.54565e-01	230.4486	5.46307e-01	230.9613
7.77390e-02	179.3430	6.82150e-01	231.3755	5.02842e-01	229.6928
9.85120e-02	185.1759	7.05623e-01	232.0921	4.48463e-01	227.6084
1.40679e-01	194.4472	7.28917e-01	232.8669	3.96691e-01	223.2572
1.61207e-01	198.0332	7.55081e-01	233.7315	3.44570e-01	219.5512
1.81999e-01	201.3009	8.15518e-01	235.6001	3.21586e-01	217.9571
2.04446e-01	204.3827	8.37919e-01	236.3022		

**MBET summary**

Slope = 5.286  
Intercept = -1.169e-02  
Correlation coefficient, r = 0.997728  
C constant = -451.157  
Surface Area = 660.287 m<sup>2</sup>/g

**Multi-Point BET**

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((Po/P) - 1) ]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((Po/P) - 1) ]
4.05500e-03	124.2493	2.6219e-02	4.39170e-02	166.3910	2.2088e-01
4.34700e-03	125.6306	2.7806e-02	5.34100e-02	170.6689	2.6452e-01
4.77900e-03	127.2151	3.0202e-02	7.77390e-02	179.3430	3.7605e-01
6.94300e-03	132.8081	4.2121e-02	9.85120e-02	185.1759	4.7217e-01
8.43000e-03	135.8601	5.0068e-02	1.40679e-01	194.4472	6.7363e-01
1.17220e-02	141.0489	6.7283e-02	1.61207e-01	198.0332	7.7650e-01
1.34910e-02	143.4464	7.6279e-02	1.81999e-01	201.3009	8.8434e-01
1.70760e-02	148.1450	9.3827e-02	2.04446e-01	204.3827	1.0060e+00
1.86370e-02	149.5985	1.0157e-01	2.29350e-01	207.3285	1.1485e+00
2.17510e-02	152.3913	1.1674e-01	2.50405e-01	209.6472	1.2749e+00
2.36800e-02	154.0113	1.2600e-01	2.74499e-01	211.9465	1.4283e+00
2.74430e-02	156.7987	1.4399e-01	2.97680e-01	213.8050	1.5862e+00
2.96920e-02	158.3329	1.5464e-01	3.22809e-01	215.7181	1.7681e+00
3.41980e-02	161.1816	1.7577e-01	3.40543e-01	216.9655	1.9043e+00
3.99090e-02	164.3308	2.0239e-01			



**Analysis**  
Operator: U de Cuenca  
Sample ID: AC 40%

**Date:** 2018/10/30  
**Filename:**

**Report**  
Operator: U de Cuenca  
ssth\_A\_2018\_10\_30\_001.qps

**Date:** 2018/10/31

### Multi-Point BET Plot

