



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CARBÓN**  
**ACTIVADO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona***  
***muricata*)**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** HAROLD WLADIMIR GUAMUSHIG INTRIAGO

**DIRECTOR:** Dr. JORGE EFRÉN SILVA YUMI Ph.D.

Riobamba - Ecuador

2021

**©2021, Harold Wladimir Guamushig Intriago**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Harold Wladimir Guamushig Intriago, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 05 de marzo del 2021

**Harold Wladimir Guamushig Intriago**  
**131146686-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación : Tipo Proyecto de Investigación , **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (Annona muricata)** realizado por el señor: **HAROLD WLADIMIR GUAMUSHIG INTRIAGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación , El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| <b>FIRMA</b>  | <b>FECHA</b> |
|---|--------------|
| Dr. Fabián E. Arias Arias Ph.D.<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>             | 2021-09-13   |
| Dr. Jorge Efrén Silva Yumi Ph.D.<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> | 2021-09-13   |
| Ing. Carlos Medina Serrano M. Sc<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>               | 2021-09-13   |

## **DEDICATORIA**

El presente escrito de titulación está dedicado a mis guías de vida, a los soportes que me ayudan y aconsejan cuando las cosas no van del todo bien. A ellos, a mis padres amados, Luis Guamushig y Flor Intriago; quienes han creído siempre en mí incluso cuando yo mismo no lo he hecho. A mi segunda madre, Olga Moreira, apoyándome y entendiéndome cuando pasaba horas y horas sentado en la mesa de trabajo. Mis hermanos, a quienes debo incentivar a que cumplan sus metas y propósitos venideros. Finalmente, amigos y profesores que me acompañaron en esta etapa universitaria y que marcaron en mí un anhelo de aspirar a más cosas, descubrir nuevas oportunidades y compartir el conocimiento.

*Harold G.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero brindar el más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme dado la oportunidad de descubrir el maravilloso mundo de la ingeniería química y otorgarme esta gran profesión para poder servir a la sociedad.

Agradezco al director de tesis, Dr. Jorge Silva por darme el tiempo y la paciencia de corregirme, darme consejos y sugerencias para lograr un buen trabajo. Así mismo, al miembro de tesis, Ing. Carlos Medina, por su apoyo y atención brindada en cada etapa del proceso.

A mi familia por darme ánimos y comprenderme.

***Harold G.***

## TABLA DE CONTENIDOS

|                            |      |
|----------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....      | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....     | ix   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....    | x    |
| ÍNDICE DE ECUACIONES ..... | xi   |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....     | xii  |
| RESUMEN .....              | xiii |
| ABSTRACT.....              | xiv  |
| INTRODUCCIÓN .....         | 1    |

### CAPÍTULO I

|  |    |
|--|----|
| 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....                              | 6  |
| 1.1. Antecedentes de la Investigación .....                    | 6  |
| 1.2. Marco Conceptual o Glosario.....                          | 7  |
| 1.2.1. Carbón activado .....                                   | 7  |
| 1.2.2. Adsorción en carbón activado .....                      | 8  |
| 1.2.3. Propiedades físicas y químicas del carbón activado..... | 8  |
| 1.2.4. Fuentes de obtención de carbón activado .....           | 11 |
| 1.2.5. Método por activación química .....                     | 12 |
| 1.2.6. Técnicas de caracterización del carbón activado .....   | 13 |

### CAPÍTULO II

|   |    |
|---|----|
| 2. MARCO METODOLÓGICO.....                | 15 |
| 2.1. Planteamiento de las Hipótesis ..... | 15 |
| 2.1.1. Hipótesis General .....            | 15 |
| 2.1.2. Hipótesis Específicas .....        | 15 |
| 2.2. Identificación de Variables .....    | 15 |
| 2.3. Operacionalización de Variables..... | 16 |
| 2.4. Matriz de Consistencia.....          | 17 |
| 2.5. Tipo y Diseño de Investigación ..... | 18 |
| 2.6. Unidad de Análisis.....              | 18 |
| 2.7. Población de Estudio .....           | 18 |
| 2.8. Tamaño de la Muestra .....           | 18 |
| 2.9. Selección de Muestra .....           | 18 |

|   |    |
|---|----|
| <b>2.10. Técnicas de Recolección de Datos</b> .....                         | 19 |
| <b>2.10.1. Análisis proximal del precursor</b> .....                        | 20 |
| <b>2.10.2. Activación química con agentes activantes</b> .....              | 23 |
| <b>2.10.3. Carbonización del carbón activado</b> .....                      | 24 |
| <b>2.10.4. Determinación del pH</b> .....                                   | 25 |
| <b>2.10.5. Caracterización del carbón activado</b> .....                    | 26 |
| <b>2.10.6. Índice de yodo</b> .....   | 26 |
| <b>2.10.7. Determinación de la densidad aparente</b> .....                  | 27 |
| <b>2.10.8. Determinación de grupos funcionales oxigenados</b> .....         | 28 |
| <b>2.10.9. Determinación del área superficial del carbón activado</b> ..... | 28 |

### **CAPÍTULO III**

|  |    |
|--|----|
| <b>3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....  | 30 |
| <b>3.1. Resultados obtenidos de la caracterización de las semillas de guanábana (<i>Annona muricata</i>)</b> ..... | 30 |
| <b>3.2. Rendimiento durante la activación y carbonización del carbón</b> .....                                     | 32 |
| <b>3.3. Análisis proximal del carbón activado</b> .....  | 35 |
| <b>3.3.1. Humedad</b> .....  | 35 |
| <b>3.3.2. Cenizas</b> .....  | 36 |
| <b>3.3.3. Materia volátil</b> .....  | 36 |
| <b>3.3.4. Carbono fijo</b> .....   | 37 |
| <b>3.4. Densidad Aparente</b> .....  | 37 |
| <b>3.5. Índice de Yodo</b> .....   | 38 |
| <b>3.6. Espectroscopía Infrarroja FT-IR</b> .....  | 40 |
| <b>3.6.1. Activación con ácido fosfórico</b> .....   | 40 |
| <b>3.6.2. Activación con cloruro de zinc</b> .....   | 42 |
| <b>3.7. Determinación de pH</b> .....  | 43 |
| <b>3.8. Área Superficial</b> .....   | 44 |
| <b>3.9. Comparación de las muestras de carbón activado obtenido con Carbón Comercial</b><br>.....                  | 44 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>CONCLUSIONES</b> ..... | 47 |
|---------------------------|----|

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>RECOMENDACIONES</b> ..... | 48 |
|------------------------------|----|

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1-2:</b> Propiedades de precursores de desechos agroindustriales para la producción de carbón activado. ....                                 | 12 |
| <b>Tabla 2-2:</b> Identificación de Variables. ....   | 15 |
| <b>Tabla 3-2:</b> Operacionalización de las variables para el carbón activado.....  | 16 |
| <b>Tabla 4-2:</b> Matriz de consistencia para el carbón activado.....   | 17 |
| <b>Tabla 5-2:</b> Tratamientos que se van a realizar para la obtención del carbón activado. ....  | 19 |
| <b>Tabla 6-3:</b> Rendimiento del carbón activado antes de ser activado con relación al producto final. ....  | 32 |
| <b>Tabla 7-3:</b> Rendimiento del carbón activado en el reactor de pirólisis durante su carbonización (antes y después de someterse al reactor). .... | 33 |
| <b>Tabla 8-3:</b> Resultados de la humedad en el carbón activado. ....  | 35 |
| <b>Tabla 9-3:</b> Resultado del porcentaje de cenizas en el carbón activado. ....   | 36 |
| <b>Tabla 10-3:</b> Resultados del porcentaje de materia volátil en el carbón activado.....  | 36 |
| <b>Tabla 11-3:</b> Resultados obtenidos del porcentaje de carbono fijo. ....  | 37 |
| <b>Tabla 12-3:</b> Resultados obtenidos de la determinación de densidad aparente del carbón activado.....   | 38 |
| <b>Tabla 13-3:</b> Resultados del índice de yodo obtenido en muestras de carbón activado.....   | 39 |
| <b>Tabla 14-3:</b> Resultados obtenidos del pH de las muestras de carbón activado. ....   | 43 |
| <b>Tabla 15-3:</b> Resultados obtenidos del área superficial en muestras de carbón activado. ....   | 44 |
| <b>Tabla 16-3:</b> Comparación de las muestras de carbón activado obtenidas respecto al comercial. ....   | 44 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1-2:</b> Estructura del carbón activado .....   | 8  |
| <b>Figura 2-2:</b> Gránulo de carbón activado y su ramificación de poros. ....  | 9  |
| <b>Figura 3-2:</b> Grupos oxigenados en la superficie de un carbón activo .....                                       | 10 |
| <b>Figura 4-2:</b> Secado de la semilla de guanábana. Diferencia entre la semilla seca y fresca<br>(derecha).....     | 20 |
| <b>Figura 5-2:</b> Triturado de las semillas de guanábana. ....   | 20 |
| <b>Figura 6-2:</b> Determinación del contenido de humedad en el precursor .....                                       | 21 |
| <b>Figura 7-2:</b> Determinación del contenido de cenizas del precursor .....   | 22 |
| <b>Figura 8-2:</b> Determinación del contenido volátil del precursor .....  | 23 |
| <b>Figura 9-2:</b> Activación química con ácido fosfórico y cloruro de zinc.....                                      | 24 |
| <b>Figura 10-2:</b> Carbonización en reactor de pirólisis .....   | 25 |
| <b>Figura 11-2:</b> Determinación del pH en las muestras de carbón activado.....                                      | 25 |
| <b>Figura 12-2:</b> Determinación del índice de yodo en las muestras de carbón activado .....                         | 27 |
| <b>Figura 13-2:</b> Determinación de la densidad aparente en carbón activado.....                                     | 28 |
| <b>Figura 14-2:</b> Determinación de los grupos funcionales oxigenados del carbón.....                                | 28 |
| <b>Figura 15-2:</b> Equipo de fisisorción para determinar el área superficial. ....                                   | 29 |
| <b>Figura 16-3:</b> Espectro FTIR del carbón activado impregnado con ácido fosfórico. ....                            | 40 |
| <b>Figura 17-3:</b> Espectro FTIR del carbón activado impregnado con ácido fosfórico en semillas de<br>eucalipto..... | 41 |
| <b>Figura 18-3:</b> Espectro FTIR del carbón activado impregnado con cloruro de zinc .....                            | 42 |
| <b>Figura 19-3:</b> Espectro FTIR del carbón activado impregnado con cloruro de zinc en llantas de<br>caucho.....     | 42 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico 1-3:</b> Resultado del Análisis Proximal de las semillas de guanábana.....                 | 31 |
| <b>Gráfico 2-3:</b> Rendimiento del carbón activado.....  | 33 |
| <b>Gráfico 3-3:</b> Rendimiento del carbón activado al ingresar y salir del reactor de pirólisis..... | 34 |
| <b>Gráfico 4-3.</b> Resultados del número de índice de yodo presentes en el carbón activado. ....     | 40 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ecuación 1-2:</b> Porcentaje de humedad .....          | 21 |
| <b>Ecuación 2-2:</b> Porcentaje de cenizas .....          | 22 |
| <b>Ecuación 3-2:</b> Porcentaje de materia volátil .....  | 22 |
| <b>Ecuación 4-2:</b> Porcentaje de carbono fijo.....      | 23 |
| <b>Ecuación 5-2:</b> Índice de yodo.....                  | 26 |
| <b>Ecuación 6-2:</b> Porcentaje de densidad aparente..... | 27 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** SEMILLAS DE GUANÁBANA USADAS COMO PRECURSOR PARA EL CARBÓN ACTIVADO.

**ANEXO B:** PROCESO DE ACTIVACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA.

**ANEXO C:** PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA.

**ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CARBÓN ACTIVADO.

**ANEXO E:** PRUEBA DEL ÍNDICE DE YODO EN MUESTRAS DE CARBÓN ACTIVADO.

**ANEXO F:** NORMA NTE INEN 1988: 2013.

## RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo obtener carbón activado a partir de las semillas de guanábana (*Annona muricata*) para determinar si cumple con características similares a la de un carbón activado comercial. Se realizaron ensayos previos al precursor para determinar si cumple con las características idóneas mediante análisis proximal, para lo cual se trabajó con un diámetro de partícula de 0.5mm, siendo determinante el contenido de cenizas y volátiles de las semillas. El proceso se realizó mediante el método de activación química usando como agentes activantes el cloruro de zinc y el ácido fosfórico a la misma concentración (50%) y en proporciones 1:2 relación precursor-agente activante. Se establecieron tres tratamientos diferentes para cada reactivo en donde las variables de trabajo como el tiempo y temperatura tanto de activación y carbonización se basaron según bibliografía relacionada con semillas de otras frutas. Luego, la carbonización de las muestras de carbón se llevó a cabo en un reactor de pirólisis para que el producto final exhiba mayor porosidad y superficie interna. Posteriormente, se determinaron parámetros fisicoquímicos al carbón activado como el pH, cenizas, humedad, materia volátil, carbono fijo, espectrofotometría IR, densidad aparente, índice de yodo y área superficial. Se concluyó, que las mejores condiciones de tratamiento fueron en el tratamiento 3 (T3) tanto para el cloruro de zinc como para el ácido fosfórico debido a que fueron muestras que presentaron mayor capacidad de adsorción, encontrándose un área superficial de 410.13 y 400.08 m<sup>2</sup>/g e índice de yodo de 407.416 y 365.407 respectivamente. No obstante, no cumplen las especificaciones necesarias para categorizarse como un carbón activado comercial en el país.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA QUÍMICA>, <GUANÁBANA (*Annona Muricata*)>, <CARBÓN ACTIVADO>, <ACTIVACIÓN>, <CARBONIZACIÓN>, <ADSORCIÓN>.



1530-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The aim of this work was to obtain activated charcoal from the seeds of soursop (*Annona muricata*) in order to determine if it complies with characteristics similar to a commercial activated charcoal. By means of proximal analysis, previous tests on the precursor were carried out to determine if it meets the ideal characteristics; to this purpose, a particle diameter of 0.5mm was used, being decisive the ash content and volatiles of seeds. The process was carried out through the chemical activation method using zinc chloride and phosphoric acid as activating agents at the same concentration (50%) and 1:2 precursor-activating agent ratio. Three different treatments were established for each reagent where the working variables such as time and temperature for both activation and carbonization were based on bibliography related to other fruit seeds. Then, the carbonization of the carbon samples was carried out in a pyrolysis reactor so that the final product exhibits higher porosity and internal surface. Subsequently, activated carbon physicochemical parameters such as pH, ash, humidity, volatile matter, fixed carbon, IR spectrophotometry, apparent density, iodine number and surface area were determined. It was concluded that the best treatment conditions were in treatment 3 (T3) for both zinc chloride and phosphoric acid because they were samples that presented higher adsorption capacity, finding a surface area of 410.13 and 400.08 m<sup>2</sup>/g, iodine value 407,416 and 365,407 respectively. However, they do not meet the necessary specifications to be categorized as a commercial activated carbon in the country.

**Keywords:** <CHEMICAL ENGINEERING>, <SOURSOP (*Annona Muricata*)>, <ACTIVATED CARBON>, <ACTIVATION>, <CARBONIZATION>, <ADSORPTION>.

## **INTRODUCCIÓN**

La biomasa lignocelulósica se considera por muchos una de las materias primas más abundantes y bio-renovables que tienen gran potencial para la preparación de materiales adsorbentes carbonosos. Los diferentes tipos de materiales orgánicos comúnmente usados son cultivos agrícolas y sus residuos, la madera y algas. Sin embargo, estos tipos de residuos se depositan anualmente en grandes cantidades y se consideran contaminantes sólidos para el medio ambiente; por lo cual, desde el punto de vista ecológico, la eliminación inocua de estos residuos es importante.

Anteriormente, para obtener carbón activado se requería principalmente carbón, lignito y huesos animales, pero recientemente el interés de usar biomasa para su producción va en aumento debido a su bajo contenido de cenizas y alto contenido volátil; como es el caso de las semillas de guanábana, siendo un residuo no investigado anteriormente y que en el Ecuador su disponibilidad es abundante y económica, además cumple con ser un residuo liviano, poroso y que contiene grupos funcionales carboxílicos e hidroxilo en su superficie, siendo óptimo para la fabricación de carbón activado.

La metodología que se sigue para obtener el carbón activado es mediante la activación química usando como agentes activantes el cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) y el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) a diferentes condiciones de trabajo como son los tiempos y temperaturas en los procesos de activación y carbonización del precursor, para de esta manera evidenciar cuál de estos reactivos ofrecen mejor calidad en los carbones activados mediante una serie de pruebas fisicoquímicas como son análisis proximal, índice de yodo, densidad aparente, pH, espectrofotometría IR, rendimiento, y área superficial.

Finalmente, los resultados van a ser comparados con las especificaciones de un carbón activado comercial, que permita determinar si los carbones activados obtenidos experimentalmente cumplen con la calidad que se requiere, para de esta manera, ser un sustituyente más amigable con el medio ambiente, puesto que la mayoría de los carbones activados comerciales son hechos a partir de madera y además abarata costos de fabricación.

### **Identificación del Problema**

La acumulación de subproductos o residuos lignocelulósicos agroindustriales en las distintas fases de los procesos productivos, se considera hoy en día un problema a nivel internacional, puesto que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos apropiadamente, escenario que asiste al proceso de contaminación ambiental y daños a la salud humana (Corredor & Pérez, 2018, págs. 59-72), por lo que es sensato aprovechar y darle un pretratamiento a estos elementos para fines prácticos y progresivos.

Los procesos de urbanización e industrialización que de manera general se han realizado en todos los países y que a su vez han aportado grandes beneficios a la población, también han generado serios problemas ambientales. Un indudable ejemplo sucede con las fuentes hídricas, ya que existe la presencia de compuestos orgánicos que ponen en riesgo la vida humana y ambiental, y que en su gran mayoría son compuestos cancerígenos, tóxicos y duraderos a la biodegradación natural (Rodríguez, 2017, págs. 2-6). Sin embargo, esta problemática puede ser tratada con un buen manejo y aprovechamiento de los residuos agroindustriales que permitan mitigar dichas problemáticas; además de darle un valor agregado y explotar su potencial, usándose como materia prima para generar carbón activado, por ejemplo.

Ecuador es un país que tiene la posibilidad de sintetizar carbón activado debido a la gran variedad de materia agrícola que posee; para el año 2018 se registraron más de 23000 millones de kilogramos (kg) en la producción de cultivos agrícolas (Riera, Maldonado, & Palma, 2018, págs. 227-228), lo que deja a la expectativa la enorme cantidad de residuos agroindustriales que pueden ser aprovechados, pretratados y convertidos en carbón activado ya sea para fines prometedores como la remoción de metales pesados, separación de contaminantes emergentes, adsorción de distintos colorantes, saneamiento de agua potable, entre otras (Vidal, Suarez, Barrios, Pérez, & Lara, 2018, págs. 1-2).

La adsorción es un procedimiento usado para eliminar metales y compuestos orgánicos de fuentes acuáticas contaminadas, debido a que presenta una elevada eficiencia y hacedero manejo de los adsorbentes. El CA es uno de los adsorbentes más utilizados puesto que presenta en su estructura una gran área superficial y volumen de poro, rápida cinética, capacidad de adsorción alta, y se refiere a un conjunto de materiales producidos mediante la ignición de un material lignocelulósico humedecido con un agente químico deshidratante (Peña, Giraldo, & Moreno, 2012, págs. 1-2).

Así, para obtener carbón activado de fuentes lignocelulósicas se emplean varios métodos, el más utilizado debido a su eficiencia y que evita quema de material es la activación química, que radica en impregnar el agente precursor con reactivos deshidratantes, y luego, continuar un tratamiento térmico con temperaturas que van desde 400 ° C hasta 550 ° C (Vidal, Suarez, Barrios, Pérez, & Lara, 2018, págs. 1-2).

De esta manera, a pesar de existir varios procesos para eliminar compuestos del agua, esta tecnología del carbón activado, como se mencionaba con anterioridad, está disponible para descartar contaminantes orgánicos como: herbicidas y pesticidas, surfactantes, compuestos fenólicos, solventes aromáticos, aminas aromáticas y alifáticas y colorantes orgánicos solubles (Bravo & Garzon, 2017, págs. 2-3) abriendo una enorme brecha a nivel aplicativo en los diferentes sectores industriales que necesiten dar un tratamiento correctivo a sus aguas residuales.

A partir del marco de referencia anterior, es oportuno y pertinente indagar en residuos agroindustriales sólidos, como es el caso de las semillas de guanábana, que son generados a

partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso para el que se generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social como lo es el carbón activado.

## **Justificación de la investigación**

Desde hace varias décadas los residuos agroindustriales han sido el foco de atención para varios investigadores, ya sea, a que parte de sus constituyentes pueden ser usados como materia prima para generar compostaje, bioplásticos o carbón activado.

El CA a pesar de ser muy eficiente, su uso se encuentra limitado por su costo, por lo que existe un interés paulatino en encontrar diferentes fuentes y alternativas para mitigar los costos de producción; beneficiando de esta manera, a la parte económica debido a que la materia prima tiene abundante disponibilidad y alcance no monetario, a su vez que, contribuye al sostenimiento ambiental aprovechando los residuos lignocelulósicos que no son tratados en las zonas urbanas e industriales.

Las características más favorables para seleccionar la materia prima en el proceso de obtención del carbón activado son: dureza, abundancia, bajo contenido de cenizas y alto contenido de carbono, estructuras inherentes de poros, y alto rendimiento de masa durante el proceso de carbonización; estas condiciones las cumplen los desechos sólidos de la agricultura como la madera, el bagazo, cáscaras y semillas, es decir, los residuos agroindustriales (Giraldo & Moreno-Piraján, 2012, págs. 32-38).

Las semillas de guanábana reúnen las propiedades necesarias para la obtención del carbón activado, constituyéndose en una alternativa para proporcionarle mayor valor agregado, y que sea aplicable para usos de adsorción como pueden ser la remoción de impurezas en el agua, recuperación de metales, tratamientos terciarios de aguas residuales, tratamientos de agua en procesos industriales, etc.

Varios experimentos de síntesis de carbón activado han sido realizados con precursores no convencionales para aplicaciones potenciales en el tratamiento de agua y / o aguas residuales a partir de otras semillas de frutas. Incluso, para la obtención de carbón activado se ha trabajado con semillas de Shapaja (*Attalea phalera*), Aguaje (*Mauritia flexuosa*) (Zamora, 2010, págs. 3-7), guayaba (*Psidium*) (Holguín, Méndez, Valencia, & Rojas, 2015, págs. 22-25), vitabosa (*Mucuna deeringiana*) (García, Méndez, Sánchez, & Blanco, 2015, págs. 4-8), tomate (*Solanum lycopersicum*) (Márquez-Montesino, Zanzi-Vigouroux, & Ramos-Robaina, 2015, págs. 7-8), mombina roja (*Spondias purpurea* L.), guama (*Inga edulis*) (Cruz, Pirilä, Matějová, & Ainassar, 2018, págs. 12-13), etc. lográndose obtener buenas características en el carbón activado.

La motivación a la investigación con semillas de residuos sólidos es que todos estos precursores exhibieron bajos contenidos de cenizas y altos niveles de carbono, propiedades que juegan un papel importante en la calidad del carbón activado (CA), dando una visión prometedora al planteamiento que se desea realizar con las semillas de guanábana.

La producción de guanábana destaca en países como Colombia, Brasil y Ecuador, de este último, su costo de producción según el INIAP para una hectárea abarca los \$3081,67 dólares y anualmente en el Ecuador se producen cerca de 3000 toneladas de guanábana fresca (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador, 2019), ubicándose las principales áreas de cultivo en la Península de Santa Elena y Guayas; una pequeña parte de esta fruta se usa para exportación y la otra para favorecer al mercado local, teniendo la participación de empresas despulpadoras de frutas, microempresas dedicadas a la venta de jugos de guanábana, etc. Sin embargo, la materia de interés en estos negocios es la pulpa, más no las semillas, lo cual genera un desecho masivo de desperdicio que va directo a la basura en los vertederos o rellenos sanitarios.

En función de esta situación y para aprovechar los residuos o semillas de guanábana y en vista que no se ha encontrado en literatura se plantea la obtención de carbón activado como necesidad de encontrar soluciones para la remoción de contaminantes que sea económica y accesible; lo cual además podría favorecer a los productores de guanábana ya que el aprovechamiento de estos residuos y su posterior aplicabilidad en adsorción puede generar una demanda atractiva no únicamente relacionada al consumo sino que a la elaboración de nuevos productos, como el carbón activado.

En base a lo descrito y tomando en cuenta las líneas de investigación actuales en la ESPOCH se justifica la realización del trabajo de integración curricular “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE SEMILLAS DE GUANÁBANA (*Annona muricata*)” con la finalidad de aprovechar el potencial de los residuos agroindustriales (semillas de guanábana) y su aplicabilidad como material precursor con un alcance factible, renovable y económico que puede reemplazar los procesos de síntesis convencionales de carbón activado y las numerosas aplicaciones para este.

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Obtener carbón activado a partir de semillas de guanábana (*Annona muricata*) utilizando como método experimental la activación química para su respectiva caracterización.

## **Específicos**

- Evaluar las propiedades de las semillas de guanábana mediante un análisis proximal para determinar el contenido de carbono y cenizas del precursor.
- Obtener en el laboratorio carbón activado mediante activación química con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y  $\text{ZnCl}_2$  al 50% para evidenciar la eficiencia del CA usando estos dos agentes activantes.
- Evaluar las propiedades del carbón activado obtenido mediante métodos fisicoquímicos para determinar su calidad.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la Investigación

Son muchas las investigaciones que se han realizado para obtener carbón activado a partir de precursores no convencionales. Específicamente con semillas, se han realizado estudios a partir de la guava, naranja, tamarindo, obo, uva, tomate, sésamo, entre otras. (Minerva, 2015, págs. 1-3) establece que una materia prima para considerarse como precursor debe cumplir con ciertas características, tales como bajo costo, disponibilidad, alto contenido de carbono, bajos contenidos de compuesto inorgánicos y la existencia de una porosidad natural. Según bibliografía consultada las semillas cumplen con dichas características. En el caso de las semillas de guava y obo se obtuvo un 0.3% (Largitte, Brudey, Tant, Dumesnil, & Lodewyckx, 2016, págs. 4-6), y 8.72% (Pereira, Veloso, & Bonomo, 2014, págs. 7-8) de cenizas respectivamente. Observándose, un porcentaje menor al 10% en estas semillas lo que comprueba el bajo nivel de compuestos inorgánicos que poseen en su estructura y que lo hace apto para obtener un carbón activado de calidad. Así mismo, el contenido de carbón fijo en las semillas de guava fue del 65.2%, resultado que es óptimo ya que es lo que conformará principalmente al CA.

En el proceso de activación química los agentes químicos ampliamente utilizados son: ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ), hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH). (Pereira, Veloso, & Bonomo, 2014, págs. 7-8) en su estudio comparó dos agentes activantes como son el ácido fosfórico y el cloruro de zinc en las semillas de obo y obtuvo como resultado que los rendimientos de las muestras impregnados con cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) fueron superiores al 20% de los que estaban impregnados con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) aunque cabe mencionar que las condiciones experimentales no fueron las mismas, es decir, la relación precursor-agente activante, temperatura y tiempo de activación variaron significativamente; lo cual es evidente ya que son variables que influyen directamente con la eficiencia del CA.

Por otro lado, existen estudios que muestran la activación química antes o después de la carbonización. Sin embargo, en su mayoría prefieren impregnar el agente activante antes de someterlo a carbonizar. Una investigación con semillas de *Choerospondias axillaris* usaron NaOH como agente activante en relación 1:1 antes de someterlo al proceso de carbonización variando la temperatura (400, 500, 600 y 700°C) y tiempo (3, 4 y 5 h) de carbonización (Sahira, y otros, 2015, págs. 894-900). Otro estudio con semillas de jocote, de manera similar, activa el precursor con  $ZnCl_2$  y  $H_3PO_4$  en relación de masa 1:2 y 1:1 a 25 y 80°C respectivamente durante 30 min con agitación

constante antes de someterlo al horno de mufla para su carbonización durante 40 min y a temperatura de 500°C con una velocidad de calentamiento de 5 °C min<sup>-1</sup>.

El rango de carbonización según revisión bibliográfica se maneja en el rango de 400-600°C por activación química en cuanto a semillas se trata; ya que existe una investigación de la biomasa de caña que expone que a partir de 400°C solo la celulosa y hemicelulosa se depolimerizan en unidades más pequeñas para dar origen a una gran masa rica en carbono, ya que la lignina se descompone a temperaturas mayores (Colpas, Tarón, & González, 2017, págs. 62-72). Esta lignina es importante que se pueda hidrolizar con el agente activante ya que conduce al aumento de propiedades texturales como el área superficial específica y la porosidad (Gao, y otros, 2016, pág. 94).

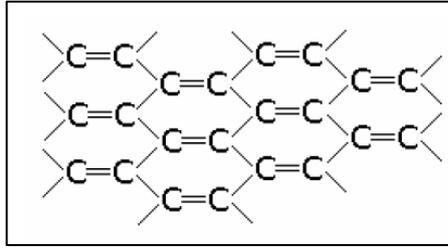
## **1.2. Marco Conceptual o Glosario**

### **1.2.1. Carbón activado**

El carbón activado cuya composición química es C (carbono), se considera a nivel macroscópico una estructura amorfa de la modificación alotrópica del grafito. Sin embargo, ni es un producto químicamente definido como ciertos autores lo indican, ya que en la mayoría de los casos están presentes heteroátomos, como pueden ser H, O, N, P Y S (dependiendo del proceso de activación y del precursor), ni estructuralmente es tan amorfo (Minerva, 2015, pág. 7).

El hablar de carbón activado hace referencia a un carbón poroso dispuesto artificialmente a través de un proceso de carbonización, donde muestran nivel alto de porosidad y superficie interna. Es el resultado de la transformación de un carbón amorfo, el cual se le ha realizado un tratamiento de activación con la finalidad de extender el área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos, pudiendo alcanzarse áreas de 1200 -1500 m<sup>2</sup>/g de carbón (Universidad de Sevilla, 2015, pág. 4). Adicionalmente, el carbón activado muestra propiedades específicas de gran interés como pueden ser la resistencia al ataque ácido, estabilidad térmica, carácter hidrófobo, bajo costo y especialmente una buena porosidad en su estructura (Ioannidou & Zabaniotou, 2007, pág. 1966), generando así, un aumento masivo de investigaciones en la producción y aplicación de este producto.

La diferencia fundamental entre el carbón amorfo y carbón activado se encuentra en la estructura, o acomodo de sus átomos. En el caso de este último, se representan combinados formando placas graníticas y se muestran en la figura 1-2.



**Figura 1-1:** Estructura del carbón activado

Fuente: (De Voys, 2018).

Como se observa, las placas se presentan de manera separadas y poseen diferentes orientaciones, dejando espacios entre ellas, a los que se les nombra poros, dándole al CA su principal particularidad: gran nivel de área superficial, y, por ende, una ventajosa capacidad adsorbente.

### 1.2.2. Adsorción en carbón activado

La adsorción es un método superficial que implica la acumulación o concentración de sustancias en una interfase o superficie. El compuesto que es adsorbido se le denomina adsorbato y la etapa donde sucede la adsorción se le conoce como adsorbente (Salam, Ewais, & Basaleh, 2017, pág. 835). De esta manera, el carbón activado es el mejor adsorbente gracias a su vasta área específica, amplia distribución de micro y mesoporos y su elevado nivel de reactividad superficial atribuido a la existencia de grupos funcionales oxigenados, que juegan un papel fundamental debido a que tienen la posibilidad de actuar como sitios de anclaje del metal precursor a lo largo de su impregnación y como sitios activos por sus características ácido-base o redox (Leyva, 2007, pág. 167).

Su capacidad adsorbente está favorecida por la estructura porosa y la interacción que tiene con los adsorbatos polares y no polares. En estas cuestiones, la fijación al carbono de heteroátomos, primordialmente hidrógeno y oxígeno, forman grupos funcionales tipo carbonilos, lactosas, ácido carboxílico, etcétera., que aumentan la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente brindando un carácter ácido-base al carbón (Universidad de Sevilla, 2015, pág. 17).

Como es de esperarse, a nivel aplicativo se usa en procesos de adsorción, como puede ser la purificación de agua, recuperación de solvente e iones metálicos, eliminación de sabor y olor del agua, entre otros, siendo este material el adsorbente más utilizado en todo el mundo (Nieto-Delgado, 2010, pág. 15).

### 1.2.3. Propiedades físicas y químicas del carbón activado

El carbón activado a pesar de tener dominios cristalinos con cierto grado de ordenamiento son materiales macroscópicamente desordenados. Tanto el entrecruzamiento y la ordenación aleatoria

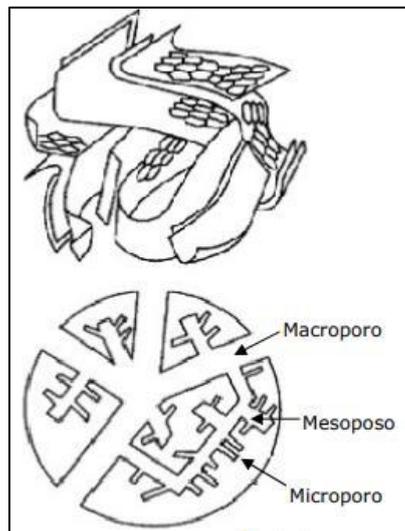
de las capas permiten al CA desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a 1500 m<sup>2</sup>/gr o más, haciéndolo sumamente atrayente para los procesos de adsorción (González, 2017, pág. 18). Asimismo, al ejecutar la activación del carbón se desaparece carbono de los espacios situados entre las formaciones cristalográficas compuestos de carbono no organizado, creando numerosos y pequeños espacios entre las partículas denominadas poros, lo que causa que estos materiales posean una gran superficie interna en comparación con la superficie externa (Rodríguez-Reinoso, 2002, pág. 1766).

El carbón activado se puede clasificar de acuerdo con su dimensión, en microporos, mesoporos y macroporos, y de acuerdo con su función, en poros de transporte y poros de adsorción. La nomenclatura IUPAC clasifica a los poros según su diámetro, tomando como referencia la boca del poro (Sing, y otros, 1985, pág. 605) y estos son:

- Microporos: DP < 2 nm
- Mesoporos: 2 < DP < 50 nm
- Macroporos: DP > 50 nm

Donde:

DP: diámetro de poro

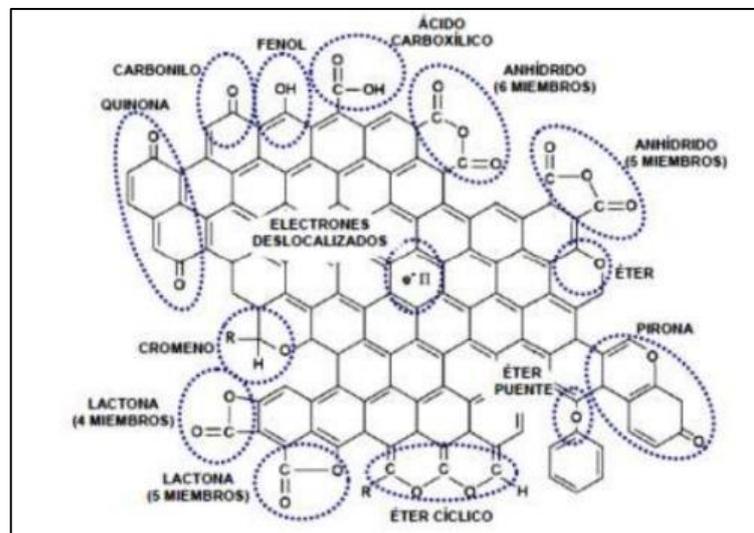


**Figura 1-2:** Gránulo de carbón activado y su ramificación de poros.

**Fuente:** (De Voys, 2018).

En la figura 2-2 se muestra que los mesoporos y los macroporos se encuentran ubicados en la superficie externa del material, responsable de menos del 10% de la superficie específica; éstos son los denominados poros de transporte y aunque proporcionan poca influencia en la capacidad del carbón, limita la cinética o velocidad a la que se lleva a cabo la adsorción. Por su parte, la superficie interna que engloba todos los poros, cavidades y grietas en las paredes que sean

profundas y disponibles a la adsorción, son los microporos, componentes principales de la superficie interna de un CA, responsables del 90% restante de la superficie específica que conforma parte fundamental de la capacidad de adsorción del material (Sing, y otros, 1985, pág. 612). Entre sus propiedades químicas, el CA está formado en su mayoría por átomos de carbono, en torno a un 87-97 %. El resto del porcentaje envuelve heteroátomos como hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno procedentes del agente precursor, o agregados durante el proceso de preparación. Dependiendo del tipo de grupos funcionales superficiales que contenga la materia precursora se definirá tanto sus propiedades ácido-base como sus propiedades hidrofóbicas. Los grupos oxigenados son los más distinguidos y abundantes en la superficie del carbón (Zhang, Guigao, & Jinhua, 2017, pág. 17). Dichos grupos están formados como resultado de la reacción química entre los centros activos del carbón con oxígeno procedente del precursor o de cualquier otro agente oxidante presente en el medio de reacción. La porción y naturaleza de estos grupos cambia en función del nivel de oxidación (Radovic, y otros, 1997, pág. 1343). En la Figura 3-2 se presentan los diversos grupos superficiales oxigenados que puede presentar un carbón activo.



**Figura 3-2:** Grupos oxigenados en la superficie de un carbón activo

Fuente: (Rey - Barroso, 2010).

Los grupos superficiales tipo lactonas, ácidos carboxílicos, anhídridos o fenoles confieren carácter ácido al carbón activo (Leon, Solar, Calemma, & Radovic, 1992, pág. 807). Por su parte, la existencia de grupos superficiales tipo pironas, quinonas y cromenos, le confieren un carácter básico. Comúnmente, la superficie del carbón activo es de carácter hidrófobo. Sin embargo, la presencia de grupos superficiales oxigenados, como ácidos carboxílicos o fenólicos, confieren un carácter hidrofílico a la superficie del CA, ya que se favorece la formación de enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua (Zhang, Guigao, & Jinhua, 2017, pág. 21). Intuitivamente, se puede concluir que un carbón de tipo básico será preferible para la adsorción de compuestos ácidos que

un carbón de tipo ácido y viceversa (Lopez-Ramon, Stoeckli, Moreno-Castilla, & Carrasco-Marin, 1999, pág. 1213).

#### **1.2.4. Fuentes de obtención de carbón activado**

Para la elaboración de carbón activo se puede aprovechar como precursor prácticamente cualquier materia orgánica, debido al elevado contenido de carbono que muestra en su estructura. Los más empleados son de naturaleza lignocelulósica. También se emplea antracita, carbón graso, turba, huesos, lodos, plásticos, breas, neumáticos, etc. La elección para seleccionar el precursor estará dada en función de su disponibilidad, precio y pureza (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006, pág. 455). Es por tal razón que los desechos agroindustriales ganan terreno como posibles precursores en la preparación de CA, ya que, al ser desechos que se retiran de los procesos industriales tiene bajo costo y su disponibilidad sólo depende de las alternativas de reutilización que tengan este desecho en la industria.

##### ***1.2.4.1. Biomasa como precursor del carbón activado***

Los precursores lignocelulósicos se caracterizan a través de su contenido de volátiles, cenizas, carbón fijo y humedad; en donde ésta última es el agua que retiene el material intrínsecamente en condiciones normales, las cenizas son la fracción de materia inorgánica presente originariamente en el precursor, los volátiles son la fracción de materia orgánica que se puede eliminar por tratamientos térmicos y que están compuestos principalmente por la materia vegetal del precursor como lo son la lignina y la celulosa. Y finalmente el contenido de carbón fijo que es el que conformara principalmente el CA. A partir de estas particularidades se define un precursor del cual se obtendrá un carbón de alta pureza, a aquel que cumpla con ser un sólido microparticulado con humedad <10%, cenizas entre 1 y 3% y porcentaje máximo de volátiles esperados de 60% (Rodríguez-Reinoso, Heintz, & Marsh, 1997, pág. 4).

Todos los precursores presentan características únicas, pero se ha evidenciado que precursores agroindustriales sostienen alrededor de un 45% de carbón fijo, tienen entre 40 y 60% de volátiles y contienen un bajo contenido de cenizas, entre 0,3 y 15%. A continuación, en la tabla 1-2 se observan una recopilación de datos, donde se muestran los porcentajes de humedad, carbono fijo, volátiles y cenizas de algunos desechos agroindustriales.

**Tabla 1-2:** Propiedades de precursores de desechos agroindustriales para la producción de carbón activado.

| <b>Precursor</b>    | <b>Humedad</b> | <b>Materia volátil</b> | <b>Cenizas</b> | <b>Carbono fijo</b> |
|---------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------|
| Lino                | 7.40           | 75.20                  | 1.80           | 15.60               |
| Cáscara de plátano  | 5.00           | 75.00                  | 10.00          | 10.00               |
| Cáscara de naranja  | 9.20           | 76.50                  | 3.10           | 20.40               |
| Tallo de uva        | 7.00           | 63.10                  | 8.70           | 21.20               |
| Semillas de jocote  | 9.10           | -                      | 8.70           | -                   |
| Semillas de guayaba | 6.50           | 28.80                  | 0.30           | 65.20               |

**Fuente:** (González-García, 2018).

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

Cabe destacar que conseguir bajos contenidos de cenizas son importantes para tener altos niveles de pureza (Vidal, Rodríguez, Martínez, Ocampo, & Barrios, 2018, pág. 411). Dentro de los elementos que se encuentran generalmente en las cenizas de precursores agrícolas están: Mg, S, Si, Al, Na, K, Ca, y Fe, donde éste último se ha demostrado que tiene una influencia próspera en la adsorción de arsénico debido a su afinidad eléctrica (Arcibar-Orozco, Rios-Hurtado, & Rangel-Mendez, 2014, pág. 203) .

### **1.2.5. Método por activación química**

La activación química se basa en la reacción que existe entre la materia precursora del CA y el agente activante; la extensión de dicha reacción depende de factores como la temperatura, el tiempo de activación y la concentración de los reactivos, (Suárez, 2019, pág. 13). Este proceso se da en dos etapas; la etapa inicial, consiste en la impregnación química del precursor con una disolución concentrada del agente activante; luego, la mezcla se somete a un proceso pirolítico generando simultáneamente la carbonización y activación de la materia orgánica (Molina-Sabio, Rodríguez-Reinoso, Caturla, & Sellés, 1995, pág. 1107).

Los agentes químicos más empleados en este proceso son el  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ , KOH, NaOH, etc.; los dos primeros provocan un hinchamiento en las partículas durante el proceso de impregnación, ya que la degradación de la celulosa y la lignina está catalizada por ácidos. Sin embargo, a pesar de generar un gran desarrollo de la microporosidad, hay que tener en cuenta que, el agente  $ZnCl_2$  causa una microporosidad de tamaño uniforme y confiere un pequeño desarrollo de la

mesoporosidad, y el agente  $H_3PO_4$  muestra una distribución de tamaño de poros más heterogénea (Suárez, 2019, pág. 15).

### **1.2.6. Técnicas de caracterización del carbón activado**

La caracterización de las muestras de carbón activado obtenido se realiza mediante las técnicas analíticas e instrumentales que se detallan a continuación.

#### ***1.2.6.1. Análisis Proximal***

El análisis próximo o proximal es una de las técnicas de análisis térmico. Se trata de técnicas analíticas en las que se mide una propiedad física con una variación de temperatura programada. En este caso, la propiedad medida es el peso. El análisis próximo proporciona un enfoque para estimar el contenido de humedad, materia volátil, carbono fijo y ceniza. Existen algunos métodos estándar (por ejemplo, ASTM, DIN, UNE) que se manejan para caracterizar el CA. Las medidas de humedad se refieren a la materia volatilizada hasta cerca de 100 °C en una atmósfera inerte, principalmente agua. La materia volátil se determina mediante el mismo procedimiento, pero en un rango de temperatura de 100 a 950°C. El carbono fijo es el material que se quema en el aire a 950°C en un tercer paso y está hecho de las estructuras orgánicas más estables. Por último, la materia no combustible es la ceniza. La representación del peso frente a la temperatura (o tiempo) también brinda información sobre la estabilidad térmica del carbón activado (Manosalva, 2019, pág. 25).

#### ***1.2.6.2. Área Superficial***

Esta técnica es usada para determinar y comparar las propiedades texturales de los diferentes CA obtenidos, como el área superficial, el ancho promedio de poros, entre otras. Se realiza la adsorción de  $N_2$  a 77K de temperatura y se hacen estudios multipunto para obtener el área superficial BET (Beraldi & Pellegrini, 2017, pág. 8).

#### ***1.2.6.3. Espectroscopía infrarroja (FTIR)***

La espectroscopía infrarroja es una técnica analítica ampliamente utilizada que identifica y semi-cuantifica los grupos funcionales existentes en el carbón activado. Para la obtención de los espectros IR se necesita de un espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier donde la muestra de carbón activado se instale directamente sobre el propio cristal y se presione ligeramente para llevar a cabo el análisis (Martínez, 2012, pág. 17).

#### ***1.2.6.4. Densidad Aparente***

La densidad aparente de un carbón activado se refiere al peso por unidad de volumen de ese carbón activado seco en el horno. El espacio poroso es parte del volumen de carbón activado medido en la densidad aparente; pero el CA tiene que ser secado en horno en el laboratorio para sacar el agua de los poros antes de pesarlo, para lo cual es necesario primero obtener la cantidad de humedad que poseen los mismos. Generalmente, la densidad aparente se expresa en g/cm y se determina en un cilindro para medir el peso que ocupa en un volumen conocido (Marcano, 2020, pág. 292).

#### ***1.2.6.5. Índice de Yodo***

El carbón posee una propiedad muy característica que se basa en las fuerzas de Van der Waals haciendo que se pueda medir el “poder de adsorción”. Este fenómeno ocurre en las moléculas de una fase fluida, líquida o gaseosa con capacidad de adherirse en la superficie de un sólido, generando una atracción en la interfase sólido-fluido, es definitiva, son los mg de yodo que son adsorbidos en 1 g de carbón, cuando la concentración del yodo residual filtrado es de 0.02N.

Esta prueba ha sido tan bien aceptada, que el costo de la mayoría de carbón activado estándar que se comercializan son dependientes en gran medida de su valor. Esta variable fue admitida por dos motivos; la primera, es porque en experimentaciones realizadas donde el carbón fue activado bajo determinadas condiciones, el número de yodo demostró ser relativamente proporcional al área superficial del carbón; y segundo, porque el uso de reactivos y materiales son económicos, y su tiempo de ejecución en el análisis es relativamente corto (Togores, 2018, pág. 52).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Planteamiento de las Hipótesis

##### 2.1.1. Hipótesis General

La obtención de carbón activado mediante activación química usando como precursor la semilla de guanábana cumplirá con características equiparables a las de carbón activado comercial.

##### 2.1.2. Hipótesis Específicas

H1: Las semillas de guanábana cumplirá con las propiedades de tener un bajo porcentaje en cenizas y alto contenido de carbono que las definirá como un precursor idóneo.

H2: Existirán diferencias en las propiedades texturales del carbón activado obtenido mediante activación con cloruro de Zinc ( $ZnCl_2$ ) y ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ).

H3: Las propiedades fisicoquímicas del carbón activado obtenido son mejores que las del carbón activado comercial.

#### 2.2. Identificación de Variables

Tabla 2-2: Identificación de Variables.

| Proceso                                  | Variables Independientes   | Variables Dependientes   |
|--|--|--|
| ACTIVACIÓN Y CARBONIZACIÓN DEL PRECURSOR | Tipo de agente activante ( $ZnCl_2$ ) y ( $H_3PO_4$ ).<br>Concentración del agente activante.<br>Relación en masa del precursor y el activante.<br>Temperatura de activación entre el precursor y el agente químico.<br>Tiempo de activación del carbón activado.<br>Temperatura de carbonización. | Área superficial del carbón activado.<br>Porcentaje de yodo fijado en el CA.<br>pH del carbón activado.<br>Densidad aparente.<br>Porcentaje de rendimiento del CA. |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.3. Operacionalización de Variables

**Tabla 3-2:** Operacionalización de las variables para el carbón activado.

| VARIABLE                             | TIPO DE VARIABLE | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | INDICADORES       | INSTRUMENTO DE MEDICIÓN                 |
|--------------------------------------|------------------|---|-------------------|---|
| Concentración del agente activante   | Independiente    | Cantidad de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> o ZnCl <sub>2</sub> utilizada en la solución para activar el CA. | % m/m             | Balanza, pipeta, balón de aforo.        |
| Temperatura de activación            | Independiente    | Temperatura a la cual se va a mantener el contacto del precursor con el agente activante.                   | °C                | Termómetro                              |
| Relación en masa                     | Independiente    | Relación de masa que existe entre el precursor y el agente activante.                                       | Gramos            | Balanza                                 |
| Tiempo de activación                 | Independiente    | Tiempo en que tarda impregnándose el agente activante en las semillas de guanábana.                         | Minutos           | Cronómetro                              |
| Temperatura de carbonización         | Independiente    | Temperatura a la que se somete las semillas trituradas.   | °C                | Reactor de pirólisis                    |
| Área superficial del carbón activado | Dependiente      | Cuantificación del área superficial del carbón activado.  | m <sup>2</sup> /g | Equipo de fisisorción de N <sub>2</sub> |
| Porcentaje de yodo fijado en el CA   | Dependiente      | Determina la calidad del carbón activado para adsorción.  | mg/g              | Estufa, balanza                         |
| pH del carbón activado               | Dependiente      | Determina el pH del carbón activado.  | pH                | pHmetro                                 |
| Densidad aparente                    | Dependiente      | Determina el volumen que contiene una determinada cantidad de carbón activado.                              | g/cm <sup>3</sup> | Balanza                                 |

|                                  |             |  |               |         |
|----------------------------------|-------------|--|---------------|---------|
| Porcentaje de rendimiento del CA | Dependiente | Compara el peso de la materia prima antes y después de carbonizar. | % rendimiento | Balanza |
|----------------------------------|-------------|--|---------------|---------|

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

## 2.4. Matriz de Consistencia

**Tabla 4-2:** Matriz de consistencia para el carbón activado.

| <b>ASPECTOS GENERALES</b>   |  |  |   |   |
|---|--|--|---|---|
| <b>PROBLEMA GENERAL</b>   |  | <b>OBJETIVO GENERAL</b>  | <b>HIPÓTESIS GENERAL</b>  |   |
| ¿Cómo obtener el carbón activado a partir de las semillas de guanábana utilizando el método por activación química? |  | Obtener carbón activado a partir de semillas de guanábana ( <i>Annona muricata</i> ) utilizando como método experimental la activación química para su respectiva caracterización. | La obtención de carbón activado mediante activación química usando como precursor la semilla de guanábana cumplirá con características óptimas de adsorción |   |
| <b>ASPECTOS ESPECÍFICOS</b>   |  |  |   |   |
| <b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>  | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>   | <b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>   | <b>VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>   | <b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |
| ¿Qué propiedades determinan a las semillas de guanábana como un precursor idóneo?                                   | Evaluar las propiedades de las semillas de guanábana mediante un análisis proximal para determinar el contenido de | H <sub>1</sub> : Las semillas de guanábana cumplirá con las propiedades de tener un bajo porcentaje en cenizas y alto contenido de   | % humedad<br>% cenizas<br>% materia volátil<br>% carbono fijo   | Análisis proximal                       |

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
|   | carbono y cenizas del precursor.  | carbono que las definirá como un precursor idóneo.  |   |  |
| ¿Cómo difiere la eficiencia del carbón activado al usar como agente activante $H_3PO_4$ y $ZnCl_2$ durante la activación química? | Obtener en el laboratorio carbón activado mediante activación química con $H_3PO_4$ y $ZnCl_2$ al 50% para evidenciar la eficiencia del CA usando estos dos agentes activantes. | H <sub>2</sub> : Existirán diferencias en las propiedades texturales del carbón activado obtenido mediante activación con cloruro de Zinc ( $ZnCl_2$ ) y ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). | Área superficial y tamaño de poro   | Fisisorción de N <sub>2</sub>  |
| ¿Qué técnicas instrumentales de caracterización pueden utilizarse para el carbón activado?  | Evaluar las propiedades del carbón activado obtenido mediante métodos fisicoquímicos para determinar su calidad.  | H <sub>3</sub> : Las propiedades fisicoquímicas del carbón activado obtenido son mejores que las del carbón activado comercial.   | % humedad<br>% cenizas%<br>materia volátil<br>% carbono fijo<br>Índice de yodo<br>Densidad aparente | Análisis proximal<br>Medidas con balanzas para el índice de yodo, densidad aparente. |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

## **2.5. Tipo y Diseño de Investigación**

La investigación es de tipo experimental debido a que lo que se desea analizar son los efectos que se producen al manipular variables como el tiempo y temperatura tanto en el proceso de activación como de carbonización en el rendimiento del carbón activado usando dos agentes químicos,  $H_3PO_4$  y  $ZnCl_2$ .

El diseño de investigación experimental fue organizado de la siguiente manera: Se realizaron tres tratamientos diferentes al duplicado para la activación química con el  $H_3PO_4$  y  $ZnCl_2$ , es decir, se obtuvieron un total de doce experimentos donde se fueron variando las variables independientes tanto en la activación química como en el proceso de carbonización para determinar en qué condiciones existe un mejor rendimiento del carbón activado.

## **2.6. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis dentro de la investigación son las semillas de guanábana que son desechadas de la empresa “Guanabita” ubicada en la ciudad de Guayaquil.

## **2.7. Población de Estudio**

La población de estudio es la *Annona muricata*, la semilla de guanábana de la familia Annonaceae.

## **2.8. Tamaño de la Muestra**

Se trabajó con un peso de 1200g, previo a la activación con agentes químicos y la carbonización.

## **2.9. Selección de Muestra**

Para la selección de la muestra se partió de la exclusividad de la investigación ya que el precursor no ha sido investigado antes; así se realizó un muestreo no probabilístico que está estructurado de la siguiente manera:

**Tabla 5-2:** Tratamientos que se van a realizar para la obtención del carbón activado.

| <b>Tratamiento 1</b>   |  |
|--|--|
| Activación y carbonización 1 con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>  | Activación y carbonización 1 con ZnCl <sub>2</sub>   |
| Tiempo de activación: 30 min<br>Temperatura de activación: 50 °C<br>Tiempo de carbonización: 60 min<br>Temperatura de carbonización: 400 °C  | Tiempo de activación: 30 min<br>Temperatura de activación: 50 °C<br>Tiempo de carbonización: 60 min<br>Temperatura de carbonización: 400 °C  |
| <b>Tratamiento 2</b>   |  |
| Activación y carbonización 2 con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>  | Activación y carbonización 2 con ZnCl <sub>2</sub>   |
| Tiempo de activación: 60 min<br>Temperatura de activación: 60 °C<br>Tiempo de carbonización: 50 min<br>Temperatura de carbonización: 450 °C  | Tiempo de activación: 60 min<br>Temperatura de activación: 60 °C<br>Tiempo de carbonización: 50 min<br>Temperatura de carbonización: 450 °C  |
| <b>Tratamiento 3</b>   |  |
| Activación y carbonización 3 con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>  | Activación y carbonización 3 con ZnCl <sub>2</sub>   |
| Tiempo de activación: 120 min<br>Temperatura de activación: 75 °C<br>Tiempo de carbonización: 40 min<br>Temperatura de carbonización: 500 °C | Tiempo de activación: 120 min<br>Temperatura de activación: 75 °C<br>Tiempo de carbonización: 40 min<br>Temperatura de carbonización: 500 °C |

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

Estos tres tratamientos se realizaron para el cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>) y ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) al duplicado, es decir, 12 procedimientos en total.

## **2.10. Técnicas de Recolección de Datos**

La investigación para la obtención de carbón activado estuvo compuesta por tres etapas para la obtención de datos: la primera etapa fue la caracterización de la materia prima que estuvo basada en un análisis proximal según las normas estandarizadas de cenizas, humedad, materia volátil y carbono fijo. La segunda etapa, fue la activación y carbonización para la obtención del carbón activado donde las condiciones de experimentación para cada tratamiento se fundamentaron según revisión bibliográfica con precursores semejantes (semillas) de otros tipos. Por último, la tercera etapa fue la determinación de las propiedades del carbón activado a partir de métodos fisicoquímicos que sirvieron para comprobar las hipótesis planteadas y obtener las conclusiones.

### 2.10.1. Análisis proximal del precursor

En la determinación de las características de la semilla de guanábana se realizó un análisis proximal debido a la importancia que tiene esta prueba para poder determinar el porcentaje de cenizas y carbono fijo que presenta el precursor. Para ello, se secó de manera natural durante 72 horas y trituro en un molino con un diámetro de salida de 0.5mm.



**Figura 4-2:** Secado de la semilla de guanábana. Diferencia entre la semilla seca y fresca (derecha).

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.



**Figura 5-2:** Triturado de las semillas de guanábana.

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.1.1. *Determinación de humedad*

El contenido de humedad presente en el precursor fue determinado por medio de gravimetría donde se tomaron distintos pesajes en una balanza analítica (OHAUS EXPLORER). Las cápsulas fueron taradas y pesadas (P) previamente, luego se colocó la cantidad de 1.5 g de semillas de guanábana triturada (P1) en la cápsula para llevarla a una estufa (Mettler SN75) precalentada a 105 °C durante 2 horas aproximadamente. Se sacó las muestras y se colocó en un desecador por 15 min hasta que se enfriaran para poder ser pesadas hasta obtener un peso constante (P2). Finalmente, se determinó el porcentaje de humedad siguiendo la siguiente ecuación establecida por la norma ASTM D 3173:

$$\%H = \frac{P1 - (P2 - P)}{P1}$$

**Ecuación 1-2:** Porcentaje de humedad

Donde:

P: cápsula vacía y tarada

P1: materia húmeda

P2: cápsula + materia seca



**Figura 6-2:** Determinación del contenido de humedad en el precursor

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.1.2. *Determinación de cenizas*

Para determinar el contenido de cenizas de las semillas de guanábana se usó 1 g (P1) de las mismas muestras que fueron usadas para la prueba de humedad. Para ello, se tararon y pesaron previamente los crisoles (P), se colocaron ya con las muestras en un reverbero (Haceb) y se

calcinaron hasta que dejara de desprender humo. Posteriormente se la llevó a una mufla (Thermolyne 1300) a una temperatura de 550 °C durante un periodo de 4 horas, se colocó en un desecador por 15 min y se pesó nuevamente (P2) en la balanza (OHAUS EXPLORER). Se calculó el porcentaje de cenizas según la ecuación que establece la ISO 749:1977:

$$\%C = \frac{P2 - P}{P1} * 100$$

**Ecuación 2-2:** Porcentaje de cenizas

Donde:

P: crisol vacío y tarado

P1: peso de muestra

P2: crisol + ceniza



**Figura 7-2:** Determinación del contenido de cenizas del precursor

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.1.3. *Determinación de materia volátil*

Los volátiles fueron determinados según la norma ISO 562. Se colocaron los crisoles sin muestra en la mufla (Thermolyne 1300) a 900 ° C ± 5 ° C durante 7 min; consecutivamente, se retiraron los crisoles y se dejaron enfriar sobre una placa metálica para luego ser colocados en el desecador por 15 min y pesados (P1). Se añadió 1g de muestra del precursor en los crisoles hasta que en el fondo se forme una capa uniforme (P2), nuevamente se llevó a la mufla por 7 min ± 5s se retiró, se dejó enfriar y pesó (P3). Por último, se calculó según la siguiente ecuación:

$$\%MV = \frac{100 - (P2 - P3)}{P2 - P1} - \%H$$

**Ecuación 3-2:** Porcentaje de materia volátil

Donde:

P1: peso del crisol vacío

P2: peso de crisol + muestra antes del calentamiento

P3: peso de crisol + muestra después del calentamiento

%H: porcentaje de humedad



**Figura 8-2:** Determinación del contenido volátil del precursor

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

#### **2.10.1.4. Determinación de carbono fijo**

Para la determinación del carbono fijo presente en el precursor se realizó la siguiente ecuación según la norma ASTM D 1762:

$$\% CF = 100 - (\%H + \%Cenizas + \%MV)$$

**Ecuación 4-2:** Porcentaje de carbono fijo

#### **2.10.2. Activación química con agentes activantes**

En general, la activación química fue llevada a cabo tanto con ácido fosfórico como con cloruro de zinc al 50% m/v de concentración y en relación de peso 1:2 con el precursor.

##### **2.10.2.1. Activación con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ )**

En el proceso de activación química se prepararon previamente las soluciones de ambos reactivos, colocándolos posteriormente 200g de este agente activante dentro de un Erlenmeyer de 250ml. Luego se pesó aproximadamente 100g del precursor en una balanza (HR-250AZ) y se trasvasó al Erlenmeyer. Se ubicaron las muestras dentro de un shaker (ESCO OrbiCult™) para mantener una

agitación constante que permita el contacto homogéneo y controlar la temperatura y tiempo de activación. Se sacaron las muestras y se colocaron en una estufa a 105°C por 24 horas.



**Figura 9-2:** Activación química con ácido fosfórico y cloruro de zinc

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.3. Carbonización del carbón activado

En la carbonización del material carbonoso se trabajó con un reactor de pirólisis tipo batch en atmósfera inerte. Se pesó el carbón activado en una bandeja y se colocó dentro del reactor. Luego, se inyectó nitrógeno gaseoso para desplazar el oxígeno y se seteo a la temperatura de trabajo determinada para cada muestra en un tiempo específico. Transcurrido el tiempo de carbonización, se dejó enfriar el reactor hasta una temperatura aproximadamente de 25 °C para poder sacar la muestra, caso contrario, la muestra tiende a oxidarse. Finalmente, se obtiene el carbón activado como producto final y se procede a pesar en una balanza analítica (RADWAG PS1000.3Y).



**Figura 10-2:** Carbonización en reactor de pirólisis

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

#### 2.10.4. Determinación del pH

Para la determinación del pH en las muestras de carbón activado se utilizó la norma ASTM D 3838. Se pesó 5g de carbón activado en una balanza (RADWAG PS1000.3Y) y se le añadió 15ml aproximadamente de agua destilada por cada muestra en un vaso de precipitación de 500ml. Luego se colocaron los vasos sobre un agitador magnético (HS-17) durante 30 min para homogenizar bien la mezcla hasta que hierva. Se retiraron los vasos y se procedió a tomar lectura del pH en el equipo (OAKTON PC 2700).



**Figura 11-2:** Determinación del pH en las muestras de carbón activado

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.5. Caracterización del carbón activado

Para la caracterización del carbón activado se siguieron los mismos procedimientos que se le dieron al precursor, siendo usadas las normas ASTM D 3173 para la humedad, ASTM D 3175 en los volátiles, ASTM D 5142 en el carbono fijo y ASTM D 3174-02 para las cenizas. Esta última, con la única diferencia de ir calentando gradualmente la muestra con 500 °C durante 1 hora hasta 750 °C las 3 horas restantes hasta peso constante.

### 2.10.6. Índice de yodo

La prueba de índice de yodo fue llevada a cabo según la norma NTE INEN 1988: 2013 donde previamente se prepararon las soluciones que se iban a utilizar como son la solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1N, solución estándar de yodo 0.1N, solución de almidón y ácido clorhídrico al 5%. Antes de iniciar la prueba se tuvo a las muestras de carbón activado durante 2 horas en la estufa (Memmert SN75) a 145 °C, luego se retiraron, enfriaron, y pesaron 2g en la balanza (ADAM PW254) para colocarlo dentro de un Erlenmeyer. Se añadieron 10ml de solución HCl al 5% y se agitó con una varilla para humedecer todo el carbón activo. Posteriormente, se colocaron los Erlenmeyer en un reverbero (TAURUS) hasta ebullición por 30 segundos. Se dejó enfriar y se añadió en su interior 100ml de solución estándar de yodo 0.1N, tapándolo de manera inmediata con papel de aluminio y agitándolo vigorosamente por 30 segundos. Se filtró el contenido y se descartaron los primeros 20ml, el resto del filtrado fue recogido y colocada la cantidad de 50ml en otro Erlenmeyer para comenzar la titulación con la solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1N y una gota de solución de almidón hasta que el color amarillo rojizo desaparezca. Se anotó el volumen gastado en la titulación y se calculó el índice de yodo según la siguiente ecuación:

$$N_r = N_2 * \frac{V}{50}$$
$$\frac{X}{M} = \frac{A - (2.2 * B * V)}{M}$$
$$A = N_1 * 12693.0$$
$$B = N_2 * 126.93$$
$$I_n = \frac{X}{M} * D$$

**Ecuación 5-2:** Índice de yodo

Donde:

X= mg de yodo, adsorbido por g de carbón activado

$N_1$ = normalidad de solución de yodo

$N_2$ = normalidad de solución de tiosulfato de sodio

$V$ = Volumen de solución de tiosulfato de sodio en ml

$D$ = factor de corrección, depende de normalidad del residuo filtrado  $N_r$ .

NOTA: el factor  $D$  es aplicado si  $N_r$  está entre 0.008 Y 0.0334N. Para ello, existe una tabla del factor  $D$  que va de 1.1625 a 0.925. Si  $N_r$  está fuera del rango de 0.008 y 0.0334N debe repetirse, con una cantidad más grande si  $N_r > 0.0334$  o una cantidad menor si  $N_r < 0.008$ .



**Figura 12-2:** Determinación del índice de yodo en las muestras de carbón activado

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.7. Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente fue determinada a partir de la norma ASTM D 2854. Se utilizó una balanza (AS 220.R2 PLUS) para pesar una probeta de 10ml (P), luego se colocó un embudo sobre la probeta para trasvasar cuidadosamente las muestras de carbón en su interior hasta completar la línea de aforo, dándole pequeños golpes que permitieron rellenar el cilindro de manera compacta. Se anotó el peso final y se calculó la densidad aparente siguiendo la siguiente ecuación:

$$\%DA = \frac{P2 - P}{10} * \left(1 - \frac{\%H}{100}\right)$$

**Ecuación 6-2:** Porcentaje de densidad aparente.

Donde:

P2-P: masa del carbón

%H: porcentaje de humedad



**Figura 13-2:** Determinación de la densidad aparente en carbón activado

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.8. Determinación de grupos funcionales oxigenados

El equipo utilizado para determinar los grupos funcionales oxigenados presentes en las muestras de carbón activado fue un espectrofotómetro IR de la marca JASCO FT/IR-4100 el cual detectaba señales de vibración que se reflejan a través de la pantalla mediante el software Quick start system. Previamente, se eligieron dos muestras representativas tanto para el carbón activado con cloruro de zinc y ácido fosfórico. Ambas muestras se secaron en la estufa (Memmert SN75) por dos horas aproximadamente a 110°C. Se limpió el equipo antes de usar y se colocaron la muestra. Se compactó bien la muestra sobre el cristal y se procedió a hilar hacia delante el tornillo de ajuste para finalmente analizar e identificar los picos más relevantes de la muestra en el espectro.



**Figura 14-2:** Determinación de los grupos funcionales oxigenados del carbón

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### 2.10.9. Determinación del área superficial del carbón activado

En la determinación del área superficial se trabajó únicamente con los mejores tratamientos obtenidos en la prueba de índice de yodo y densidad aparente tanto para el carbón activado con

ácido fosfórico y cloruro de zinc. Este análisis fue determinado por el grupo de ingeniería de reactores, catálisis y tecnologías del medio ambiente de la Universidad de Cuenca.

Para el procedimiento se usó el equipo de fisisorción (NOVA quantachrome2200 Surface Area and Pore Size Analyzer) donde se sometió la muestra al vacío con una temperatura 300°C durante 24 horas para generar una desgasificación del material y así eliminar mediante evaporación cualquier sustancia gas presente. Finalmente, se adsorbió según los espacios que dejan las sustancias gas por N<sub>2</sub>, es decir, los espacios que quedaron libres o vacíos fueron ocupados por el nitrógeno gaseoso.



**Figura 15-2:** Equipo de fisisorción para determinar el área superficial.

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Resultados obtenidos de la caracterización de las semillas de guanábana (*Annona muricata*)

Para la caracterización de las semillas de guanábana fueron realizadas las pruebas de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo.

En la prueba de humedad se trabajó con una muestra de 1.52 g del precursor que fue colocada en una cápsula tarada de 98.80g, obteniéndose un peso final de 100.21g de muestra seca. Por lo tanto, según la ecuación 1-2 el porcentaje de humedad contenido en las semillas de guanábana fue:

##### Cálculo del % H

$$\%H = \frac{1.52 - (100.21 - 98.80)}{1.52} * 100 = 7.24$$

En la determinación del porcentaje de cenizas se utilizó la misma muestra de 1.52g que fue utilizada para determinar el contenido de humedad en la cápsula tarada de 98.80 g, obteniéndose como peso final de la muestra seca 98.81g. Según la ecuación 2-2 el contenido de cenizas fue:

##### Cálculo del % Cenizas

$$\% \text{Cenizas} = \frac{98.81 - 98.80}{1.52} * 100 = 0.66$$

Para la determinación de materia volátil se usó un crisol tarado de 55.75g donde se colocó 1g de muestra del precursor y se obtuvo finalmente de muestra seca 55.87g. Según la ecuación 3-2 el porcentaje de materia volátil fue:

##### Cálculo del % MV

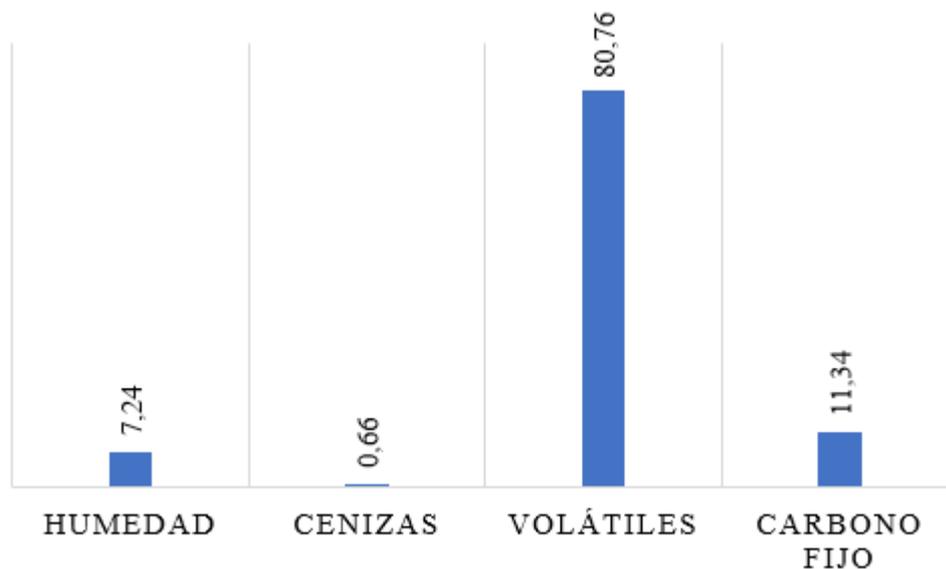
$$\% MV = \frac{100 * (55.75 + 1.00) - 55.87}{(55.75 + 1.00) - 55.75} - 7.24 = 80.76$$

El contenido de carbono fijo como se mencionaba anteriormente en la ecuación 4-2 fue calculado a partir de los resultados obtenidos en la prueba de humedad, cenizas y volátiles, obteniéndose así:

$$\% CF = 100 - (\%7.24 + \%0.66 + \%80.76)$$

$$\% CF = 11.34$$

A continuación, se muestra un gráfico que refleja el contenido de humedad, cenizas, volátiles y carbono fijo que presentó el precursor:



**Gráfico 1-3:** Resultado del Análisis Proximal de las semillas de guanábana

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

En el gráfico 1-3 se evidencia que este precursor mostró un contenido relativamente bajo de humedad de 7.24% lo que significa que no absorbe gran cantidad de agua del ambiente; 0.66 % de cenizas que confirmaron la casi inexistencia de contenido inorgánico y que le confieren alto nivel de pureza (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006, pág. 507); la materia volátil de 80.76% es un valor alto y típico de la biomasa ya que está compuesto principalmente por alquitranes e hidrocarburos livianos (Singh & Shadang, 2011, pág. 2540). Por último, el contenido de carbono fijo de 11.34% está influenciado por la cantidad de cenizas y volátiles del material por lo cual hay que sopesar la influencia de estos parámetros en las muestras de carbón activado obtenidas. En primera instancia, si presenta la capacidad de desarrollar una estructura microporosa (González, 2017 , pág. 21).

### 3.2. Rendimiento durante la activación y carbonización del carbón

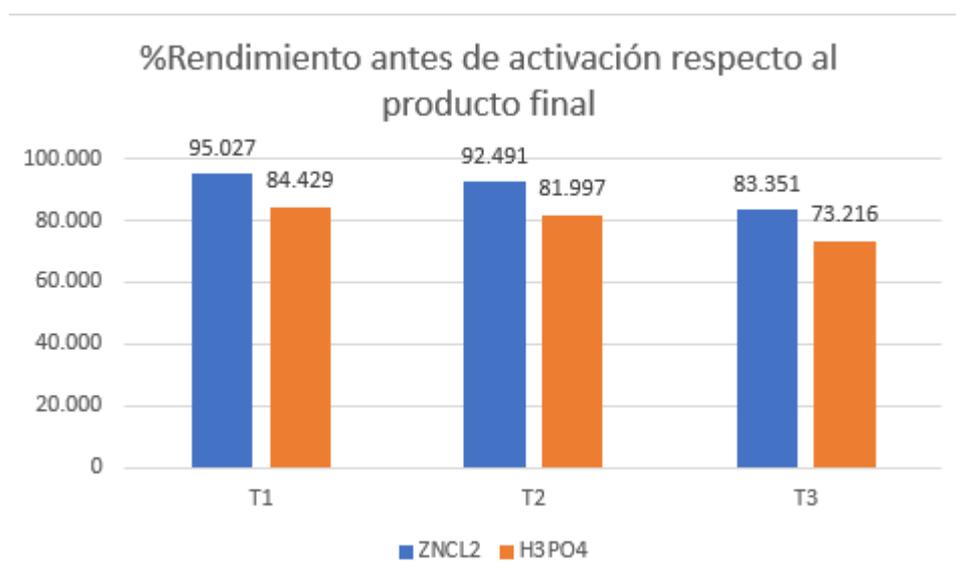
Para determinar el rendimiento se tomó en cuenta dos cuestiones: el rendimiento que se tiene en el proceso, es decir, la relación que se tiene en el peso antes de la activación y el producto final; y segundo, el rendimiento únicamente en el reactor de pirólisis (peso antes y después de colocarse en el reactor).

**Tabla 6-3:** Rendimiento del carbón activado antes de ser activado con relación al producto final.

| Condiciones de trabajo durante la activación y carbonización del precursor |                                | Agente activante               | Peso inicial | Peso final | %Rendimiento |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------|------------|--------------|
| T1   | Tiempo activación [min]        | ZnCl <sub>2</sub>              | 100.1405     | 95.161     | 95.027       |
|  | Temperatura activación [°C]    |                                |              |            |              |
|  | Tiempo carbonización [min]     | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 100.5284     | 84.8754    | 84.429       |
|  | Temperatura carbonización [°C] |                                |              |            |              |
| T2   | Tiempo activación [min]        | ZnCl <sub>2</sub>              | 100.2202     | 92.6946    | 92.491       |
|  | Temperatura activación [°C]    |                                |              |            |              |
|  | Tiempo carbonización [min]     | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 100.2679     | 82.2166    | 81.997       |
|  | Temperatura carbonización [°C] |                                |              |            |              |
| T3   | Tiempo activación [min]        | ZnCl <sub>2</sub>              | 100.5678     | 83.8246    | 83.351       |
|  | Temperatura activación [°C]    |                                |              |            |              |
|  | Tiempo carbonización [min]     | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 100.6952     | 73.7246    | 73.216       |
|  | Temperatura carbonización [°C] |                                |              |            |              |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Se observa en la tabla 6-3 que bajo las condiciones del tratamiento 1 se obtuvieron mejores rendimientos en el proceso, siendo estos valores eficientes de 95.027% y 84.429% para el  $H_3PO_4$  y  $ZnCl_2$  respectivamente, habiendo menos pérdida de materia en este último; ya que como lo expresa (Gao, y otros, 2016, pág. 395) al impregnarse ácido fosfórico se facilita la descomposición de la lignina y por ende el proceso de carbonización, dejando en evidencia que el ácido ofrecerá mayor pérdida en el peso pero mejores propiedades texturales como también ocurre tanto en el tratamiento 2 y 3. A continuación, se muestra gráficamente el rendimiento que tuvo cada tratamiento:



**Gráfico 2-3:** Rendimiento del carbón activado.

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Ahora, el rendimiento que existe según el peso a la entrada y salida en el reactor de pirólisis se reflejan en la tabla 7-3:

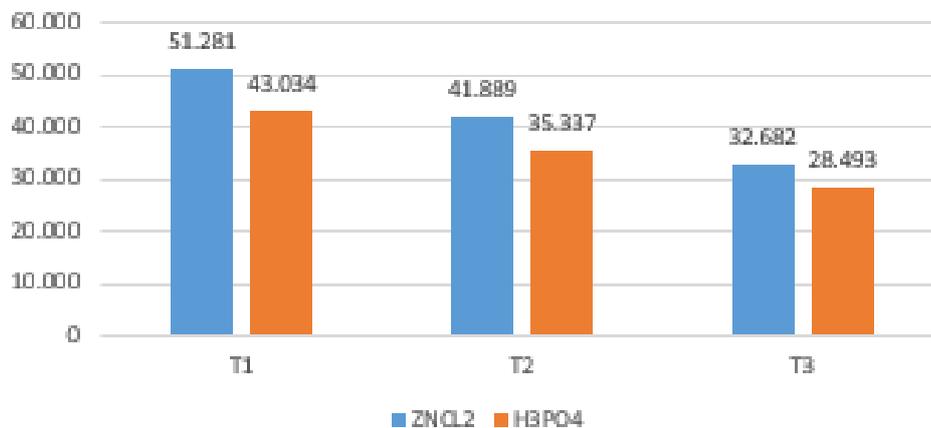
**Tabla 7-3:** Rendimiento del carbón activado en el reactor de pirólisis durante su carbonización (antes y después de someterse al reactor).

| Condiciones de trabajo durante la activación y carbonización |                             |    | Agente activante | Peso inicial | Peso final | %Rendimiento |
|--|-----------------------------|----|------------------|--------------|------------|--------------|
| T1   | Tiempo activación [min]     | 30 | $ZnCl_2$         | 50.000       | 25.499     | 50.998       |
|  | Temperatura activación [°C] | 50 | $ZnCl_2$         | 135.100      | 69.662     | 51.564       |

|    |                                |     |                                |          |        |        |
|----|--------------------------------|-----|--------------------------------|----------|--------|--------|
|    | Tiempo carbonización [min]     | 60  | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 50.000   | 21.967 | 43.933 |
|    | Temperatura carbonización [°C] | 400 | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 149.300  | 62.909 | 42.136 |
| T2 | Tiempo activación [min]        | 60  | ZnCl <sub>2</sub>              | 50.000   | 21.032 | 42.065 |
|    | Temperatura activación [°C]    | 60  | ZnCl <sub>2</sub>              | 171.800  | 71.662 | 41.713 |
|    | Tiempo carbonización [min]     | 50  | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 100.000  | 36.162 | 36.162 |
|    | Temperatura carbonización [°C] | 450 | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 133.4433 | 46.054 | 34.512 |
| T2 | Tiempo activación [min]        | 60  | ZnCl <sub>2</sub>              | 50.000   | 15.462 | 30.925 |
|    | Temperatura activación [°C]    | 60  | ZnCl <sub>2</sub>              | 198.500  | 68.362 | 34.439 |
|    | Tiempo carbonización [min]     | 50  | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 50.000   | 14.762 | 29.525 |
|    | Temperatura carbonización [°C] | 450 | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 196.500  | 53.962 | 27.462 |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

### %Rendimiento del carbón activado en reactor de pirólisis



**Gráfico 3-3:** Rendimiento del carbón activado al ingresar y salir del reactor de pirólisis

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Se observa que para el ZnCl<sub>2</sub> los valores promedios son de 51.281, 41.889, 32.682% para el cloruro de zinc y 43.034, 35.337, 28.493 para el ácido fosfórico según el T1, T2 y T3

respectivamente, notándose que los valores con  $H_3PO_4$  siguen siendo inferiores al  $ZnCl_2$  afirmándose que el ácido fosfórico por ser un ácido y descomponer la lignina ofrece mayor pérdida de peso como se mencionaba anteriormente. Además, se observa un comportamiento decreciente en cada tratamiento siendo el T3 de menor rendimiento para ambos casos, lo que supone que estas variaciones dependen básicamente de las temperaturas de trabajo como lo menciona (Panduro-Carbajal, 2012, pág. 11) aclarando que el rango ideal es de 400-450 °C a fin de regular la conversión del combustible en materia volátil, el rendimiento y carbono fijo.

### 3.3. Análisis proximal del carbón activado

Los resultados del análisis proximal realizado al carbón activado fueron calculados siguiendo las mismas ecuaciones que para el precursor. Mostrándose los siguientes resultados:

#### 3.3.1. Humedad

**Tabla 8-3:** Resultados de la humedad en el carbón activado.

| Tratamientos | Peso cápsula tarada | Peso muestra | Peso de muestra seca | %H   |
|--------------|---------------------|--------------|----------------------|------|
| T1 $ZnCl_2$  | 82.19               | 1.03         | 83.21                | 1.35 |
| T2 $ZnCl_2$  | 46.67               | 1.03         | 47.68                | 1.52 |
| T3 $ZnCl_2$  | 61.59               | 1.09         | 62.67                | 1.20 |
| T1 $H_3PO_4$ | 45.10               | 1.08         | 46.17                | 1.51 |
| T2 $H_3PO_4$ | 47.26               | 1.08         | 48.33                | 1.95 |
| T3 $H_3PO_4$ | 44.29               | 1.28         | 45.55                | 1.82 |

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

En la tabla 8-3 se observa que las muestras de carbón activado obtenidas no adsorben gran cantidad de agua del ambiente; sin embargo, esto depende también del tiempo de contacto que se encuentre el carbón activado con el medio y por ende el tipo de almacenamiento. El tratamiento 2 y 3 impregnados con ácido fosfórico son las muestras que más poseen humedad en su interior llegando a valores del 2%.

### 3.3.2. Cenizas

**Tabla 9-3:** Resultado del porcentaje de cenizas en el carbón activado.

| Tratamientos                      | Peso crisol tarado | Peso muestra | Peso de muestra seca | %Cenizas |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|----------|
| T1 ZnCl <sub>2</sub>              | 39.08              | 1.03         | 39.33                | 23.69    |
| T2 ZnCl <sub>2</sub>              | 24.77              | 1.03         | 25.04                | 25.58    |
| T3 ZnCl <sub>2</sub>              | 11.71              | 1.09         | 11.97                | 23.22    |
| T1 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 35.30              | 1.11         | 35.64                | 31.47    |
| T2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 32.64              | 1.08         | 32.94                | 27.41    |
| T3 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 33.53              | 1.14         | 33.81                | 24.11    |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

El comportamiento que se observa en la tabla 9-3 demuestra porcentajes muy altos de cenizas comparados al carbón activado comercial que es de 12% llegando incluso a casi triplicar su valor y esto es debido a los tratamientos térmicos prolongados y a las altas temperaturas.

### 3.3.3. Materia volátil

**Tabla 10-3:** Resultados del porcentaje de materia volátil en el carbón activado.

| Tratamientos                      | Peso crisol tarado | Peso muestra | Peso de muestra seca | %MV    |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------|
| T1 ZnCl <sub>2</sub>              | 39.0811            | 1.1959       | 39.7001              | 46.894 |
| T2 ZnCl <sub>2</sub>              | 24.7748            | 1.02         | 25.3038              | 46.613 |
| T3 ZnCl <sub>2</sub>              | 11.713             | 1.0109       | 12.3482              | 35.962 |
| T1 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 35.295             | 1.1957       | 36.1983              | 22.940 |
| T2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 32.6416            | 1.0514       | 33.3048              | 34.976 |
| T3 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 33.5308            | 1.0264       | 34.2483              | 28.278 |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

En la tabla 10-3 se observa valores que van de 36-47% en el caso del cloruro de zinc y 23-35% con el ácido fosfórico. En ambas situaciones, son valores muy altos que se presentan debido a la alta temperatura a la que fue sometido el material lo cual también explica el bajo contenido de carbono fijo.

### 3.3.4. Carbono fijo

**Tabla 11-3:** Resultados obtenidos del porcentaje de carbono fijo.

| Tratamientos                      | % CF  |
|-----------------------------------|-------|
| T1 ZnCl <sub>2</sub>              | 28.07 |
| T2 ZnCl <sub>2</sub>              | 26.28 |
| T3 ZnCl <sub>2</sub>              | 39.62 |
| T1 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 44.08 |
| T2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 35.67 |
| T3 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 45.80 |

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

En la tabla 11-3 se observa que el contenido de carbono fijo en las muestras de carbón activado no alcanza ni el 50%, esto puede deberse a que en el proceso de pirólisis no se desprendió completamente los aromáticos ligeros y el gas hidrógeno del carbón para obtener finalmente un esqueleto de carbón fijo influyendo principalmente el tiempo de carbonización que se mantuvo al carbón en el reactor de pirólisis. Aun así, las mejores muestras en esta etapa fueron los tratamientos 3 del cloruro de zinc y ácido fosfórico, siendo de 39.62 y 45.80% respectivamente.

### 3.4. Densidad Aparente

En la determinación del porcentaje de densidad aparente en las muestras de carbón activado se trabajó con la ecuación 6-2. En el caso del T1 ZnCl<sub>2</sub> se pesó la probeta vacía con 31.61g, luego se pesó la probeta más el carbón activado en su interior hasta la línea de aforo con un peso de 37.33g; por diferencia de peso se determinó la masa del carbón que fue de 5.72g. Con el dato obtenido anteriormente de la humedad de 1.35% se calculó el porcentaje de densidad aparente de la siguiente manera:

#### Cálculo del % DA

$$\%DA = \frac{5.7218}{10} * \left(1 - \frac{1.35}{100}\right) = 0.56$$

De la misma manera fueron calculados las demás muestras de carbón activado, obteniéndose como resultado lo siguiente:

**Tabla 12-3:** Resultados obtenidos de la determinación de densidad aparente del carbón activado.

| Tratamientos                      | Peso probeta (g) | Peso carbón + Probeta (g) | Masa carbón (g) | Humedad (%) | Densidad aparente (g/ml) |
|-----------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|-------------|--------------------------|
| T1 ZnCl <sub>2</sub>              | 31.61            | 37.33                     | 5.72            | 1.35        | 0.56                     |
| T2 ZnCl <sub>2</sub>              | 32.58            | 38.03                     | 5.45            | 1.52        | 0.54                     |
| T3 ZnCl <sub>2</sub>              | 31.60            | 37.69                     | 6.09            | 1.20        | 0.60                     |
| T1 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 45.45            | 52.65                     | 7.20            | 1.51        | 0.71                     |
| T2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 32.62            | 39.19                     | 6.57            | 1.95        | 0.64                     |
| T3 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 21.95            | 29.47                     | 7.53            | 1.82        | 0.74                     |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Como se puede apreciar en la tabla 12-3 los valores de la densidad aparente en los diferentes tratamientos se encuentran dentro del rango establecido por la ficha de datos de seguridad enmienda 91/155/CEE de la comisión europea que se encuentra establecido de 0.2 a 0.75 para carbón activado granular. De esta manera, vemos que T3 ZnCl<sub>2</sub> y T3 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> son muestras que a nivel aplicativo pueden ayudar por ejemplo a mejorar la tasa de filtración en la superficie de un filtro (Vijayan, Makesh Kumar, & Sridhar, 2012, pág. 169). Así mismo, se observa como existe un comportamiento decreciente según cada tratamiento viéndose afectados por las condiciones de experimentación, en especial de la temperatura, ya que como se observa en su ecuación depende del porcentaje de humedad que se tiene en la muestra.

### 3.5. Índice de Yodo

La prueba de índice de yodo se trabajó con una cantidad de 2g aproximadamente debido a que inicialmente se había hecho la prueba con 1 g, y como se explicaba anteriormente el valor de  $N_r$  no se encontraba en el rango de 0.008-0.0334N por lo cual se tuvo que trabajar con una muestra de mayor cantidad que es lo que indicaba la norma. La normalidad de la solución estándar de yodo fue de 0.098N y la de tiosulfato de sodio de 0.099N. Por lo cual, según la ecuación 5-2 los coeficientes de A y B fueron de 1243.911 y 12.57 respectivamente. A continuación, se muestra el cálculo realizado para el T1 ZnCl<sub>2</sub> donde el volumen gastado en la titulación fue de 14.51ml. Con todos estos datos obtenidos el índice de yodo se calculó de la siguiente manera:

#### Cálculos del índice de yodo

$$N_r = 0.099 * \frac{14.51}{50} = 0.0287$$

Calculado este valor se observó en la tabla del anexo E y se obtuvo que el valor de D es de 0.9475; por lo cual el índice de yodo fue:

$$\frac{X}{M} = \frac{1243.911 - (2.2 * 12.57 * 14.51)}{2.001} = 421.179$$

$$I_n = 421.179 * 0.9475$$

$$I_n = 399.067 \text{ mg/g}$$

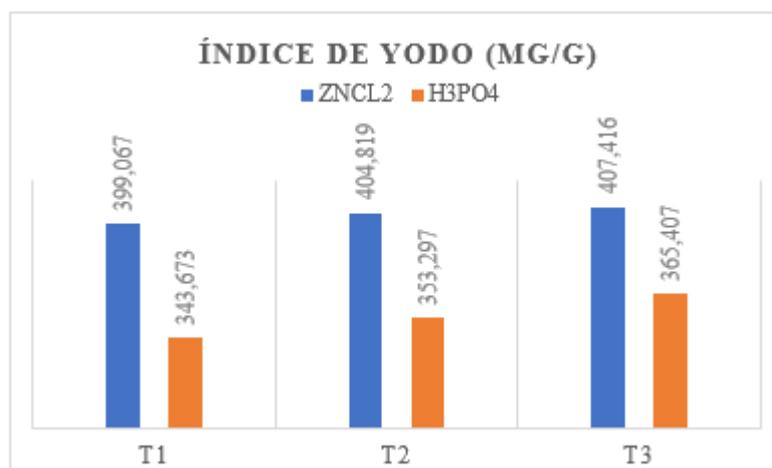
A continuación, se muestra los resultados que se obtuvieron para cada tratamiento siguiendo el mismo cálculo:

**Tabla 13-3:** Resultados del índice de yodo obtenido en muestras de carbón activado.

| Tratamientos                      | Peso carbón (g) | Volumen gastado (ml) | A       | B     | X/M (mg/g) | D      | I <sub>n</sub> (mg/g) |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------|---------|-------|------------|--------|-----------------------|
| T1 ZnCl <sub>2</sub>              | 2.0010          | 14.51                | 1243.91 | 12.57 | 421.179    | 0.9475 | 399.067               |
| T2 ZnCl <sub>2</sub>              | 2.0129          | 14.05                | 1243.91 | 12.57 | 425.007    | 0.9525 | 404.819               |
| T3 ZnCl <sub>2</sub>              | 2.0033          | 14.00                | 1243.91 | 12.57 | 427.734    | 0.9525 | 407.416               |
| T1 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 2.0921          | 16.90                | 1243.91 | 12.57 | 371.257    | 0.9257 | 343.673               |
| T2 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 2.0928          | 16.20                | 1243.91 | 12.57 | 380.380    | 0.9288 | 353.297               |
| T3 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 2.0122          | 16.36                | 1243.91 | 12.57 | 393.418    | 0.9288 | 365.407               |

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

De esta manera se observa en la tabla 13-3 que de los 6 tratamientos realizados el de mayor capacidad de adsorción es el tratamiento 3 con cloruro de zinc con un número de índice de yodo de 407.416 mg/g; al comparar este valor con las especificaciones establecidas en la normativa estadounidense ASTM D 4607 donde el rango es de 500-1200 mg/g de carbón activado, se observa que no cumple con el parámetro establecido, determinándose así que el carbón obtenido no representa un “carbón de calidad” porque la cantidad de poros alojados en su superficie y absorbidos por el yodo no se desarrollaron completamente. Además, se observa que decrece el índice de yodo en el tratamiento 1 y 2 afectados por las variables de activación y carbonización, es decir, que al aumentar la temperatura y tiempo de activación como de carbonización se obtuvieron mejores resultados, tal como se muestra en el gráfico 3-3:



**Gráfico 4-3.** Resultados del número de índice de yodo presentes en el carbón activado.

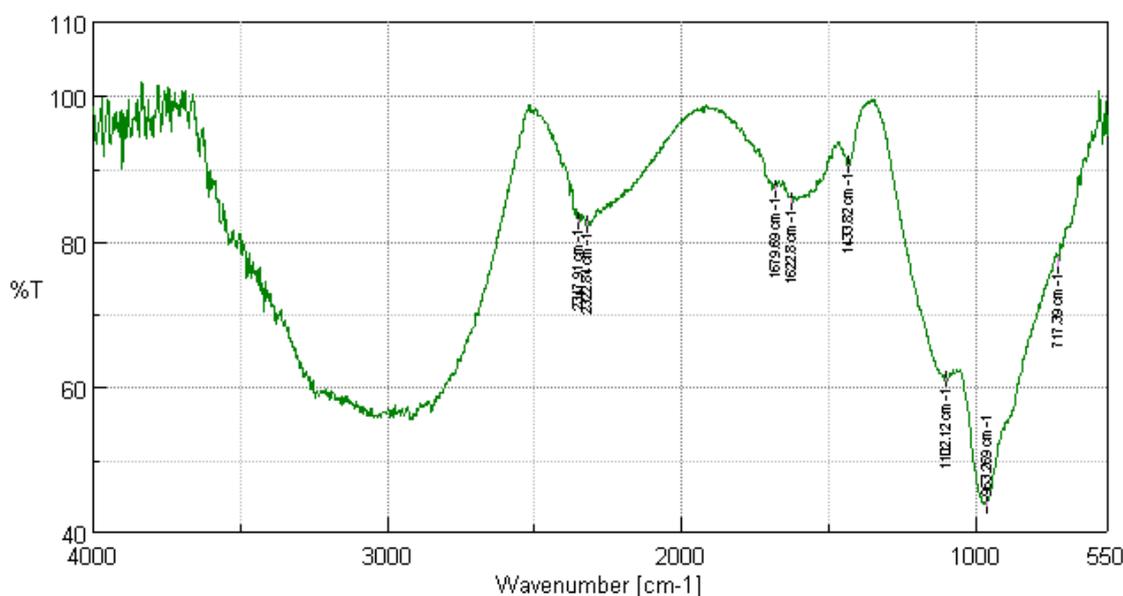
Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Por tal, en la prueba de área superficial se escogieron las muestras del tratamiento 3 basadas en esta prueba puesto que ambas miden la capacidad adsorbente del material carbonoso.

### 3.6. Espectroscopía Infrarroja FT-IR

El análisis espectroscópico FT-IR se realizó para las muestras del tratamiento 3 tanto para el ácido fosfórico como para el cloruro de zinc. Obteniéndose los siguientes espectros:

#### 3.6.1. Activación con ácido fosfórico



**Figura 16-3:** Espectro FTIR del carbón activado impregnado con ácido fosfórico.

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.



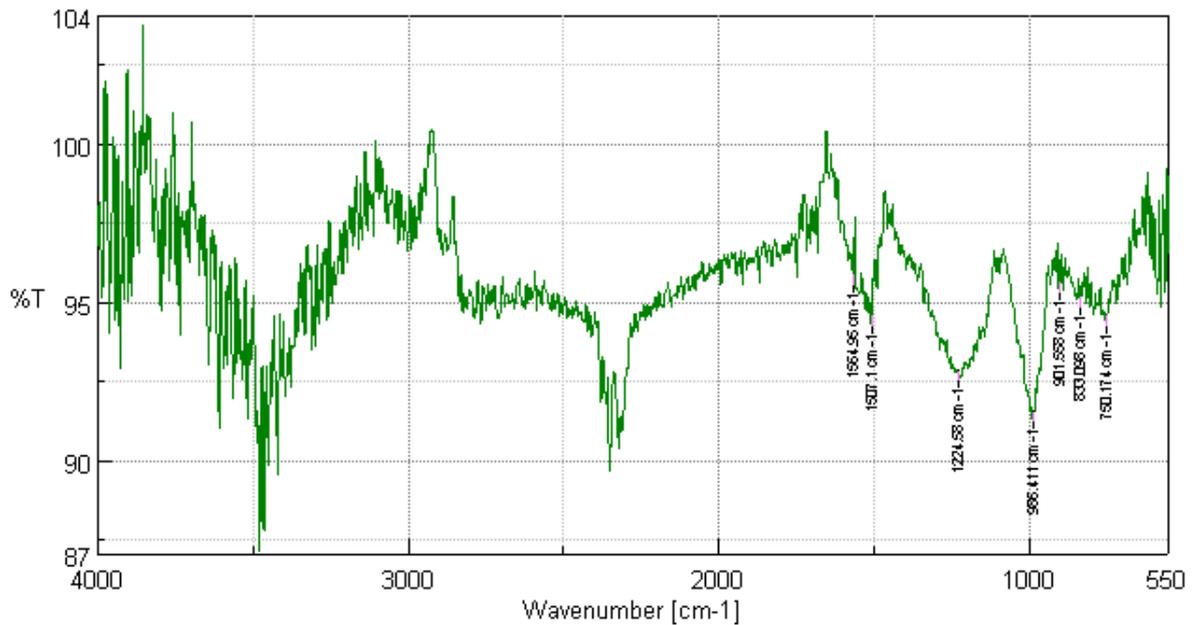
**Figura 17-3:** Espectro FTIR del carbón activado impregnado con ácido fosfórico en semillas de eucalipto.

**Fuente:** (Mojica, y otros, 2016, pág. 208)

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

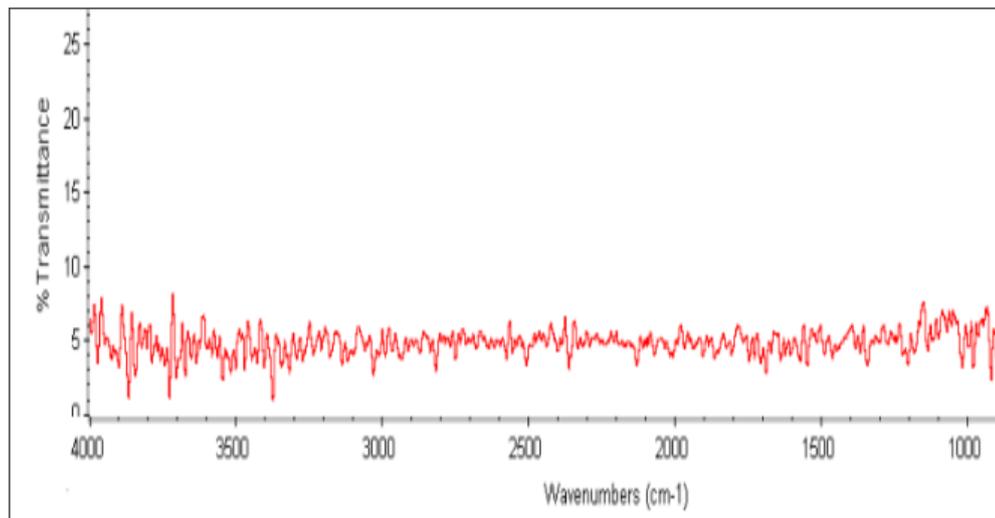
Como se observa en la figura 16-3, la banda ancha situada entre  $3300\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$  es atribuida a la vibración del grupo hidroxilo en alcoholes (-OH) y agua adsorbida (Manosalva, 2019, pág. 34). Se puede identificar otra banda de  $2347.91$  y  $2322.84\text{ cm}^{-1}$  que pertenecen a vibraciones de tensión asimétrica de la molécula de  $\text{CO}_2$ , no de gran interés en este estudio. Así mismo, se observa algo particular en la banda de  $1622.8$  y  $1679.69\text{ cm}^{-1}$  que representa el grupo  $\text{C}=\text{O}$  propio de ácidos carboxílicos pertenecientes a amidas, estas se visualizan en el espectro debido a que poseen temperaturas de disociación mayores y la temperatura de carbonización no es suficiente para disociar los carboxilos presentes (Peña, Giraldo, & Moreno, 2012, pág. 313). El pico que se visualiza en  $1102.12\text{ cm}^{-1}$  es propio del estiramiento asimétrico del enlace  $\text{C}-\text{O}$ ; probablemente proporcionada por la existencia de los polímeros de pectina. Por último, la banda de mayor intensidad en  $963.269\text{ cm}^{-1}$  se asocia al estiramiento del grupo éter cíclico de la celulosa (Prahas, Kartika, Indraswati, & Ismajji, 2008). En la figura 17-3, se puede visualizar que el espectro de un carbón activado con ácido fosfórico en semillas de eucalipto es muy parecido al que se obtuvo para las semillas de guanábana encontrándose también una banda ancha atribuida al grupo hidroxilo en  $3400\text{ cm}^{-1}$  y cerca de  $1100\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  indicando la presencia de enlaces simples  $\text{C}-\text{O}$  en ácidos carboxílicos; o que de igual manera puede presentarse los enlaces  $\text{P}=\text{O}$ ,  $\text{O}-\text{C}$  y  $\text{P}-\text{O}-\text{C}$  causados por la impregnación del ácido fosfórico.

### 3.6.2. Activación con cloruro de zinc



**Figura 18-3:** Espectro FTIR del carbón activado impregnado con cloruro de zinc

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.



**Figura 19-3:** Espectro FTIR del carbón activado impregnado con cloruro de zinc en llantas de caucho

**Fuente:** (Arango, 2016, pág. 49)

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

Analizando el espectro de la figura 18-3, se puede evidenciar alrededor de la banda de  $3400\text{ cm}^{-1}$  existe el grupo OH característico de los alcoholes, ácidos carboxílicos y fenoles. El pico que aparece en  $1564.95\text{ cm}^{-1}$  se les atribuye a los estiramientos vibracionales (C=O) que corresponden a grupos carboxilo y carbonilo (Cutí & Maldonado, 2020, pág. 11). En  $1224.58\text{ cm}^{-1}$  se aprecia una

banda ancha que representa a los estiramientos de los (C-O) de la celulosa (Asimbaya, Rosas, Endara, & Guerrero, 2015, pág. 3). Alrededor de  $1000\text{ cm}^{-1}$  se observan vibraciones de los enlaces C-H de anillos aromáticos, lo que es evidente ya que según (Martínez, 2012, pág. 7) a mayores temperaturas de activación se reflejan vibraciones que se desplazan a números de onda mayores ( $800\text{ cm}^{-1}$ ) que para muestras de carbón obtenidas a bajas temperaturas de activación. En la figura 19-3, se observa que, a pesar de ser un espectro proveniente de un precursor totalmente diferente las bandas se visualizan igualmente de manera estrecha, y que entre  $3600\text{-}3800\text{ cm}^{-1}$  se observa la presencia del grupo funcional OH. Seguidamente, en los picos entre  $1000\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  se encuentran grupos lactónicos, éteres y fenoles por la existencia de enlaces C=O y de  $1650\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$  la presencia de grupos carboxílicos, C=C y C=O como también ocurre con las semillas de guanábana, pero con porcentajes bajos de transmitancia.

Con lo expresado anteriormente, se puede interpretar que existe la presencia de una superficie ácida tanto para el ácido clorhídrico y el cloruro de zinc debido a los grupos funcionales como los alcoholes y/o ácidos carboxílicos; esto posiblemente haya ocurrido porque el carbón obtenido no se lavó.

### 3.7. Determinación de pH

**Tabla 14-3:** Resultados obtenidos del pH de las muestras de carbón activado.

| Tratamientos               | pH   |
|----------------------------|------|
| T1 $\text{ZnCl}_2$         | 5.26 |
| T2 $\text{ZnCl}_2$         | 5.58 |
| T3 $\text{ZnCl}_2$         | 5.74 |
| T1 $\text{H}_3\text{PO}_4$ | 1.4  |
| T2 $\text{H}_3\text{PO}_4$ | 1.07 |
| T3 $\text{H}_3\text{PO}_4$ | 1.41 |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Como se había visto anteriormente en la prueba de espectrofotometría IR, con la presencia de ácidos carboxílicos y alcoholes era evidente que los pH de las muestras que se muestran en la tabla 14-3 tengan un pH menor a 7, lo cual significa que en la superficie del carbón coexisten grupos superficiales de carácter ácido (Universidad de Sevilla, 2015, pág. 6); que como es indiscutible, predominan más en los tratamientos con ácido fosfórico con un pH alrededor de 1 que en el cloruro de zinc con pH cercanos a 6.

### 3.8. Área Superficial

El modelo BET se aplicó para ajustar las isotermas de adsorción de nitrógeno y evaluar el área de superficie específica que se muestra a continuación:

**Tabla 15-3:** Resultados obtenidos del área superficial en muestras de carbón activado.

| Tratamientos                      | Área superficial (m <sup>2</sup> /g) |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| T3 ZnCl <sub>2</sub>              | 410.13                               |
| T3 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 400.08                               |

Realizado por: Guamushig, Harold, 2021.

Como se observa en la tabla 15-3, el tratamiento con mayor área superficial es el carbón activado con cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>) con 410.13 m<sup>2</sup>/g, lo cual evidencia que este reactivo proporciona una mayor capacidad adsorbente que el ácido fosfórico bajo las mismas condiciones de experimentación, aunque no es tanta la diferencia que existe, el ácido fosfórico podría ser la mejor opción debido a que el cloruro de zinc es un contaminante peligroso para el medio ambiente y que por dicha razón en la actualidad se encuentra en deceso su aplicación. Además, (Martínez, 2012, pág. 12) expresa que el área superficial tiene un valor aproximadamente igual al del índice de yodo obtenido por el método BET, siendo casi similares en el cloruro de zinc con valores de 410.13 m<sup>2</sup>/g y 407.416 mg/g respectivamente. Sin embargo, para el ácido fosfórico se aleja un poco el valor siendo el área superficial de 400.08 m<sup>2</sup>/g y 365.407 mg/g.

### 3.9. Comparación de las muestras de carbón activado obtenido con Carbón Comercial

El carbón activado que se obtuvo en los diferentes tratamientos se comparó según las especificaciones de la norma NTE INEN 1991: 1994 del carbón activado nacional que se comercializa en el país. A continuación, se muestra en la tabla 16-3:

**Tabla 16-3:** Comparación de las muestras de carbón activado obtenidas respecto al comercial.

| Requisitos        | Carbón activado con ZnCl <sub>2</sub> |       |       | Carbón activado con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |       |       | Carbón comercial |        |
|-------------------|---------------------------------------|-------|-------|--|-------|-------|------------------|--------|
|                   | T1                                    | T2    | T3    | T1   | T2    | T3    | Min              | Máx    |
| Humedad           | 1.346                                 | 1.525 | 1.203 | 1.514  | 1.946 | 1.817 | -                | 12.000 |
| Densidad aparente | 0.564                                 | 0.537 | 0.602 | 0.709  | 0.644 | 0.739 | 0.200            | -      |

|                                 |         |         |         |         |         |         |     |        |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|--------|
| Cenizas<br>totales              | 23.690  | 25.580  | 23.219  | 31.466  | 27.409  | 24.108  | -   | 12.000 |
| Superficie<br>específica<br>BET | -       | -       | 410.13  | -       | -       | 400.08  | 600 |        |
| Número<br>de yodo               | 399.067 | 404.819 | 407.416 | 343.673 | 353.297 | 365.407 | 600 | -      |

**Realizado por:** Guamushig, Harold, 2021.

Se evidencia que el nivel máximo de humedad establecido en el carbón activo comercial es de 12%, lo que significa que los valores obtenidos en el rango de 1.203-1.946% en los diferentes tratamientos son resultados aceptables que existen debido a las condiciones de almacenamiento y adsorción de humedad en el aire; ya que si fuera mayor al 12% va a presentar defectos como pérdida de dureza y, por lo tanto, sería un carbón quebradizo siendo indeseable para procesos de fundición donde se use calor. La densidad aparente para las muestras de carbón activado cumple con la condición de ser mayor al 0.2% siendo el T3 con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> el valor mayor con un 0.739%, conociéndose así, el volumen de agua que necesita cada carbón activado en un proceso de retrolavado (Carrasco & Londa, 2018, pág. 112). El porcentaje de ceniza obtenido en las muestras de carbón activado supera el máximo establecido, siendo el máximo de 31.466% en el tratamiento 1 con ácido fosfórico y 25.580% en el tratamiento 2 con cloruro de zinc; estos valores muestran una característica indeseable en el carbón activado debido a que como indica (Millones & Fiestas, 2019, pág. 44) altos porcentajes de cenizas están relacionados con materiales residuales provenientes del proceso de carbonización (impurezas, minerales) y que consecuentemente limitan la adsorción. Asimismo, mucho tiene que ver la composición química de las semillas de guanábana ya que la prueba de cenizas es una característica propiamente química que si se la compara con resultados del carbón activado obtenido con semilla de guayaba también se encuentran con valores alrededor del 20% superando igualmente el límite máximo (Villegas, Álvarez, & Wasserman, 2002, pág. 7). En la prueba de área superficial como índice de yodo se observa que se encuentra debajo del rango y que no cumple con las condiciones para ser comercializado, esto debido a que las distintas muestras de carbón activado a pesar de ser el mismo precursor su método de preparación se diferencia y consecuentemente la distribución de los tamaños de los poros varían; afectando directamente al área superficial y el número de yodo, puesto que, influye en la accesibilidad de las especies en solución a los sitios de adsorción. El carbón activado impregnado con cloruro de zinc obtuvo un mejor resultado, siendo de 410.13 m<sup>2</sup>/g respecto al ácido fosfórico de 400.08 m<sup>2</sup>/g, sin embargo, la diferencia entre ambos agentes activantes no es significativa por lo cual ésta

última puede ser una buena elección ya que en términos de costos de fabricación resulta más rentable y a su vez es un reactivo que no es tóxico.

## CONCLUSIONES

Se obtuvo carbón activado a partir de las semillas de guanábana mediante activación química con ácido fosfórico y cloruro de zinc bajo diferentes tratamientos lográndose resultados no satisfactorios ya que la capacidad de adsorción evaluada mediante el índice de yodo y área superficial no alcanzan el mínimo establecido en el rango según las especificaciones de un carbón activado comercial. Esto puede deberse a las condiciones de experimentación ya que el precursor si cumple con las condiciones necesarias para lograr un carbón activado semejante al comercial. Se evaluaron las semillas de guanábana mediante análisis proximal para determinar el porcentaje de cenizas y carbono fijo, obteniéndose valores de 0.21% y 12.115% respectivamente. Estos resultados califican a este precursor como idóneo ya que mientras menor sea el porcentaje de cenizas y mayor el de carbono fijo se obtendrá un carbón activado de calidad.

Se logró mejores resultados usando como agente activante el cloruro de zinc, esto se comprueba según la prueba de área superficial e índice de yodo, siendo el tratamiento 3 con valores de 410.13 m<sup>2</sup>/g y 407.416 mg/g respectivamente. Sin embargo, no existe una diferencia tan grande respecto al carbón activado con ácido fosfórico ya que sus valores de área superficial e índice de yodo fueron de 400.08 m<sup>2</sup>/g y 365.407 mg/g; por lo tanto, este último puede ser una opción amigable para realizar el proceso de obtención del carbón activado ya que no es contaminante y abarata costos de fabricación.

Se evaluaron las muestras de carbón activado obtenidas en los diferentes tratamientos mediante métodos fisicoquímicos obteniéndose según análisis proximal un porcentaje de carbono fijo mayor en las muestras de carbón activado con ácido fosfórico presentando valores en el rango de 35-45% y con cloruro de zinc de 28-40% lo cual se debe al poder ácido durante la impregnación con el precursor. Así mismo, se evaluó el pH lográndose pH muy bajos con las muestras activadas mediante ácido fosfórico (alrededor de 1) y no tan bajos con el cloruro de zinc (alrededor de 5) lo cual se comprobó usando espectrofotometría IR que se debía a los grupos funcionales como alcoholes, ácidos carboxílicos y fenoles. El área superficial solamente fue evaluada en el tratamiento 3 con ambos agentes activantes (ZnCl<sub>2</sub> y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ya que se determinó de manera previa el índice de yodo para poder establecer que muestra de carbón activo tenía mejor capacidad de adsorción. Finalmente, las mejores muestras de carbón activado fueron las impregnadas con cloruro de zinc ya que alcanzaron valores mayores al ácido fosfórico en las pruebas de área superficial e índice de yodo que fueron mencionadas con anterioridad, aunque no son comparables con el carbón activado que se comercializa en el país.

## **RECOMENDACIONES**

Es necesario experimentar con la especie *Annona muricata* a mayores temperaturas de activación para comprobar el grado de influencia de esta variable en la calidad de las muestras de carbón activado ya que como se observó los mejores tratamientos se dieron en el T3 que eran condiciones en que la temperatura era mayor comparada a los anteriores tratamientos.

Realizar un estudio de la adsorción que puede desempeñar el carbón activado a partir de las semillas de guanábana, para comprobar la factibilidad de este precursor.

Ampliar el estudio de la caracterización fisicoquímica del carbón activado mediante análisis termogravimétrico y textural para comprender mejor las interacciones adsorbato-adsorbente en un proceso de adsorción.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARANGO.** *ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE FENOL MEDIANTE LA OBTENCIÓN Y MODIFICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LLANTAS DE CAUCHO.* UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2016, pp. 49.

**ARCIBAR- OROZCO, J; RIOS-HURTADO, J; & RANGEL-MENDEZ, J.** *Influence of iron content , surface area and charge distribution in the arsenic removal by activated carbons,* Chem. Eng. J., vol. 249, 2014, p.203.

**ASIMBAYA, C.; et al.** *Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto,* Revista Politécnica-Septiembre, Vol. 36, No. 3, 2015, p.3.

**BERALDI, Agustina & PELLEGRINI, Magalí.** *Modelado de la isoterma de adsorción de cr(vi) empleando carbón activado como adsorbente,* Universidad Técnica del Norte, 2017, pp. 9-11.

**BRAVO, Katherine & GARZON, Ayrton.** *EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO PROCEDENTE DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DE COCO (Cocos nucifera) PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ, 2017, pp. 2-3.

**CARRASCO, Blanca; & LONDA, Erika.** *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos Nucifera L”,* Cuenca: Universidad de Cuenca, 2018, pp. 1-90.

**COLPAS, Fredy; TARÓN, Arnulfo & GONZÁLEZ, Rafael.** *Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola Saccharum officinarum,* REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLA Volumen 34, 2017, pp. 62-72.

**CORREDOR, Yuri; & PÉREZ, Liliana.** *Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente,* Revista Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada, 2018, pp. 59-72.

**CRUZ, Francisco.; et al.** *Two unconventional precursors to produce ZnCl<sub>2</sub>-based activated carbon for water treatment applications,* Chemical Engineering & Technology, 2018, pp. 12-13.

**CUTÍ, Yesela; & MALDONADO, María.** *ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE CÁSCARAS DE *Oryza sativa* PARA SORCIÓN DE TRES COLORANTES INDUSTRIALES, AREQUIPA-2019*, UNIVERSIDAD PRIVADA AUTÓNOMA DEL SUR, 2020. p. 11.

**DE VOYS, F.** *The pore size distribution of activated carbon, Activated Carbon a fascinating material*, 2018, p.17.

**GAO, Y.; et al.** *Preparation of well-developed mesoporous activated carbon with high yield by ammonium polyphosphate activation*, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2016. pp. 94-399.

**GARCÍA, Ana.; et al.** *Adsorción simple y competitiva de iones metálicos zinc y cadmio sobre carbón activado a partir de semillas *Mucuna deeringian**, Universidad de los Andes, Grupo de Investigación en Sólidos Porosos y Calorimetría, 2015, pp. 4-8.

**GIRALDO, L; & MORENO-PIRAJÁN, J.** *Lipase supported on mesoporous materials as a catalyst in the synthesis of biodiesel from *Persea americana* mill oil*, J. Mol. Catal. B Enzym, vol 77, 2012, pp. 32-38.

**GONZÁLEZ, Bárbara.** *DESARROLLO DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES CON APLICACIÓN EN ADSORCIÓN DE ARSÉNICO*, UNIVERSIDAD DE CHILE, 2017, pp. 5-17.

**GONZÁLEZ-GARCÍA, P.** *Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, 2018, pp. 1393–1414.

**HOLGUÍN, Daniela.; et al.** *Producción de un adsorbente a partir de semillas*, Revista Ciencia en Desarrollo, vol. 3, 2015, pp. 7-21.

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DE ECUADOR.** Tecnología INIAP. [Consulta: 20 marzo 2021]. Disponible en: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mfruti/rguanabana>.

**IOANNIDOU, O; & ZABANIOTOU, A.** *Agricultural residues as precursors for activated carbon production — Areview*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(9), 2007, pp. 1966-2005.

**LARGITTE, L.; et al.** *Comparison of the adsorption of lead by activated carbons from three lignocellulosic precursors*, Microporous and Mesoporous Materials, 2016, pp. 4-6.

**LEON, C.; et al.** *Evidence for the protonation of basal plane sites on carbon, 1992*. Carbon N. Y., Vol. 30, No. 5, págs. 797-811.

**LEYVA, Roberto.** *Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida, En Sólidos Porosos. Preparación, Caracterización y Aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes, 2007, págs. 165 – 172.

**LOPEZ-RAMON, M.; et al.** *On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques*, Carbon N. Y., Vol. 37, No. 8, 1999, pp. 1215–1221.

**MANOSALVA, Flor.** *Determinación de las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido de la cáscara y semilla de moringa (Moringa Oleífera)*, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019, pp. 25-35.

**MARCANO, Arismar.** *Obtención de carbón activado por tratamiento térmico como alternativa de aprovechamiento de la cascarilla de Theobroma cacao, L*, Revista de Investigación Instituto Pedagógico de Caracas N 101 vol.44 , 2020, p. 292.

**MÁRQUEZ-MONTESINO, Francisco, ZANZI-VIGOUROUX, Rolando y RAMOS-ROBAINA, Boris.** *Carbón activado de semillas de tomate para adsorción de vapores de amoníaco, benceno y gasolina*, Universidad de Pinar del Río, Facultad de Ciencias Técnicas, Pinar del Río, 2015, pp.37-44.

**MARSH, H; & RODRÍGUEZ-REINOSO, F.** *Production and Reference Material in Activated Carbon*, Oxford: Elsevier Science Ltd, 2006, pp. 454–508.

**MARTÍNEZ, Alicia.** *DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-*

HEXANO, Universidad San Jorge: *Instituto de Investigación de Medio Ambiente y la Sostenibilidad*, 2012, pp. 7-17.

**MILLONES, A y FIESTAS, M.** *INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN Y EL TIEMPO DE CONTACTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCOEN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE MÓRROPE*, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019, pp. 40-47.

**MINERVA, Recobert.** *Carbón activado: Evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono*, 2015. Universidad de Alicante, págs. 1-3.

**MOJICA, L.; et al.** *Síntesis de carbón activado proveniente de semillas de Eucalipto por activación física y química*. Grupo de Investigación de Sólidos Porosos y Calorimetría, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, 2016, p. 208.

**MOLINA-SABIO, M.; et al.** *Porosity in granular carbons activated with phosphoric acid*, Carbon 33, 1995, pp. 1105-1113.

**NIETO-DELGADO.** *Production of activated carbon from agave salmiana bagasse and its modification to remove arsenic from water*, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, 2010. pp. 2-36.

**PANDURO-CARBAJAL, Carlos.** *Estudio de la transformación química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales*, 2012, p. 31-35.

**PEÑA, Karen; GIRALDO, Liliana; & MORENO, Juan.** *REPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA POR ACTIVACIÓN QUÍMICA. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA*, REVISTA COLOMBIANA DE QUÍMICA, VOLUMEN 41, 2012, pp. 311-323.

**PEREIRA, Rúbner; VELOSO, Cristiane; & BONOMO, Renata.** *Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and ZnCl<sub>2</sub> as activating agents for BSA and  $\alpha$ -lactalbumin adsorption*, Fuel Processing Technology, 2014, pp. 7-8.

**PRAHAS, D.; et al.** *Activated carbon from jackfruit peel waste by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> chemical activation: Pore structures and surface chemistry characterization*, Chemical Engineering Journal, Vol. 140, No. 1-3, 2008, pp. 32-42.

**RADOVIC, L.; et al.** *An experimental and theoretical study of the adsorption of aromatics possessing electron-withdrawing and electron-donating functional groups by chemically modified activated carbons*, Carbon N. Y., vol. 35, 1997, pp. 1339–1348.

**REY - BARROSO, A.** *Catalizadores de hierro soportado sobre carbón activo para la oxidación catalítica de fenol con peróxido de hidrógeno*, Madrid : Universidad Autónoma de Madrid, 2010, pp. 77-85.

**RIERA, María; MALDONADO, Silvina; & PALMA, Ricardo.** *RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS*, Revista Ingeniería Industrial-Año 17 N°3: 227-246, 2018, pp. 227-228.

**RODRIGUEZ, Juan.** *Applications of activated carbons in environmental catalysis*, Universidad Autónoma de Madrid, 2017, pp. 2-6.

**RODRIGUEZ-REINOSO, F.** *Production and applications of activated carbons*. Germany : Handbook of Porous Solids, 2002, p. 1766.

**RODRÍGUEZ-REINOSO, F; HEINTZ, E; & MARSH, H.** *Introduction to Carbon Technologies*, Alicante, España : Universidad de Alicante, 1997, pp- 44-53.

**SAHIRA, Joshi.; et al.** *Synthesis and characterizations of nanoporous carbon derived from Lapsi (Choerospondias axillaris) seed: Effect of carbonization conditions*, Advanced Powder Technology, 2015, pp. 894-900.

**SALAM, A, Ewais, H y BASALEH, A.** *Silver nanoparticles immobilised on the activated carbon as efficient adsorbent for removal of crystal violet dye from aqueous solutions, A kinetic study*. Journal of Molecular Liquids, 2017, pp. 833-841.

**SING, K.; et al.** *Reporting physisorption data for gas/soils systems with special reference to the determination of surface area and porosity*, Pure Appl. Chem., Vol. 57, No. 4, 1985, pp. 603-619.

**SINGH, R. K; & SHADANG, K. P.** *Liquid fuel from castor seeds by pyrolysis*, Fuel, vol. 90, no. 7, 2011, pp. 2538-2544.

**SUÁREZ, I.** *Influencia de la concentración en la solución acida de activación y del tiempo de calcinación en la propiedad textural de adsorción de carbón activado preparado con cascara de coco*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2019, pp. 5-21.

**TOGORES, José.** *Tratado de Enología. Volumen I y II*, 2018. Madrid, España : Ediciones Mundi-Prensa, 2018, p.27-29.

**AGUAPEDIA.** *Manual del carbón activo*, Universidad de Sevilla, 2015, p. 6.

**VIDAL, M.; et al.** *Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión*, Universidad Tecnológica de Pereira, 2018, pp. 411-413.

**VIJAYAN, S; MAKESHKUMAR, M; & SRIDHAR, K.** *Physical and Chemical Analysis of Activated Carbon Prepared from Coconut Shell Charcoal and Usage-A Case Study*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED SCIENTIFIC RESEARCH AND TECHNOLOGY ISSUE 2, VOLUME 3 , 2012, pp. 168-171.

**VILLEGAS, P; ÁLVAREZ, J; & WASSERMAN, B.** *INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES MEDIANTE LAVADO CON SOLUCIONES DE NaOH*, 2002. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6, N° 1, págs. 7-9.

**ZAMORA, Giuliana.** *Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la Amazonía Peruana, Shapaja (Attalea phalerta) y Aguaje (Mauritia flexuosa)*, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, 2010, pp. 3-7.

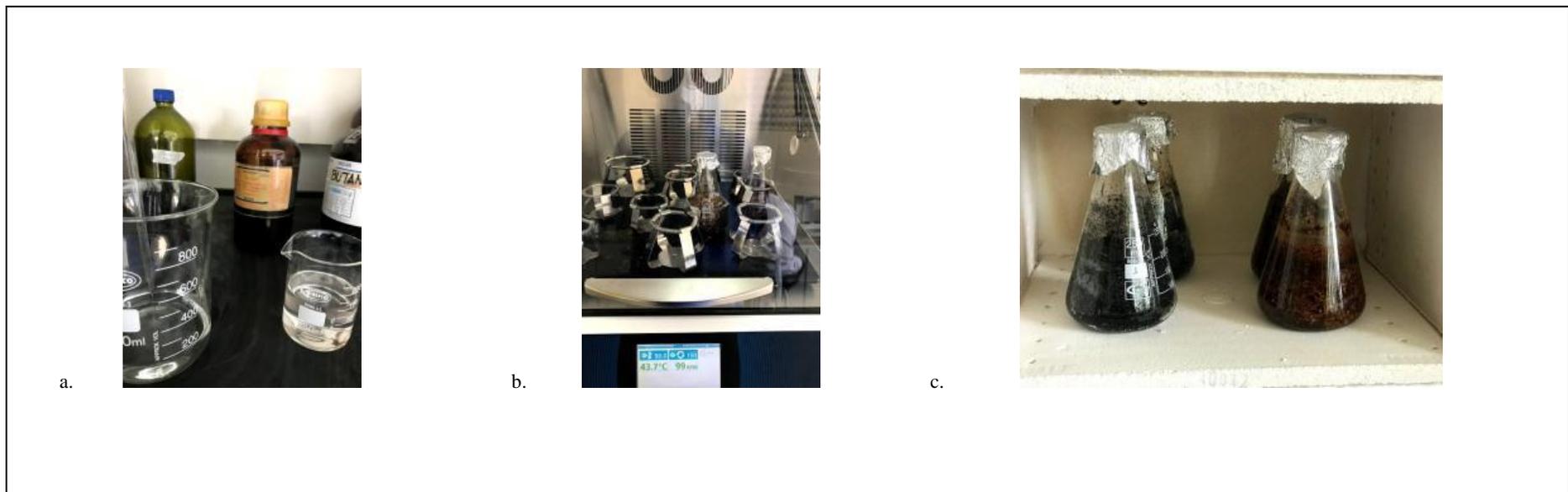
**ZHANG, H; GUIGAO, L; & JINHUA, Y.** *Single-Atom Catalysts: Emerging Multifunctional Materials in Heterogeneous Catalysis*, Advanced energy materials, 2017, p. 17.

## ANEXOS

### ANEXO A: SEMILLAS DE GUANÁBANA USADAS COMO PRECURSOR PARA EL CARBÓN ACTIVADO.

|  |  |   |  |            |            |              |                                   |  |
|--|--|---|--|------------|------------|--------------|-----------------------------------|--|
|   |    |  | <b>SEMILLAS DE GUANÁBANA USADAS<br/>COMO PRECURSOR PARA EL CARBÓN<br/>ACTIVADO</b> |            |            |              |                                   |  |
| a.   | b.   | c.  |  |            |            | <b>NOTAS</b> | <b>CATEGORIA DEL<br/>DIAGRAMA</b> | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> |
| a. Lavado de semillas de guanábana<br>b. Secado de las semillas de guanábana<br>c. Triturado y tamizado de las semillas de guanábana | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aprobado</li> <li>➤ Certificado</li> <li>➤ Por aprobar</li> <li>➤ Por calificar</li> <li>➤ Por verificar</li> </ul> | Elaborado por:<br>Harold Wladimir Guamushig Intriago                                | <b>1</b>   | <b>1:1</b> | 2021/06/20 |              |                                   |  |

**ANEXO B: PROCESO DE ACTIVACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA.**



| NOTAS   | CATEGORIA DEL DIAGRAMA   | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA<br>Elaborado por:<br>Harold Wladimir Guamushig Intriago | PROCESO DE ACTIVACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA |        |            |
|---|--|---|--|--------|------------|
| a. Preparación de soluciones para la activación química.<br>b. Activación de las semillas de guanábana.<br>c. Secado después de la activación | > Aprobado<br>> Certificado<br>> Por aprobar<br>> Por calificar<br>> Por verificar |   | LÁMINA   | ESCALA | FECHA      |
|   |  |   | 1  | 1:1    | 2021/06/20 |

**ANEXO C: PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA.**



a.



b.



c.

|  |                               |  |  |               |              |
|--|-------------------------------|--|--|---------------|--------------|
| <b>NOTAS</b>   | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b> | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> | <b>PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE LAS SEMILLAS DE GUANÁBANA</b> |               |              |
| d. Instalación de equipo de pirólisis para desplazar el oxígeno. | > Aprobado<br>> Certificado   |  | <b>LÁMINA</b>  | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |

|  |   |               |  |   |     |            |
|--|---|---------------|--|---|-----|------------|
| e. Control de temperatura de carbonización.  | ➤ | Por aprobar   | Elaborado por:<br><br>Harold Wladimir Guamushig Intriago | 1 | 1:1 | 2021/06/20 |
| f. Carbón obtenido del reactor de pirólisis. | ➤ | Por calificar |  |   |     |            |
|  | ➤ | Por verificar |  |   |     |            |

**ANEXO D: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CARBÓN ACTIVADO.**

|                                  |                                      |                               |  |  |               |              |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|--|---------------|--------------|
|                                  |                                      |                               |  |  |               |              |
| <b>NOTAS</b>                     |                                      | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b> | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b><br><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> | <b>CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CARBÓN ACTIVADO</b> |               |              |
| a. Pruebas de análisis proximal. | b. Determinación del índice de yodo. | ➤ Aprobado<br>➤ Certificado   |  | <b>LÁMINA</b>  | <b>ESCALA</b> | <b>FECHA</b> |

|   |   |               |                                    |          |            |            |
|---|---|---------------|------------------------------------|----------|------------|------------|
| c. Determinación del pH   | ➤ | Por aprobar   | Elaborado por:                     |          |            |            |
| d. Determinación de grupos funcionales por espectrofotometría IR. | ➤ | Por calificar |                                    | <b>1</b> | <b>1:1</b> | 2021/06/20 |
| e. Determinación de la densidad aparente                          | ➤ | Por verificar | Harold Wladimir Guamushig Intriago |          |            |            |

**ANEXO E: PRUEBA DEL ÍNDICE DE YODO EN MUESTRAS DE CARBÓN ACTIVADO.**





a.



b.



c.



d.



e.



f.

| NOTAS   | CATEGORIA DEL DIAGRAMA   | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA<br>Elaborado por:<br><br>Harold Wladimir Guamushig Intriago | PRUEBA DEL ÍNDICE DE YODO EN MUESTRAS DE CARBÓN ACTIVADO |        |            |
|---|--|---|--|--------|------------|
| a. Muestras de carbón activado seca.<br>b. Solución de HCl añadida al carbón activado.<br>c. Solución estándar de yodo 0.1N añadida al carbón activado.<br>d. Filtración de la solución | > Aprobado<br>> Certificado<br>> Por aprobar<br>> Por calificar<br>> Por verificar |   | LÁMINA   | ESCALA | FECHA      |
|   |  |   | 1  | 1:1    | 2021/06/20 |

|   |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|
| e. Titulación con solución estándar de tiosulfato de sodio 0.1N |  |  |  |  |  |
| f. Punto final de la titulación.                                |  |  |  |  |  |

ANEXO F: NORMA NTE INEN 1988: 2013.



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  
ODU: 001.103.2  
CIRJ: 3511  
ICS: 71.060.01

|   |  |  |
|---|--|--|
| Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria  | PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES<br>CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL<br>DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO | NTE INEN<br>1988:2013<br>Primera revisión<br>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</i> de temperatura regulable 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;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.</p> |  |  |

|  |
|--|
| <p><b>3.3 Reactivos</b></p> <p>3.3.1 <i>Acido clorhídrico al 5% (m/v)</i>. 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).</p> <p>3.3.2 <i>Solución estándar de Tiosulfato de sodio estándar 0,1 N</i>. 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).</p> <p>3.3.3 <i>Solución estándar de yodo 0,1 N</i>. 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).</p> <p>3.3.4 <i>Solución de almidón</i>. 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.</p> <p><b>3.4 Procedimiento</b></p> <p>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.</p> <p>3.4.2 Secar una porción de muestra del carbón pulverizado, a 140 °C por 2 h o también 110 °C por 3 h.</p> <p>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>.</p> <p>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.</p> <p>3.4.5 Colocar el frasco Erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento, llevar el contenido a ebullición y mantener así durante 30 s exactamente.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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>.</p> <p>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.</p> <p>NOTA 1. Pureza de los reactivos. Los reactivos utilizados en esta norma deben ser productos químicos con grado analítico.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> |
|--|

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

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2,1 \times B \times V_1)}{m_0}$$

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

$$A = N_1 \times 12693$$

$$B = N_1 \times 126,93$$

$V/m$  = mg de yodo absorbidos por g de carbón activado

$C$  = normalidad del filtrado residual (para calcular  $f$ )

$f$  = factor de corrección (ver Anexo C)

$V_1$  = volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0,1 N, en  $\text{cm}^3$

$N_1$  = normalidad de la solución estándar de yodo 0,1 N

$N_2$  = 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 15: 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, $[\text{KI}(\text{IO}_3)_2]$ (ver nota 3).

A.1 Pesar 3,249 g de biyodato de potasio 0,1N  $[\text{KI}(\text{IO}_3)_2]$  y llevar a un litro con agua destilada en un frasco volumétrico. Conservar en una botella de vidrio con tapa.

A.2 Añadir 80  $\text{cm}^3$  de agua destilada, mediante chorro constante, 1  $\text{cm}^3$  de ácido sulfúrico ( $d = 1,84$ ), 10  $\text{cm}^3$  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  $N_2$  se calcula mediante la ecuación siguiente:

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

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)

**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>1</sub> se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$N_1 = \frac{\text{cm}^3 \text{ tiosulfato de sodio utilizado por } N \text{ del tiosulfato}}{25}$$

(Continúa)

**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 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0090                              | 1,1625 | 1,1013 | 1,1000 | 1,1575 | 1,1550 | 1,1530 | 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 | 1,0875 | 1,0863 |
| 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 | 1,0338 | 1,0325 | 1,0313 |
| 0.0170                              | 1,0300 | 1,0288 | 1,0275 | 1,0263 | 1,0250 | 1,0248 | 1,0238 | 1,0225 | 1,0200 | 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                              | 0,9768 | 0,9775 | 0,9775 | 0,9763 | 0,9750 | 0,9750 | 0,9738 | 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 | 0,9600 | 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 | 0,9513 | 0,9513 | 0,9513 | 0,9500 | 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 | 0,9388 | 0,9388 | 0,9388 |
| 0.0300                              | 0,9375 | 0,9375 | 0,9375 | 0,9363 | 0,9363 | 0,9363 | 0,9363 | 0,9350 | 0,9350 | 0,9348 |
| 0.0310                              | 0,9333 | 0,9333 | 0,9325 | 0,9325 | 0,9325 | 0,9313 | 0,9313 | 0,9213 | 0,9300 | 0,9300 |
| 0.0320                              | 0,9300 | 0,9294 | 0,9288 | 0,9288 | 0,9288 | 0,9275 | 0,9275 | 0,9275 | 0,9270 | 0,9270 |
| 0.0330                              | 0,9263 | 0,9263 | 0,9257 | 0,9250 | 0,9250 | -      | -      | -      | -      | -      |

(Continúa)



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

*Fecha de entrega: 12 / 10 / 2021*

|  |
|--|
| <b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>   |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Harold Wladimir Guamushig Intriago</i>                |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>   |
| <b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>   |
| <b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Química</i>  |
| <b>Título a optar:</b> <i>Ingeniero Químico</i>                                      |
| <b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i> |

**LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE**

Firmado digitalmente  
por LEONARDO FABIO  
MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.10.12  
16:37:35 -05'00'



1530-DBRA-UTP-2021