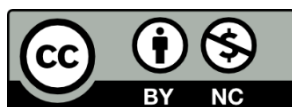


EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR OBTENIDO DE
LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananás comosus L*) POR EL MÉTODO DE ACTIVACIÓN FÍSICA
Y QUÍMICA



MILDRED CATHERINE VERGARA RODRÍGUEZ
TATIANA CAROLINA VILLAMIZAR VALENCIA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR OBTENIDO DE
LA CÁSCARA DE PIÑA (*Ananás comosus L*) POR EL MÉTODO DE
ACTIVACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA

MILDRED CATHERINE VERGARA RODRÍGUEZ
TATIANA CAROLINA VILLAMIZAR VALENCIA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniera ambiental

Directora

Doc. BEATRIZ ALEJANDRA ORTEGA SÁNCHEZ
Doctora en Nutrición Humana

Codirector

Mg. JONATHAN STEVEN MURCIA FANDIÑO
Magister en Ciencia y Tecnología Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. WILLIAM PEÑARANDA ZARATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación lo dedicamos principalmente a **Dios**, por ser nuestra inspiración y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener nuestro título universitario.

A mi hermano **Yersson Camilo Vergara**, siempre estaré en deuda contigo. Desde el fallecimiento de nuestro padre el 1 de octubre del 2018, renunciaste a tu vida normal y tomaste las responsabilidades del hogar. Especialmente, agradezco tu dedicación al destinar los salarios de tu trabajo para darme la oportunidad de continuar mis estudios y facilitarme los recursos requeridos por la profesión cuando pasaste por estas dificultades económicas.

A mi madre **Nury Esperanza Rodríguez**, agradezco tu constante apoyo y amor incondicional en los momentos más difíciles de mi etapa universitaria. Tu esfuerzo y ejemplo de trabajo han sido una guía invaluable mientras recorro mi propio camino.

A mi hermano **Harold Roney Vergara**, te agradezco por tus consejos, enseñanzas y por motivarme para que nunca me rinda frente a las complejas adversidades de la vida.

A mi segunda familia **Bibiana Katherine Amaya y Dora Isabel Rodríguez**, ustedes abrieron las puertas de su casa sin dudarlo tras la pérdida de mi padre, ofreciéndome un espacio de descanso y alentándome en mis estudios.

A mi jefe **María Barrios**, por aceptar ser mi mentora cuando más lo necesitaba, siempre recordaré la ayuda que me brindó al darme la oportunidad de recibir sus conocimientos y experiencias para empezar a ejercer en nuevas profesiones bajo su tutela.

A mi compañera de carrera **Tatiana Carolina Villamizar**, me alegra haberte tenido como colega de este trabajo, pasamos por problemas económicos, nuestra salud estuvo delicada en ciertos momentos y muchos dudaban de nuestra capacidad ante este proyecto, no obstante, seguiste a mi lado hasta culminar sin arrepentirte.

A todas las personas que conocieron mi proyecto y nunca dudaron de que lograría culminar este sueño, quienes siempre estuvieron brindándome palabras de aliento y ánimo hasta el final. **-Mildred Catherine Vergara Rodríguez.**

Este gran esfuerzo quiero dedicárselo a mi querida madre **Zoraida Valencia**, quien con su dedicación y amor han sido parte fundamental de mi vida y éxito académico. Mujer fuerte y luchadora que ha dado todo por mi crecimiento profesional, sin tu apoyo incondicional y tus consejos, este tan anhelado sueño no hubiese sido posible, te amo y nunca me alcanzara la vida para agradecerte todas las cosas que has hecho por mí.

A mi padre **Mauricio Villamizar**, quien ha sido mi pilar, y mi mayor motivación en este viaje académico, tu perseverancia y fortaleza han sido un gran ejemplo para seguir luchando por mis sueños, este logro es testimonio de tu sacrificio, paciencia y amor, te amo y te agradezco por siempre creer en mi incluso cuando yo no lo hacía.

A mis hermanos **Andrés Villamizar y Valentina Villamizar**, por su apoyo y cariño incondicional durante este proceso, gracias por su paciencia y sobre todo gracias por estar en los momentos más importantes de mi vida, con su amor me impulsan a salir adelante.

A mis abuelos paternos **Carlos Villamizar y Martha Vanegas**, quienes con su experiencia y sabiduría me motivaban a seguir luchando por mi carrera universitaria, gracias por sus consejos en los momentos de dificultades, por darme aliento y recordarme que puedo lograr cualquier cosa que me proponga.

A mi mejor amiga **Tatiana Escobar**, por ser parte de este proceso y por alentarme a seguir con la carrera. No tengo como agradecerte por ser tan incondicional a pesar de la distancia.

A mi compañera de carrera **Mildred Vergara**, que en los momentos de dificultad estuvo ahí para apoyarme. Gracias por tu paciencia y por tus consejos durante nuestro proceso académico, le doy gracias a Dios por haberte tenido como compañera de este proyecto de investigación.

A todas las personas que de una u otra forma estuvieron a mi lado dándome ánimos, y apoyo a que este gran sueño se volviera realidad. - **Tatiana Carolina Villamizar Valencia**

Agradecimientos

A la directora **Beatriz ortega Sánchez**, por ofrecernos su auxiliatura de investigación del proyecto aprobado por el FODEIN “Caracterización de las variedades frutales existentes en la biodiversidad de los llanos orientales con potencial tecnológico y agroindustrial” donde nos brindó los recursos y confió en nosotras para ejecutar el proyecto derivado de la auxiliatura enfocado en el tema de residuos y carbón activado, además, dedico su tiempo, conocimiento y esfuerzo al guiarnos en el proceso.

Al codirector **Jonathan Murcia Fandiño**, agradecemos la paciencia, exigencia, dedicación, tiempo y confianza por tomar el riesgo de aceptar ser el codirector cuando aún la auxiliatura todavía estaba en proceso de tramitación frente a la universidad.

Este trabajo abarco un tema desconocido para usted, sin embargo, afronto este nuevo reto y contribuyo a corregirnos cuando más lo necesitábamos.

A los profesores **Jorge Eliecer Pardo, Jair Esteban Burgos, Diego Andrey Cortez y Angélica María Bustamante**, por dedicarnos de su tiempo para aceptarnos en las tutorías donde nos daban consejos, correcciones y nuevas perspectivas frente al trabajo.

A los **comerciantes de los establecimientos de piña en el barrio La Nohora de Villavicencio**, por proporcionarnos información valiosa del sector en cuanto a la manipulación de los residuos y entregarnos de manera voluntaria el material de cascara de piña como fuente principal para la elaboración del trabajo.

A la **universidad Santo Tomas de Aquino sede Villavicencio** por formarnos con principios éticos, darnos una excelente formación académica y cedernos las herramientas básicas (bases de datos y laboratorios) requeridos para investigar.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	11
Abstract.....	12
1. Introducción.....	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos del macroproyecto.....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4. Objetivos de la auxiliatura.....	18
4.1 General.....	18
4.2 Específicos.....	18
5. Descripción y análisis de las actividades realizadas.....	19
5.1 Fase I: Recolección y determinación de la cantidad de residuos de cáscara de piña.....	19
5.2 Fase II: Preparación de carbón activado y cálculos de parámetros de calidad.....	23
5.2.1 Preparación de las muestras.....	23
5.2.1.1. Método de activación física.....	23
5.2.1.2 Método de activación química.....	26
5.2.2 Cálculo de parámetros.....	28
5.2.2.1 Humedad.....	29
5.2.2.2 Densidad aparente.....	31
5.2.2.3 Número de yodo.....	33
5.3 Fase III: Discusión de resultados y comparación de los datos con la guía NTC # 4273 de 1997.	36
5.3.1 Prueba de normalidad: Shapiro – Wilk.....	36
5.3.1.1 Humedad.....	37
5.3.1.2 Densidad aparente.....	38
5.3.1.3 Número de yodo.....	39
5.3.2 Método estadístico no paramétrico: Kruskal – Wallis.....	40

5.3.2.1 Humedad.....	41
5.3.2.2 Densidad aparente.....	41
5.3.2.3 Número de yodo.....	41
5.3.3 Revisión de la literatura.....	42
5.3.3.1 Activación física.....	42
5.3.3.2 Activación química.....	43
5.3.4 Comparación de los parámetros con la normativa.....	44
5.3.5 Comparación de los promedios de cada parámetro de calidad a través de graficas para determinar el método más adecuado.....	47
5.3.5.1 Humedad.....	47
5.3.5.2 Densidad aparente.....	48
5.3.5.3 Número de yodo.....	48
5.3.6 Reflexión critica.....	49
5.3.7 Impacto social, económico y ambiental.....	50
6. Conclusiones.....	52
7. Referencias.....	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Paso a paso del método de cuarteo.....	21
Tabla 2 Peso de cada componente de residuos	22
Tabla 3 Procedimiento para preparar muestras por activación física.....	24
Tabla 4 Procedimiento para preparar muestras por activación química	26
Tabla 5 Paso a paso del cálculo de humedad	29
Tabla 6 Porcentaje de humedad en los 3 ensayos experimentales por activación física y química.....	30
Tabla 7 Paso a paso del cálculo de densidad aparente	31
Tabla 8 Densidad aparente en los 3 ensayos experimentales por activación física y química.....	32
Tabla 9 Paso a paso para el cálculo del número de yodo.....	33
Tabla 10 Número de yodo en los 3 ensayos experimentales por activación física y química	35
Tabla 11 Comparación de la prueba de Shapiro- Wilk con activación física y química para el parámetro de humedad	37
Tabla 12 Comparación de la prueba de Shapiro- Wilk con activación física y química para el parámetro de densidad	38
Tabla 13 Comparación de la prueba de shapiro- Wilk con activación física y química para el parámetro de número de yodo	39
Tabla 14 Comparación de la prueba de Kruskall-Wallis con activación física y química para el parámetro de humedad	41
Tabla 15 Comparación de la prueba de Kruskall-Wallis con activación física y química para el parámetro de densidad aparente	41
Tabla 16 Comparación de la prueba de Kruskall-Wallis con activación física y química para el parámetro de número de yodo.....	42
Tabla 17 Caracterización de carbón activado por activación física de diferentes cascaras	42
Tabla 18 Caracterización de carbón activado por activación química de diferentes cascaras usando KOH al 25 %	43
Tabla 19 Comparación de los parámetros con la norma técnica colombiana 4273	45

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 y 2 Almacenamiento de los residuos generados en los diferentes establecimientos comerciales del barrio laNohora.....	20
Figura 3 Enumeración de cuadrantes para la separación de residuos en montos	21
Figura 4 Distribución porcentual de los residuos en uno de los establecimientos de piña de la Nohora.....	22
Figura 5 Distribución y variabilidad de los datos por activación física y química para humedad a través de diagrama de caja y bigotes.....	38
Figura 6 Distribución y variabilidad de los datos por activación física y química para densidad aparente a través de diagrama de caja y bigotes	39
Figura 7 Distribución y variabilidad de los datos por activación física y química para número de yodo aparente a través de diagrama de caja y bigotes	40
Figura 8 y 9 Humedad de activación física vs activación química para las muestras a temperatura de 300°C, 400°C y 600°C	47
Figura 10 y 11 Densidad de activación física vs activación química para las muestras a temperatura de 300°C, 400°C y 600°C	48
Figura 12 y 13 Numero de yodo de activación física vs activación química para las muestras a temperatura de 300°C, 400°C y 600°C.....	49

Resumen

El presente trabajo tiene el objetivo de determinar el método de activación adecuado para elaborar carbón activado granular a partir de cáscara de piña (*Ananás Comosus L*). El estudio fue realizado en 3 fases con 3 repeticiones de ensayos experimentales. En la primera fase, se realizó una caracterización de los residuos generados durante una semana en el barrio la Nohora el cual se encuentra ubicado a las afueras del municipio de Villavicencio por la vía que conduce al municipio de Acacias-Meta, los cuales se utilizaron como materia prima. La segunda fase comprende la preparación de las muestras mediante los dos métodos de activación: física y química. Por cada método de activación se generaron 9 muestras variando las temperaturas en el proceso de activación física, y empleando hidróxido de potasio en la activación química para calcular (humedad, densidad aparente y número de yodo) teniendo en cuenta lo establecido por la norma colombiana. En la tercera fase, a partir de los datos obtenidos se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y el método no paramétrico de Kruskal-Wallis como herramientas estadísticas cruciales. Por último, se realizó una comparación con la guía NTC # 4273 para garantizar que el carbón activado granular cumpla con los estándares requeridos y asimismo asegure su eficiencia en las diversas aplicaciones. Los resultados revelan que las condiciones óptimas para la producción de carbón activado granular de mayor calidad se alcanzan mediante el método de activación química a una temperatura de 600°C. Se identifican los siguientes parámetros fisicoquímicos para este tipo de carbón activado: humedad del 4,75%, densidad aparente de 0,36 g/cm³ y número de yodo de 712,11 mg/g. Se concluye que la activación química a 600°C es el método más eficiente para la producción de carbón activado granular a partir de cáscara de piña. Este método cumple con los estándares requeridos y garantiza la eficacia del producto en diversas aplicaciones.

La transformación de la cascara de piña en carbón activado granular tiene un potencial importante en la reducción de la cantidad de desechos agrícolas, contribuyendo de forma positiva en la disminución de la carga ambiental. Además, esta iniciativa podría generar oportunidades económicas y de desarrollo en comunidades cercanas a las plantaciones de piña, consolidando un ciclo más sostenible de recursos.

Palabras Claves: Carbón activado, activación física, activación química, residuos, hidróxido de potasio, temperatura.

Abstract

The present work aims to determine the appropriate activation method to make granular activated carbon from pineapple peel (*Ananás Comosus L*). The study was carried out in 3 phases with 3 repetitions of experimental trials. In the first phase, a characterization was made of the waste generated for a week in the Nohora neighborhood, which is located on the outskirts of the municipality of Villavicencio on the road that leads to the municipality of Acacias-Meta, which were used as raw material. The second phase includes the preparation of the samples through the two activation methods: physical and chemical. For each activation method, 9 samples were generated by varying the temperatures in the physical activation process, and using potassium hydroxide in the chemical activation to calculate (humidity, apparent density and number of iode) taking into account the provisions of the Colombian norm. In the third phase, from the data obtained, the Shapiro-Wilk normality test and the Kruskal-Wallis non-parametric method were used as crucial statistical tools. Finally, a comparison was made with NTC guide # 4273 to ensure that granular activated carbon meets the required standards and also ensures its efficiency in the various applications.

The results reveal that the optimal conditions for the production of higher quality granular activated carbon are achieved by the method of chemical activation at a temperature of 600°C. The following physicochemical parameters are identified for this type of activated carbon: humidity of 4.75%, apparent density of 0.36 g/cm³ and iodine number of 712.11 mg/g. It is concluded that chemical activation at 600°C is the most efficient method for the production of granular activated carbon from pineapple peel. This method meets the required standards and guarantees the effectiveness of the product in various applications.

The transformation of pineapple shell into granular activated carbon has an important potential in reducing the amount of agricultural waste, contributing positively to the reduction of the environmental burden. In addition, this initiative could generate economic and development opportunities in communities close to pineapple plantations, consolidating a more sustainable cycle of resources.

Key Words: Activated carbon, physical activation, chemical activation, residues, potassium hydroxide, temperature.

1. Introducción

En la actualidad, Colombia es uno de los países con mayor potencial en el desarrollo agrícola debido a su diversidad climática, topográfica y disponibilidad de recursos naturales para producir alimentos hacia la población. Entre estos, uno de los cultivos más representativos son las frutas, corresponden al 15 % en áreas sembradas de territorio nacional (Carrillo Quijano et al., 2013).

Las frutas hacen parte fundamental del grupo de alimentos, ya que poseen una alta concentración de vitaminas, fibras y minerales disminuyendo el riesgo de presión arterial, enfermedades pulmonares y cardiovasculares (Pem & Jeewon, 2015). Por los beneficios hacia la salud humana, es bastante solicitado, lo cual, es sometido a distintos procesos logrando nuevos productos a fin desatisfacer las necesidades de los consumidores (Alves et al., 2021).

En consecuencia, un tercio de los alimentos destinados a la población, se desperdician o pierden durante la cadena alimentaria, generando una gran cantidad de residuos (Eguillor, 2019). Con basea ello, es necesario adoptar tecnologías agroindustriales, enfocándose en los diferentes tipos de frutas para aprovechar los residuos de cáscara como material en la fabricación de subproductos de valor agregado y disminución del uso de recursos naturales (Chaouch & Benvenuti, 2020).

Las investigaciones centradas en la caracterización fisicoquímica de los residuos de frutas demostraron que la cascara posee un alto contenido en el componente de carbono, lo cual, hace que este tipo de residuos orgánicos puedan ser un reemplazo de la materia prima (madera, huesos de animales, turba e hidrocarburos petroquímicos) costosa manipulada por las industrias donde fabrican carbón activado (Luna et al., 2007). El material es clave para el buen funcionamiento del carbón vegetal porque dependiendo de su composición fisicoquímica y el método de activación, alteraría el gran volumen de poros y área superficial que absorben los contaminantes, compuestos, colores u olores en el agua, suelo o aire (Yacob et al., 2015).

Estas partes del carbón activado son esenciales pues hacen parte del soporte que depura líquidos y gases a través de la retención de las moléculas de contaminantes, colores y olores en los microporos hasta saturar la superficie convirtiéndolo en uno de los adsorbentes más aplicados por suplir las necesidades básicas de eliminar impurezas nocivas, es simple de manipular y económico (Alves et al., 2021).

Aun cuando ejecuten estudios enfocados en usar diferentes cáscaras como el caso del coco, cacao y el bambú usando el método de activación física para someter el material a temperaturas desde 300 a 800°C para caracterizar el subproducto de la misma manera que la naranja, el mangostino y pulpa de café bajo la activación química agregando un agente activante (ácido fosfórico, cloruro de zinc y ácido sulfúrico), hay pocas investigaciones que evalúen la calidad del carbón activado proveniente de la cascara de piña manipulando ambos métodos de activación (Arrocha et al., 2019).

La importancia de este trabajo es emplear la cascara de la piña “*Ananás comosus*” desperdiciada en uno de los sectores comerciales de Villavicencio para elaborar un subproducto capaz de retener contaminantes orgánicos e inorgánicos evaluando su mejor calidad a partir de la comparación de muestras con el método de activación física a tres temperaturas diferentes y el método de activación química adicionando el reactivo químico hidróxido de potasio midiendo los parámetros (humedad, densidad aparente y número de yodo) y comparando bajo la NTC 4273:1997.

Así mismo, le aportara al tercer objetivo específico de la implementación de una tecnología del aprovechamiento agroindustrial y tecnológico del macroproyecto “Caracterización de las variedades frutales existentes en la biodiversidad de los llanos orientales con potencial tecnológico y agroindustrial” enfocado en realizar un estudio sobre la caracterización de la capacidad antioxidante de la cocona, badea y piña amazónica contribuyéndole información y valor a la biodiversidad del llano.

2. Justificación

La cáscara de piña son desechos generados en cantidades significativas por la industria agroalimentaria, si estos desechos no son gestionados adecuadamente, pueden convertirse en un problema ambiental (Cury R et al., 2017). Por ende, suscita la necesidad de emprender una investigación para el desarrollo de una alternativa que contribuya a disminuir el impacto negativo que hay sobre el manejo inadecuado de los desperdicios de frutas, con la finalidad de promover el aprovechamiento de esta materia prima y darle un valor agregado para la obtención de subproductos de interés ambiental y comercial (Asnawi et al., 2019).

El carbón activado granular, conocido por su extensa estructura de poros internos y una alta superficie específica, es uno de los materiales más absorbentes utilizados en la actualidad. Para efectos de este estudio, se opta por llevar a cabo la obtención de carbón activado a partir de cáscarade piña (*Ananas comosus L*) (Tan Ivy, 2008). Esta elección se justifica dado que este material se emplea ampliamente en la eliminación de olores, sabores, y un sin número de impurezas de origenorgánico durante el tratamiento de agua para el uso industrial o doméstico (Sánchez, 2011). Además, es utilizado en la remoción de color, recuperación de solventes, en las industrias farmacéuticas y médicas, en las diversas esencias azucaradas y en el control de la contaminación ambiental (Fajardo, 2022).

Esta investigación no solo busca impulsar la economía del sector agrícola, dado que actualmenteeste subproducto carece de valor monetario al considerarse un desecho, sino que también pretendeterminar que método de activación ofrece una mayor eficiencia y calidad para la elaboración decarbón activado granular a partir de la cascara de piña, brindando una alternativa para elaprovechamiento de este residuo, contribuyendo con el cuidado del medio ambiente y el desarrollostenible, reduciendo la contaminación ambiental mediante el uso de la materia prima, por lo tanto,haciendo uso racional de los recursos naturales (Bacaoui et al., 2019).

Además, busca aportar conocimiento científico y tecnológico al evaluar y comparar la calidad del carbón activado obtenido por métodos de activación física y química. Esta investigación puede proporcionar información crucial sobre la idoneidad de estos métodos para la producción eficiente de carbón activado de alta calidad, con posibles aplicaciones en diversas industrias, como la farmacéutica, alimentaria y medioambiental. La evaluación de la calidad del carbón activado granular obtenido de la cáscara de piña por métodos de activación física y química no solo responde

a la necesidad de gestionar los residuos agroindustriales, sino que también abre oportunidades para el desarrollo económico, social y ambiental, alineándose con los principios de sostenibilidad y promoviendo la investigación innovadora.

Finalmente, el estudio aporta de manera significativa al macroproyecto “*Caracterización de las variedades frutales existentes en la biodiversidad de los llanos orientales con potencial tecnológico y agroindustrial*” en varias dimensiones fundamentales. En primer lugar, este proyecto aborda la utilización innovadora de la cascara de piña, un subproducto de la industria agroalimentaria común en la región de los llanos orientales, convirtiéndolo en carbón activado granular de alta calidad, contribuyendo al aspecto agroindustrial del mismo al proponer una alternativa, promoviendo asimismo la gestión eficiente de los residuos agrícolas. Esta investigación no solo enfatiza la sostenibilidad al reducir los residuos agrícolas, sino que también ofrece posibles aplicaciones prácticas en el ámbito agroindustrial regional, alineándose con el propósito fundamental del macroproyecto de identificar y promover el potencial tecnológico y agroindustrial de las variedades frutales en los Llanos Orientales.

3. Objetivos del macroproyecto

3.1 Objetivo general

Caracterizar las capacidades antioxidantes de las frutas nativas cocona, badea y piña amazónica de los llanos orientales.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar propiedades físicas y químicas de variedades frutales nativas de los Llanos Orientales.
- Establecer la actividad antioxidante de las variedades de frutales nativas de los Llanos orientales.
- Implementar tecnologías para el aprovechamiento agroindustrial y tecnológico de las variedades de frutales nativas de los llanos orientales.

4. Objetivos de la auxiliatura

4.1 General

Determinar la calidad del carbón activado granular proveniente de la cáscara de piña (*Ananás comosus L*) mediante ensayos experimentales por activación física y química para escoger el mejor método.

4.2 Específicos

- Determinar la cantidad de residuos de la cáscara de piña durante una semana proveniente de un establecimiento ubicado en el barrio La Nohora.
- Calcular los parámetros de calidad del carbón activado (Humedad, densidad aparente y determinación del número de yodo) obtenidos por activación física y química.
- Realizar discusión de resultados obtenidos a partir de la comparación entre los carbones por activación física y química con relación a la Norma Técnica Colombiana 4273:1997.

5. Descripción y análisis de las actividades realizadas

Para realizar el presente trabajo, se dividió en 3 fases. A continuación, se describen las actividades para cada fase:

- Fase I: Recolección y determinación de la cantidad de residuos de cáscara de piña a partir del uso del método de cuarteo de residuos sólidos.
- Fase II: Preparación de las muestras bajo el método de activación física y química para las 3 repeticiones de ensayos experimentales (humedad, densidad aparente y número de yodo).
- Fase III: Discusión de resultados y comparación de los datos con la guía NTC # 4273.

El procedimiento completo es:

5.1 Fase I: Recolección y determinación de la cantidad de residuos de cáscara de piña

Antes de comenzar la recolección del material para las muestras de carbón activado, se hizo una revisión en los diferentes establecimientos de la Nohora con el fin de identificar el estado de la cáscara puesto que en el sitio comienzan a atender desde las 6:00 am hasta las 10:00 pm todos los días donde descascaran la fruta, lunes, miércoles y viernes durante la mañana dejando acumular los residuos de piña (cáscara, corona y corazón) junto a otros materiales desconocidos.

Es importante tener buenas condiciones en la materia prima para elaborar el subproducto de carbón activado debido a la descomposición de la piña por las enzimas, estas cambian la textura y conformación de los alimentos dándole una posible alteración a la muestra como su capacidad de adsorber contaminantes a través de los poros (Egúsquiza, 2016).

Las Figuras 1 y 2, muestran la ausencia de un buen manejo de residuos en cuanto a almacenamiento y separación dejando acumular el material durante varios días en canastillas y canecas plásticas formando vectores (mosquitos y roedores) por la descomposición de la piña.

Figura 1 y 2

Almacenamiento de los residuos generados en los diferentes establecimientos comerciales del barrio la Nohora



Nota. En ninguno de los 22 establecimientos comerciales aplican el código de bolsas de colores para la separación porque los vendedores lo ven como desperdicios complejos sin valor acumulándolos al fondo del local.

Los comerciantes no implementan la adecuada separación de residuos, evitan la adquisición de contenedores aptos para el almacenamiento y en la mayoría de los establecimientos se abstienen de entregar los desechos a la empresa de aseo Villavicencio “Bioagrícola del Llano” de acuerdo a sus días de recolección porque ven tales acciones innecesarias al estar concentrados solamente en comercializar los paquetes de rodajas de piña provocando pérdidas de un material valioso.

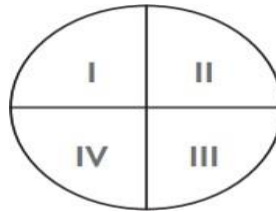
La caracterización fue realizada en uno de los establecimientos comerciales de piña con el propósito de identificar el potencial del reusó de la cascara proveniente de uno de los establecimientos de La Nohora para emplearse como materia prima en la elaboración del subproducto de carbón activado granular por activación física y química.

Luego de realizar la recolección, se llevó a cabo el método de cuarteo para estimar si los residuos de la cascara de piña generados durante 1 semana son adecuados y suficientes para la preparación de 9 muestras por activación física y 9 muestras de activación química con los siguientes pasos (Montoya, 2012):

1. Esparcir los residuos formando un montón homogéneo sobre una bolsa negra grande evitando dejarlos en el suelo, luego es dividido en 4 partes iguales.
2. Escoger dos partes opuestas para formar un monto más pequeño como la Figura 3.

Figura 3

Enumeración de cuadrantes para la separación de residuos en montos



Nota. Debe ser el cuadrante 1-3 o 2-4 para el cuarteo.

3. Separar los residuos y clasificarlos.
4. Por cada componente, sacar el porcentaje a partir del pesaje en la balanza.

El registro fotográfico de los anteriores pasos se encuentra en la Tabla 1, está evidenciado el proceso desde la formación de los diferentes residuos húmedos hasta la adecuación del material para clasificar y estimar la muestra total.

Tabla 1

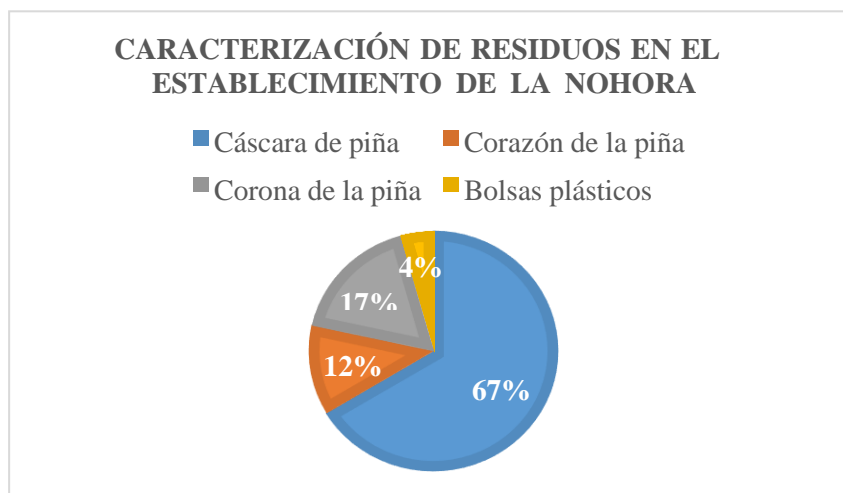
Paso a paso del método de cuarteo

Esparcimiento de los residuos	División de los residuos	Selección de 2 cuadrantes	Clasificación de los residuos
Pesaje de cada componente			

Los datos obtenidos de la caracterización de residuos provenientes de uno de los establecimientos comerciales del barrio la Nohora presentados en la Figura 4 reflejan diferentes tipos de residuos y el porcentaje que poseen cada uno dando como muestra total 5.8 kg siendo el resultado de los cuadrantes 2 y 4 escogidos según como lo establece la Guía de Caracterización y Cuantificación de Residuos Sólidos de la Universidad UNIMINUTO (Alayón, 2021).

Figura 4

Distribución porcentual de los residuos en uno de los establecimientos de piña de la Nohora



Nota. El 95.6 % de residuos pertenecen a la piña, pero existe la presencia de otros residuos. Mientras, en los cuadrantes seleccionados solo había plástico, en los otros hay cáscara de patilla, ramas y hojas.

Aun cuando el volumen de la muestra total fue muy bajo, era necesario hacer este procedimiento para conocer la cantidad de cascara de piña evidenciada en la Tabla 2.

Tabla 2

Peso de cada componente de residuos

Residuos	Peso (kg)	Porcentaje de cada componente (%)
Cáscara de piña	3,85	66,37
Corazón de la piña	0,70	12,06
Corona de la piña	1,00	17,24
Bolsas plásticas	0,25	4,31
Total	5,80	100

La cantidad de cascara de piña demostró ser suficiente y no presento degradación siendo apta para las muestras de carbón activado granular.

5.2 Fase II: Preparación de carbón activado y cálculos de parámetros de calidad.

5.2.1 Preparación de las muestras

Los métodos para obtener carbón activado granular fue activación física y química. La activación térmica o física es la más usada pues somete la materia prima a temperaturas altas de 400 a 800°C aplicando gases como dióxido de carbono, vapor de agua u otro sobre el material mientras la activación química es un proceso donde lleva a cabo la descomposición de la materia prima por agentes químicos, los más usados son hidróxido de potasio, ácido sulfúrico y otros (Grisales & Rojas, 2016).

Por cada método de activación, se sacaron 3 muestras, ya que cada una se sometió a temperaturas 300°C, 400°C y 600°C. Estas temperaturas se seleccionaron porque la cascara de piña no puede soportar temperaturas superiores a 600°C. A temperaturas altas, aquellos componentes orgánicos del material se descompondrían rápidamente antes de convertirse en carbón provocando el daño para la estructura porosa y resultaría en la pérdida del subproducto.

A fin de asegurar la precisión de los resultados en la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, se realizaron 3 repeticiones por cada temperatura, siendo un total de 9 muestras.

5.2.1.1. Método de activación física. En la Tabla 3, se describe el proceso y los materiales para transformar la cáscara de piña desde la adecuación del material hasta el envasado del adsorbente de carbón activado sin la aplicación de un gas activante para la obtención de 9 muestras.

Se siguió la metodología descrita por la investigación de Burgos y Jaramillo realizada en Ecuador, donde aprovecharon los residuos de la cascara de cacao y coco para obtener carbón activado por el método de activación física dado que describían las condiciones a someter el material por cada operación, sin embargo, hubo cambios porque (Burgos & Jaramillo, 2015):

1. El material estuvo expuesto en canecas plásticas al aire libre por varios días proporcionando mayor humedad siendo colocado en el horno por más tiempo durante el proceso de secado.
2. No se contaba con un equipo para triturar el material de forma sencilla siendo adecuado hacerlo manualmente con morteros de porcelana.
3. Se adiciono la operación de tamizado a fin de estimar el tamaño del material.
4. En la operación de carbonización, el tiempo de exposición del material ante la mufla fue reducido porque la primera muestra a un tiempo fijo de 60 minutos empezó a transformarse en cenizas calcinadas.
5. En la operación de secado, la temperatura fue disminuida evitando dañar las muestras.

Tabla 3*Procedimiento para preparar muestras por activación física*




Operación	Descripción	Figuras
Pesaje	La cáscara de piña en total fue de 270 g por los dos métodos de activación física y química, por ello, se usó la balanza para pesar 540 g, esto se hizo debido a que puede existir desperdicio de cáscara en las mediciones usando para cada muestra 30 g.	
Secado	El material fue almacenado en una bandeja de aluminio a 90° C durante 4 días a fin de disminuir la humedad del material y su dureza para tritararlo en la siguiente operación.	
Molienda	Al tener seco y liviano el material, es necesario tritararlo con un mortero de laboratorio durante 240 minutos (4 horas) para fraccionar los granos teniendo una mayor.	

Tabla 3*Continuación*

Tamizado Antes de carbonizar el material, fue pasado por los tamices número 12 (abertura tamiz 1.70 mm), número 14 (abertura tamiz 1.40 mm), número 16 (abertura tamiz 1.18 mm), número 20 (abertura tamiz 0.85 mm), número 30 (abertura tamiz 0.60 mm) y número 40 (abertura tamiz 0.42 mm) para proporcionarle uniformidad a los granos.



Carbonización Al conocer el tamaño de la partícula del material, se deja en cada capsula de porcelana 30 g del material por 30 minutos a diferentes temperaturas (300°C, 400°C y 600°C).



Calentamiento Cada muestra carbonizada fue colocada en un horno a 500°C por 60 minutos a fin de retirar el material lignocelulósico contenido.



Lavado Otro material contenido en la cáscara es la lignina, la cual, fue retirada de las muestras a través de la filtración con agua destilada, papel filtro, un Erlenmeyer de 250 ml y un embudo Buchner por 60 minutos



Secado y envasado Por último, cada muestra fue llevada al horno a 90°C durante 120 minutos para secado y envasado en bolsas herméticas.



Nota. El procedimiento fue adaptado de Burgos Campuzano & Jaramillo Quiroz, 2015.

5.2.1.2 Método de activación química. En la Tabla 4, al igual que en la activación física, se describe el procedimiento de cada operación para llevar a cabo la preparación de la cáscara de piña en carbón activado a diferentes temperaturas, sin embargo, es adicionado el agente químico hidróxido de potasio (Wang et al., 2023).

Se siguió la metodología descrita por la investigación donde manipularon residuos celulósicos de la piña (cascara) para la fabricación de carbón activado por activación química con el reactivo de ácido fosfórico en México dado que plantearon el mismo proceso de elaboración de muestras por activación física de la investigación de la cascara de cacao y coco, pero bajo otras condiciones(tiempo, temperatura y aplicación de un agente químico) (Jiménez, 2014).

Por el estado de la cascara de piña, se dejaron los mismos pasos para elaborar el subproducto tanto para activación física como química y cambiando el reactivo de ácido fosfórico a hidróxido de potasio porque este deja el carbón con bajo contenido en material volátil y alto en carbono.

Tabla 4
Procedimiento para preparar muestras por activación química



Operación	Descripción	Figuras
Pesaje	Esta operación ya se llevó a cabo durante el procedimiento de activación física, donde se apartaron 270 g de cáscara de piña para la activación química.	
Secado	Los 30 g de material son colocados en una bandeja de aluminio y fue dejado durante 4 días a 90°C para reducir el alto porcentaje de humedad. Es importante tener seca la cáscara de piña, de lo contrario, el siguiente paso no se podrá llevar a cabo pues al momento de triturarlo, este se convertirá en una masa compleja de adecuar.	

Tabla 4*Continuación*

Molienda	Una vez seco el material, es triturado manualmente con un mortero de porcelana durante 240 minutos gramo por gramo para rebajar el tamaño.
Tamizado	El material es sometido a pasar por los tamices número 12 (abertura tamiz 1.70 mm), número 14 (abertura tamiz 1.40 mm), número 16 (abertura tamiz 1.18 mm), número 20 (abertura tamiz 0.85 mm), número 30 (abertura tamiz 0.60 mm) y número 40 (abertura tamiz 0.42 mm) a fin de definir la uniformidad y tamaño del grano.
Carbonización	En 3 cápsulas de porcelanas se colocaron 30 g del material tamizado dirigidas a la mufla por 30 minutos a diferentes temperaturas (300°C, 400°C y 600°C)
Adicionamiento	Antes de adicionar el reactivo en cada muestra carbonizada, debe ser preparada la solución pues el hidróxido de potasio está en escamas, por ello, se pesó 90 g del reactivo y se adicionó en 100 ml de agua destilada hacia un vaso precipitado de 250 ml donde se disolvió y agitó en una plancha de calentamiento en 30 minutos. Luego de preparar y adicionar 30 ml de solución a cada muestra, fue dejada en reposo durante 24 horas para que el material retenga la sustancia.



Tabla 4*Continuación*

Lavado Las muestras con hidróxido de potasio se sometieron a lavado en 3 vasos precipitados de 250 ml adicionando agua destilada para remover los residuos de la solución. Estuvieron en reposo durante 60 minutos.



Filtración El agua contenida en las muestras del proceso anterior se removió en 3 embudos Buhner con papel filtro sobre vasos de precipitado de 250 ml por 60 minutos.



Secado y envasado Por último, cada muestra fue llevada al horno a 100°C durante 12 horas para secado y envasados en bolsas herméticas.



Nota. El procedimiento fue adaptado de Jiménez José, 2014.

5.2.2 Cálculo de parámetros

Los parámetros que determinaron la calidad del carbón activado granulado fueron humedad, densidad aparente y número de yodo, están bajo la NTC 4467 de 1998 donde especifica cuáles métodos de ensayos debe pasar el subproducto a fin de saber la efectividad de adsorción. Solamente se escogieron 3 parámetros debido a:

1. Un alto porcentaje de humedad limita la retención de las cantidades de adsorción del contaminante.

2. Un alto nivel de densidad es satisfactorio en el subproducto al poseer mayor área para eliminar grandes cantidades de adsorbato (contaminante) en el medio (Heyduk, 2016).
3. Los índices de yodo indican la porosidad del subproducto donde hace el proceso de adsorción (Vejarano & Casas, 2021).

5.2.2.1 Humedad. El porcentaje de humedad refleja la pérdida de peso por evaporación de agua en las muestras a partir del pesaje de 2 gramos del material y secado en una estufa por 2 horas a 110°C para volver a pesar como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5
Paso a paso del cálculo de humedad

Pesaje del material antes del horno	Secado del material	Pesaje del material después del horno
		

El cálculo del porcentaje de humedad es con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} * 100$$

Conforme a la ecuación, los datos obtenidos por activación física y química fueron registrados en la Tabla 6, este es uno de los parámetros donde presenta variabilidad en los datos teniendo en cuenta que la humedad puede originarse del agua por el material precursor y los lavados durante las operaciones de la preparación de las muestras.



Tabla 6*Porcentaje de humedad en los 3 ensayos experimentales por activación física y química*

Método de activación	# Repetición	Temperatura (°C)	Muestra antes del horno (g)	Muestra después del horno (g)	Pérdida de peso de la muestra (g)	% Humedad
Activación física	1	300	2,00	1,85	0,14	7,20
	2		1,98	1,83	0,15	7,57
	3		1,99	1,84	0,15	7,90
	1	400	2,03	1,90	0,13	6,40
	2		2,07	2,00	0,07	3,38
	3		2,18	2,08	0,10	4,58
	1	600	2,01	1,93	0,08	3,98
	2		2,04	2,01	0,03	1,46
	3		2,08	1,99	0,09	4,32
Activación química	1	300	1,99	1,84	0,15	7,90
	2		2,00	1,84	0,16	8,00
	3		2,00	1,84	0,15	7,79
	1	400	2,00	1,94	0,06	3,04
	2		2,03	1,88	0,14	6,94
	3		2,01	1,86	0,141	7,01
	1	600	2,00	1,96	0,04	2,04
	2		2,02	1,91	0,10	5,29
	3		2,05	1,90	0,14	6,92

5.2.2.2 Densidad aparente. Fue determinada la densidad en las muestras pasando con cuidado una tercera parte de los 10 gramos del material a una probeta graduada de 50 a 100 ml donde se apisona con un tapón mientras se va agregando más cantidad hasta transferir toda la muestra por 5 minutos registrando el volumen resultante como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Paso a paso del cálculo de densidad aparente

Transferencia del material en la probeta	Volumen del material
	

El cálculo de densidad aparente es con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(\text{Peso de la muestra en gramos}) * (100 - \% \text{ humedad})}{(\text{volumen de la muestra en centímetros cúbicos}) * 100}$$

Conforme a la ecuación, los datos obtenidos por activación física y química fueron registrados en la Tabla 8, este parámetro tiene en cuenta la humedad y el volumen de las muestras de carbón activado donde demuestra si existe un alto nivel de densidad mayor factibilidad será la eliminación del adsorbato por unidad de volumen del adsorbente.

Tabla 8*Densidad aparente en los 3 ensayos experimentales por activación física y química*

Método de activación	# Repetición	Temperatura (°C)	Muestra	% Humedad	Volumen de la muestra en la probeta (ml)	Densidad aparente (g/cm ³)
Activación física	1	300	10,10	7,20	50	0,18
	2		10,50	4,60	45	0,22
	3		10,20	7,57	37	0,25
	1	400	10,03	6,40	42	0,22
	2		10,00	3,38	30	0,32
	3		10,00	4,58	32	0,29
	1	600	10,00	3,98	35	0,27
	2		10,10	1,46	25	0,39
	3		10,30	4,32	28	0,35
Activación química	1	300	10,00	7,90	35	0,26
	2		10,10	8,00	33	0,28
	3		10,05	7,79	34	0,27
	1	400	10,05	3,04	33	0,29
	2		10,02	6,94	28	0,33
	3		10,01	7,01	29	0,32
	1	600	10,00	2,04	27	0,36
	2		10,00	5,29	25	0,37
	3		10,10	6,92	26	0,36

5.2.2.3 Número de yodo. Fue determinado el número de yodo en las muestras a partir del siguiente procedimiento:

1. Pesaje de 0,65 g para colocar en un Erlenmeyer de 250 ml y transferida con una pipeta 10 ml de solución de HCl (5 % en peso).
2. La muestra remojada con solución es llevada a ebullición durante 30 s y son transferidos 50 ml de solución de yodo con una pipeta de 50 ml. Es tapada y agitada el Erlenmeyer durante 30 segundos y filtrado mediante un papel filtro.
3. Una vez filtrada la muestra, son tomados con una pipeta 25 ml a un Erlenmeyer de 250 ml y setitula con tiosulfato de sodio 0,1 N (solución estandarizada) hasta cambiar de tono a amarillo pálido. Por último, es agregado 1 ml de almidón (indicador) para tomar una coloración de tonalidad azul y se continúa hasta decolorar la solución.
4. Tomar el dato de la cantidad de tiosulfato de sodio usado.

Las evidencias fotográficas están en la Tabla 9, el procedimiento varió en cada una de las muestras pues en el momento de la titulación hubo diferencias en el uso de mililitros de tiosulfato de sodio 0,1 N para el cambio de tonalidad a amarillo pálido.

Tabla 9

Paso a paso para el cálculo del número de yodo

Pesaje del material	Muestra en Erlenmeyer con solución de yodo	Titulación con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N	Adición de indicador de almidón
			

Las fórmulas para el cálculo del dato son:

$$\frac{x}{m} = \frac{A * (2,4 * B * \text{mililitros usado de la solución de tiosulfato})}{\text{gramos de carbón empleado}}$$

X/M = mg de yodo adsorbidos por gramo de carbón.

Donde:

2,4 = Factor de alícuota cuando se emplea HCl.

$$A = N_1 * 6\,346,5$$

$$B = N_2 * 126,93$$

N_1 = Normalidad de solución de yodo.

Luego:

$$C = \frac{N_2 * \text{ml de tiosulfato gastado}}{25 \text{ ml}}$$

Donde:

C = Normalidad residual del filtrado

N_2 = Normalidad de solución de tiosulfato de sodio

$$\text{Número de yodo} = (X/M) * D$$

D = Normalidad del filtrado residual C (El dato debe verse en la tabla de la NTC 4467).

Conforme a la ecuación, los datos obtenidos por activación física y química fueron registrados en la Tabla 10, el indicador de yodo demuestra ser un factor importante a la hora de verificar la calidad del carbón activado porque mientras mayor es el dato entonces mayor capacidad de adsorción habrá.

Lo anterior se debe a la proporción con el área superficial, el yodo es alojado en los poros dondees la adsorción, si hay una acumulación entonces el área superficial crecerá haciendo los poros máspequeños y brindando mayor vida útil de duración.

Tabla 10*Número de yodo en los 3 ensayos experimentales por activación física y química*

Método de activación	# Repetición	Temperatura(°C)	Muestra	A	B	N1	N2	C	D	X/M	ml tiosulfato de sodio	Número de yodo (mg/g)
Activación física	1	300	0,65	634,65	11,4237	0,1	0,09	0,028	0,943	637,9	8	602,1
	2							0,021	0,988	725,5	6	717,4
	3							0,023	0,976	698,9	6,5	682,4
	1	400	0,64	634,65	11,4237	0,1	0,09	0,025	0,963	680,0	7	655,4
	2							0,014	1,061	810,1	4	859,8
	3							0,025	0,963	677,9	7	653,4
	1	600	0,65	634,65	11,4237	0,1	0,09	0,030	0,936	616,9	8,5	577,6
	2							0,019	1,002	746,6	5,5	748,5
	3							0,016	1,039	782,9	4,5	814,2
	1	300	0,64	634,65	11,4237	0,1	0,09	0,012	1,086	833,8	3,5	905,8
	2							0,025	0,963	681,1	7	656,4
	3							0,021	0,988	718,8	6	710,8

Tabla 10*Continuación*

	1	400	0,65	634, 65	11,4 237	0,1	0,09	0,01 8	1,02	770, 2	5	785, 6
	2							0,01 9	1,00 2	744, 3	5,5	746, 2
Activación química	3							0,016	1,039	781,7	4,5	812,9
<hr/>												
	1	600	0,65 4	634, 65	11,4 237	0,1	0,09	0,02 3	0,97 6	706, 5	6,5	689, 8
	2							0,01 4	10,1 6	807, 6	4	820, 8
	3							0,02 7	0,95 3	655, 9	7,5	625, 6
<hr/>												

5.3 Fase III: Discusión de resultados y comparación de los datos con la guía NTC # 4273 de 1997.

5.3.1 Prueba de normalidad: Shapiro – Wilk

La prueba de Shapiro-Wilk es un test estadístico aplicado para grupos de datos pequeños (2 a 50 datos) donde se determina si el conjunto de datos presenta una distribución normal. Esta prueba clasifica el conjunto de datos en dos hipótesis, la hipótesis nula es cuando los datos de cierta población poseen una distribución normal (existe una simetría que coincide con la mediana, media y demás características) mientras la hipótesis alternativa no procede para los datos una distribución normal (Rynearson & Madrid, 2022).

De acuerdo con lo anterior, se empleó esta prueba en el programa “Spyder” bajo un comando de códigos puesto que por cada parámetro hay 9 datos para activación física y 9 datos en la activación química, además, es necesario estimar si el conjunto de datos sacados en el laboratorio posee o no un comportamiento normal para determinar si se aplica una prueba paramétrica o no paramétrica.

5.3.1.1 Humedad. En la Tabla 11, la activación física obtuvo un valor de normalidad (P) igual a 0,5364; según la prueba de normalidad dado que el valor es mayor a 0,05 demuestra que la hipótesis nula (H_0) es verdadera (no hay pruebas para rechazar la hipótesis) comprobando que la mayoría de datos están agrupados en un mismo rango de valor cerca de la media siendo confiables para la investigación, sin embargo, en la activación química, al obtener un valor de normalidad (P) igual a 0,0286; está clasificada como una hipótesis alternativa (H_1) donde no hay una distribución normal (los datos están alejados de la media y están sujetos a una alta desviación estándar puesto que va la serie de datos desde 2,04 a 8 % de humedad).

Tabla 11

Comparación de la prueba de Shapiro- Wilk con activación física y química para el parámetro de humedad

Método de activación	Normalidad de Shapiro-Wilk
Activación física	0,5364590883255005
Activación química	0,02868657000362873

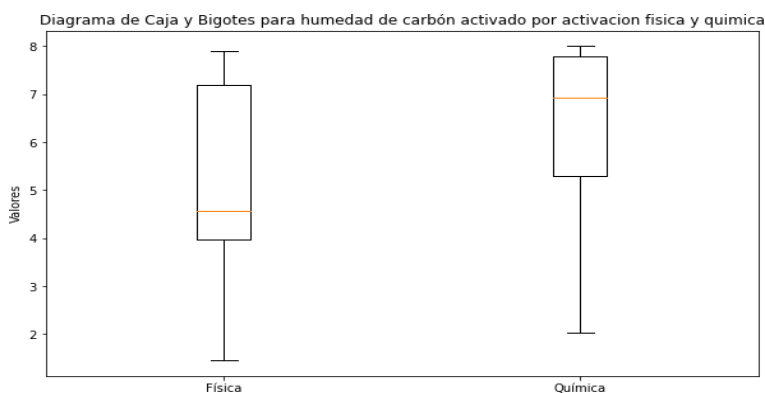
En la Figura 5, se representa el diagrama de caja y bigotes donde la activación física posee los cuartiles $Q_1= 3,68$; Q_2 (mediana)= 4,58 y $Q_3= 7,385$ mientras la activación química muestra cuartiles de $Q_1= 4,165$; Q_2 (mediana)= 6,94 y $Q_3= 7,845$.

De acuerdo con los anteriores cuartiles, se puede decir que:

1. En la activación física, los cuartiles 2 y 3 contiene la mayoría de datos, evitando la simetría del diagrama.
2. En la activación química, los cuartiles 1 y 2 contienen la mayoría de datos, comprobando la asimetría del diagrama, aunque comparándose con el otro método, posee menor variabilidad de distribución.

Figura 5

Distribución y variabilidad de los datos por activación física y química para humedad a través de diagrama de caja y bigotes



5.3.1.2 Densidad aparente. En la Tabla 12, la activación física obtuvo un valor de normalidad (P) igual a 0,9320 y para la activación química un valor de normalidad (P) de 0,2975; según la prueba de normalidad, al tener un valor mayor a 0,05 demuestran presentar una hipótesis nula (H_0) siendo el conjunto de datos para ambos métodos de activación categorizados como una distribución normal (la mitad de los datos están sujetos a la izquierda de la media mientras la otra mitad a la derecha) demostrando que no existió una variedad amplia en la medición de las muestras en este parámetro de calidad pues en activación física la serie de datos esta de 0,18 a 0,39 g/cm^3 y activación química de 0,26 a 0,36 g/cm^3 .

Tabla 12

Comparación de la prueba de Shapiro- Wilk con activación física y química para el parámetro de densidad

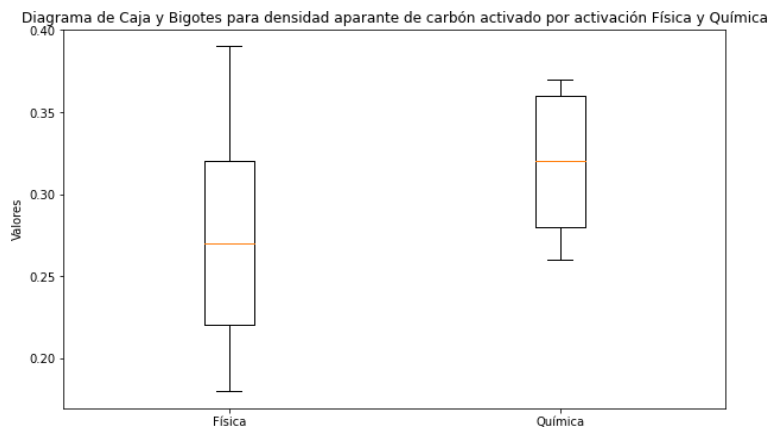
Método de activación	Normalidad de Shapiro- Wilk
Activación física	0,932097315788269
Activación química	0,2975274920463562

En la Figura 6, se representa el diagrama de caja y bigotes donde la activación física tiene los cuartiles $Q_1 = 0,22$; Q_2 (mediana) = 0,27 y $Q_3 = 0,335$, en el caso de activación química sus cuartiles son $Q_1 = 0,275$, Q_2 (mediana) = 0,32 y $Q_3 = 0,36$.

De acuerdo con los anteriores cuartiles, se puede decir que tanto la activación física como química, no presentan una dispersión en el conjunto de datos siendo el diagrama simétrico.

Figura 6

Distribución y variabilidad de los datos por activación física y química para densidad aparente a través de diagrama de caja y bigotes



5.3.1.3 Número de yodo. En la Tabla 13, la activación física tuvo como resultado una prueba de normalidad (P) con valor de 0,7941 y la activación química igual a 0,9383; en ambos casos poseen un valor mayor a 0,05; como lo establece la prueba, entra el conjunto de datos dentro de la categoría de hipótesis nula (H_0) presentando una distribución normal cercana a la media (no existe un sesgo estadístico dentro de los datos de este parámetro ya que en activación física se encuentra en un rango de 577 a 814 mg/g y en el caso de activación química, el rango va desde 625 a 905 mg/g).

Tabla 13

Comparación de la prueba de shapiro- Wilk con activación física y química para el parámetro de número de yodo

Método de activación	Normalidad de Shapiro-Wilk
Activación física	0,794100284576416
Activación química	0,9383217096328735

En la figura 7, se representa el diagrama de caja y bigotes donde la activación física pose los cuartiles $Q_1 = 627,78$; Q_2 (mediana)= 682,42 y $Q_3 = 781,375$; por otro parte, la activación químicatiene cuartiles $Q_1 = 673,135$; Q_2 (mediana)= 746,25 y $Q_3 = 816,89$.

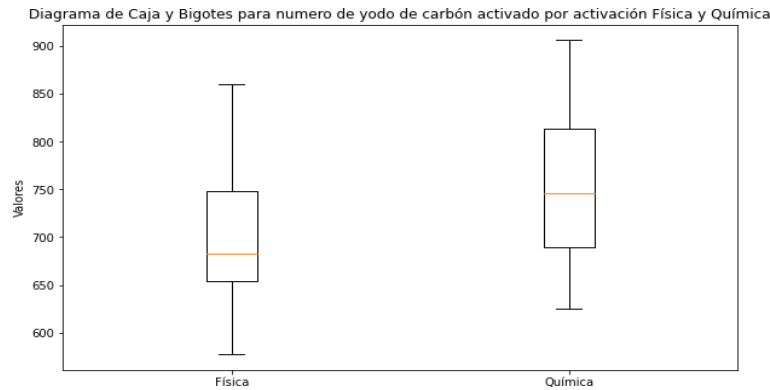
De acuerdo con los anteriores cuartiles, se puede decir que:

1. En la activación física los cuartiles 2 y 3 es donde se presenta una mayor distribución en el conjunto de datos.

2. En la activación química no presenta una dispersión en el conjunto de datos siendo el diagrama simétrico comparándolo con la activación física.

Figura 7

Distribución y variabilidad de los datos por activación física y química para número de yodo aparente a través de diagrama de caja y bigotes



A manera general, la mayoría de los parámetros cumplen con la prueba de normalidad, no obstante, el único que está por debajo de los 0,05 en el valor de P fue el parámetro de humedad por el método de activación química aun cuando en el parámetro de densidad y número de yodo demostró tener una mejor distribución equilibrada de los datos a través del reflejo de los cuartiles que el método de activación física.

Por ello, es necesario emplear una prueba estadístico no paramétrica porque no tienen en cuenta si los datos están adaptados a una distribución normal, en vez de eso, toman los datos de forma de distribución libre (Ruiz, 2015).

5.3.2 Método estadístico no paramétrico: Kruskal – Wallis

Se consideró apropiado aplicar análisis estadísticos para confirmar si las variables empleadas en los métodos de activación ejercen alguna influencia en las pruebas, y si dichas diferencias son significativas entre cada uno. Para el análisis hemos optado por afirmar si existe influencia estadísticamente significativa de la variable sobre las valoraciones obtenidas de cada modelo, cuando la probabilidad de error sea menor al 0,05 % ($P < 0,05$), por lo tanto, el intervalo de confianza será del 95% (Falcó, 2009).

Este método fue comprobado con los siguientes parámetros de calidad:

5.3.2.1 Humedad. Se calculo una prueba de Kruskal-Wallis para corroborar si los métodos estadísticos tienen un efecto en sus variables. En la Tabla 14 se observa que el método de activación física y química se obtuvo un valor P igual a 0,050; por lo tanto, la hipótesis nula afirma que no existe diferencias significativas. Además, como el valor P es igual que el nivel de significancia 0,05; es considerado como un límite, es decir, que no tiene suficiente evidencia para rechazar por completo la hipótesis nula ni para afirmar que existen diferencias significativas en los métodos.

Tabla 14

Comparación de la prueba de Kruskal-Wallis con activación física y química para el parámetro de humedad

Método de activación	Normalidad de Kruskal- Wallis
Activación física	0,5090583233639852
Activación química	0,05090583233639852

5.3.2.2 Densidad aparente. En la Tabla 15, la activación física se obtuvo un valor P igual a 0,094; dado que el valor es mayor a 0,05 demostrando que la hipótesis nula es verdadera, evidenciando que no hay diferencias significativas entre las medias del porcentaje de densidad aparente de las muestras de carbón activado granular. En la activación química se obtuvo un valor P igual a 0,026; dado que el valor es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula y da paso a la hipótesis alternativa, es decir, que no todas las medias son iguales.

Tabla 15

Comparación de la prueba de Kruskal-Wallis con activación física y química para el parámetro de densidad aparente

Método de activación	Normalidad de Kruskal- Wallis
Activación física	0,09492959947347143
Activación química	0,026509500499067192

Estas diferencias responden a la suposición que se encuentran reflejadas a lo largo de las hipótesis planteadas sobre los distintos niveles iniciales, es decir, radican en cuanto a las valoraciones medias realizadas por cada modelo de activación (Falcó, 2009),

5.3.2.3 Número de yodo. En la Tabla 16, en la activación física se obtuvo un valor P igual a 0,875; dado que el valor es mayor a 0,05 demostrando que la hipótesis nula es verdadera, evidenciando que no hay diferencias significativas entre las medias. En la activación química se

obtuvo un valor P 0,670; resulta mayor que P dado que el valor es 0,05; demostrando que la hipótesis nula es verdadera, es decir, que todas las medias son iguales.

Tabla 16

Comparación de la prueba de Kruskal-Wallis con activación física y química para el parámetro de número de yodo

Método de activación	Normalidad de Kruskal- Wallis
Activación física	0,8751733190429478
Activación química	0,6703200460356391

A manera general, la mayoría de los parámetros no presentan una diferencia significativa entre las medias como lo plantea la prueba de Kruskal-Wallis pues no están por debajo del valor P siendo 0,05; sin embargo, cabe afirmar que para el parámetro de densidad aparente por el método de activación química del carbón activado granular demostró tener un valor igual a 0,026 representando tener una distribución lejana a la media.

5.3.3 Revisión de la literatura

5.3.3.1 Activación física. En la Tabla 17, se muestran los resultados del artículo de investigación basado en la obtención de carbón activado de residuos agroindustriales para evaluarlos en la remoción del color de jugo de caña a partir de la caracterización (humedad y densidad aparente) de carbón activado a una temperatura de 600°C (Solís et al., 2012).

Tabla 17

Caracterización de carbón activado por activación física de diferentes cascavas

Fruta	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Número de yodo (mg/g)
Bagazo de caña de azúcar	0,73	0,167	-----
Naranja	7,15	0,599	-----
Café	9,33	0,387	-----

Nota. La información fue sacada de Solís et al., 2012.

De acuerdo con la tabla anterior, al comparar los resultados de las diferentes cascavas de frutas de frutas con la piña, se presentó:

1. En el caso de la humedad, la cascava de café no cumplen con el parámetro ya que en la NTC

4273 especifica que el carbón activado debe tener un porcentaje menor a 8 % pues genera una alteración en la adsorción de sustancias al poseer más cantidad de agua en los poros.

Por otro lado, al comparar las otras frutas con la piña, la naranja presenta mayor humedad y el bagazo de caña de azúcar posee menor humedad puesto que la cascara de piña a una temperatura de 600°C después del tratamiento conserva una humedad del 3,25 %.

Los datos de este parámetro varían de acuerdo con el tipo de fruta pues cada una posee un diferente porcentaje de humedad en la cascara siendo la naranja 65 %, el café 18 %, la caña de azúcar 11,29 % y la piña 84,1 %. Con base a ello, al pasar el material por las diferentes operaciones para elaborar carbón activado, se va a remover los residuos lignocelulósicos, agua y otros, pero no todas las frutas van a quedar con las mismas características.

2. En el caso de la densidad aparente, el bagazo de caña de azúcar no cumple con el parámetro porque la NTC 4273 establece el rango de tener una densidad igual o mayor a 0,25 g/cm³ a razón de que limitaría el área para eliminar el adsorbato.

Al comparar la cascara de naranja y café con la piña, estas alcanzaron mejores resultados en visto que la cascara de piña al pasar por el tratamiento con una temperatura de 600°C presenta a una temperatura ambiente una densidad de 0,336 g/cm³. Los factores que pueden alterar los resultados, es el procedimiento de elaboración de carbón activado y las propiedades de la fruta.

5.3.3.2 Activación química. En la Tabla 18, se muestran los resultados del artículo de investigación basado en la caracterización (humedad, densidad aparente y numero de yodo) de carbón activado a 500°C usando los reactivos KOH y CaCl₂ a concentraciones del 25 % (25 g del reactivo y 100 ml de agua destilada) para diferentes cascara de frutas (Zainulabdeen, 2017).

Tabla 18

Caracterización de carbón activado por activación química de diferentes cascara usando KOH al 25 %

Fruta	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm³)	Numero deyodo (mg/g)
Naranja	0,93	0,23	521 mg/g
Nuez	0,39	0,35	331 mg/g
Banana	1,24	0,23	450 mg/g

Nota. La información fue sacada de Zainulabdeen, 2017.

De acuerdo con la tabla anterior, al comparar los resultados de las diferentes frutas con la piña, se presentó:

1. En el caso de la humedad, tuvo variación en los datos dado que cada cascara de fruta posee diferente dureza generando para algunos materiales mayor resistencia en la remoción de contenido de agua con respecto a la temperatura.

Las cascaras de naranja, nuez y banana presentaron mejores resultados a comparación de la piña al tener un 4,75 % de humedad dada la disposición del residuo expuesto en canecas al aire libre por los comerciantes aumentando la cantidad de agua del material.

2. En el caso de la densidad, la cascara de naranja y banana no cumplen con el parámetro pues según la NTC 4273 debe ser igual o mayor a $0,25 \text{ g/cm}^3$, sin embargo, al comparar la cascara de nuez con la piña, aparte de cumplir con el rango establecido por la norma, la cascara de piña es mejor aun cuando la diferencia entre los datos es $0,01 \text{ g/cm}^3$ es muy mínima y cada fruta posee diferente composición influyendo en los resultados.

3. En el caso del número de yodo, la cascara de nuez y banana no cumplen con el parámetro ya que según la NTC 4273 debe ser igual o mayor a 500 mg/g (miligramos de yodo que adsorbe un gramo de carbón) demostrando tener una baja porosidad para adsorber sustancias, además, al comparar la cascara de naranja con la piña (521 mg/g y $712,11 \text{ mg/g}$) cumplen con el rango establecido pero la diferencia entre las cascaras es de $191,11 \text{ mg/g}$.

La diferencia de resultados puede ser debido al factor del reactivo, a razón de que en el artículo de investigación aplican una concentración del 25%, en cambio, para el proyecto de investigación fue del 90 % dándole mayor facilidad a la muestra de carbón activado de formar los poros (porosidad) retenedores de sustancias.

5.3.4 Comparación de los parámetros con la normativa

En la Tabla 19, está registrado de acuerdo con cada método de activación, los 3 parámetros de calidad (humedad, densidad aparente y número de yodo) para carbón activado granular comparando si cumple o no en base a la NTC 4273.

Se evidencia por parte de la activación química, la mayoría de los parámetros cumplen excepto en el dato de la segunda repetición a temperatura de 300°C con un valor de humedad del 8 %. Para el caso de activación física no se cumplen los datos de la primera y segunda repetición a temperatura de 300°C con valores de $0,18$ y $0,22 \text{ g/cm}^3$, también en la primera repetición a temperatura de 400°C con un valor de $0,22 \text{ g/cm}^3$.

Al comparar ambos métodos de activación con base a la desviación estándar para cada

parámetro, se obtuvo lo siguiente:

1. En la humedad para la temperatura de 300°C, la desviación estándar es menor en la activación química que en la activación física lo que indica una menor variabilidad en los datos. Sin embargo, en las temperaturas de 400°C y 600°C, la desviación estándar es mayor para la activación química que en la activación física, demostrando una mayor variación en los datos.
2. En cuanto a la densidad aparente para las tres temperaturas (300°C, 400°C y 600°C), la desviación estándar más baja es el método de activación química que en el de activación física. Esto demuestra que los datos son más consistentes y menos variables.
3. En el número de yodo para la temperatura de 300°C, la desviación estándar es menor en la activación física que en la activación química lo que indica que los datos son menos variables. No obstante, en las temperaturas de 400°C y 600°C, la desviación estándar es mayor para la activación física que en la activación química, demostrando una mayor dispersión de datos.

Tabla 19

Comparación de los parámetros con la norma técnica colombiana 4273

Método de activación	# Repetición	T (°C)	Humedad (%)	Desviación Estándar	Rango de la norma	Norma	Densidad (g/cm ³)	Desviación Estándar	Rango de la norma	Número de yodo (mg/g)	Desviación Estándar	Rango de la norma	Norma
Activación física	1		7,2			✓	0,18			602,1			✓
	2	300	7,57	0,35	Menor a 8 %	✓	0,22	0,35	Mayor o igual a 0,25 g/cm ³	717,4	59,11	Mayor o igual a 500 mg/g	✓
	3		7,9			✓	0,25			682,4			✓
	1		6,40			✓	0,22			655,4			✓
	2	400	3,38	1,52	Menor a 8 %	✓	0,32	0,051	Mayor o igual a 0,25 g/cm ³	859,8	655,46	Mayor o igual a 500 mg/g	✓
	3		4,58			✓	0,29			653,4			✓

Tabla 19
Continuación

	1	3,98			✓	0,27		✓	577,61		✓
	2	600	1,46	1,56 Menor a 8 %	✓	0,39	0,061 Mayor o igual a 0,25 g/cm ³	✓	748,55	122,13 Mayor o igual a 500 mg/g	✓
	3	4,32			✓	0,35		✓	814,2		✓
	1	7,9			✓	0,26		✓	905,85		✓
	2	300	8,00	0,10 Menor a 8 %	×	0,28	Mayor o igual a 0,25 g/cm ³	✓	656,46	131,13 Mayor o igual a 500 mg/g	✓
	3	7,79			✓	0,27		✓	710,83		✓
Activación química	1	3,04			✓	0,29		×	785,62		✓
	2	400	6,94	2,72 Menor a 8 %	✓	0,33	0,02 Mayor o igual a 0,25 g/cm ³	✓	746,25	35,33 Mayor o igual a 500 mg/g	✓
	3	7,01			✓	0,32		✓	812,95		✓
	1	2,04			✓	0,36		✓	689,85		✓
	2	600	5,29	2,48 Menor a 8 %	✓	0,37	0,005 Mayor o igual a 0,25 g/cm ³	✓	820,33	99,46 Mayor o igual a 500 mg/g	✓
	3	6,92			✓	0,36		✓	625,69		✓

El método de activación para elaborar carbón activado granular de tamaño de 0,42 mm más

efectivo al comparar los parámetros de humedad, densidad aparente y número de yodo con la normativa 4273 de 1997 y la desviación estándar es por activación química, ya que al usar el agente activante hidróxido de potasio para impregnar el material de cascara de piña durante el proceso de carbonización genera pérdida de humedad y libera material volátil para formar la estructura porosa inicial (Morales Cabrera, 2017).

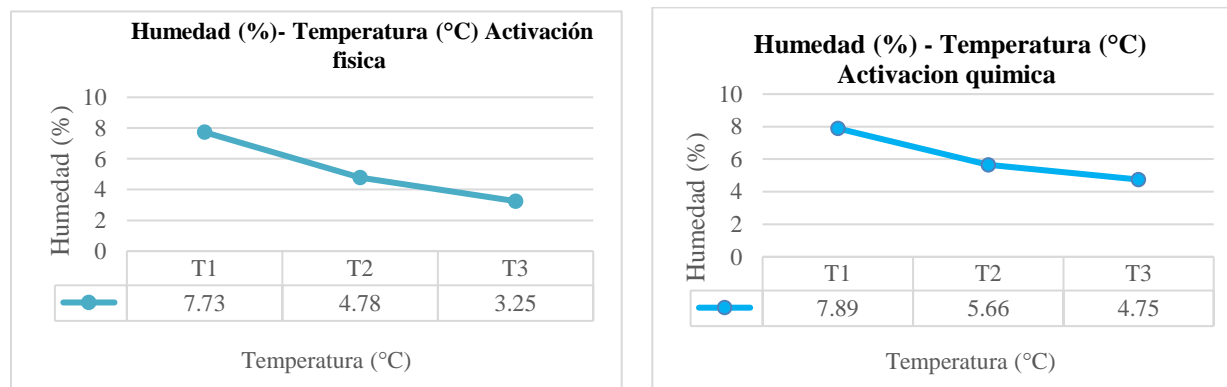
5.3.5 Comparación de los promedios de cada parámetro de calidad a través de gráficas para determinar el método más adecuado

5.3.5.1 Humedad. Según las Figuras 8 y 9, los resultados muestran al someter el material orgánico a mayor temperatura entonces será menor el porcentaje de humedad siendo los datos más bajos en la temperatura de 600°C donde la activación física fue de 3,25 % mientras la química fue de 4,75 %. En el caso de activación química la humedad es mayor puesto que al emplear un reactivo químico para las muestras es necesario adecuar el material con lavado de agua destilada removiendo los residuos del agente activante.

En ambos métodos de activado, el porcentaje de humedad no presentó niveles altos, de lo contrario, el contenido de agua afectaría el proceso de interacción interna disolviéndose el carbón por el agua aumentando el peso molecular inhibiendo la adsorción del carbón activado (Zhou et al., 2001).

Figura 8 y 9

Humedad de activación física vs activación química para las muestras a temperatura de 300°C, 400°C y 600°C

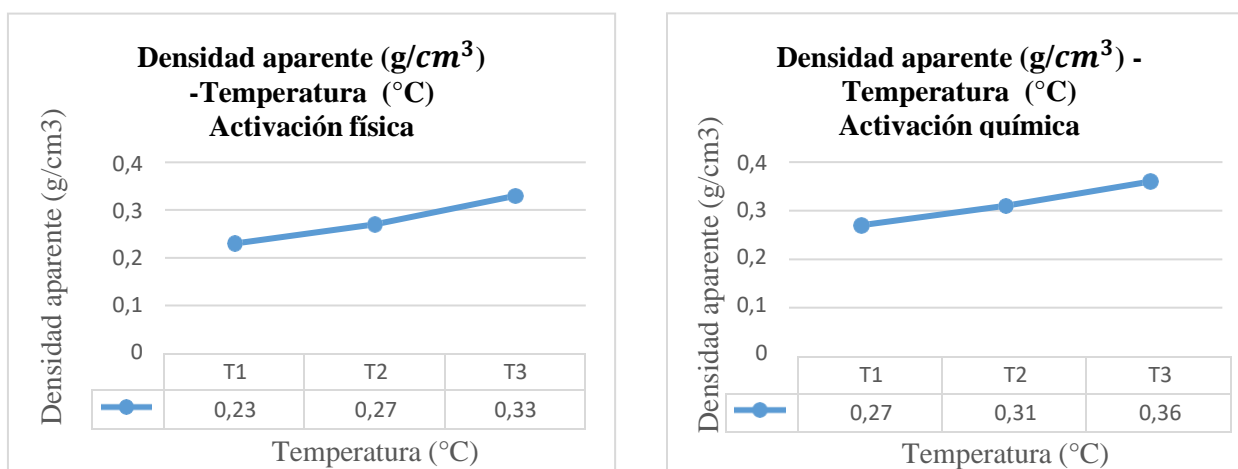


5.3.5.2 Densidad aparente. De acuerdo a las Figuras 10 y 11, los resultados indican a mayor temperatura la densidad aparente aumenta en las muestras de carbón activado para ambos métodos de activación, lo cual, en la temperatura 3 de 600°C por activación física es de 0,33 g/cm^3 y activación química es de 0,36 g/cm^3 (Thiel & Cullum, 2007).

La densidad aparente demuestra ser un indicador de eliminación de los materiales volátiles más ligeros que posee el carbón iniciando la apertura de la porosidad donde expandirá el volumen a la superficie para realizar la adsorción de contaminantes (Alabi-Babalola et al., 2021).

Figura 10 y 11

Densidad de activación física vs activación química para las muestras a temperatura de 300°C, 400°C y 600°C



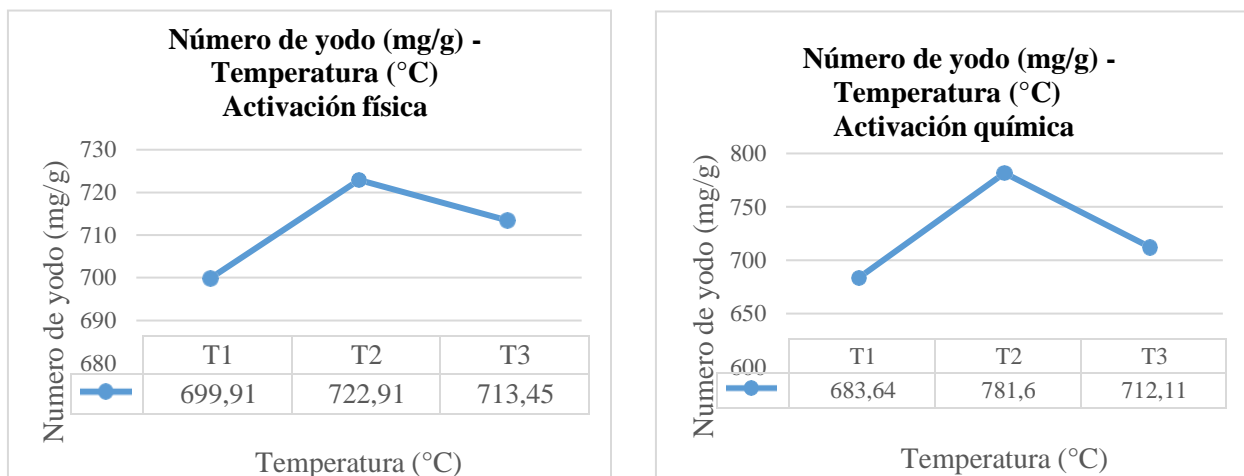
5.3.5.3 Número de yodo. Conforme a las Figuras 12 y 13, los resultados reflejan el más alto índice de miligramos de yodo que un gramo de carbón adsorbe hacia la temperatura 2 de 400°C en ambos métodos de activación quedando para la activación física con 722,91 mg/g y la activación química de 781,60 mg/g.

A mayor magnitud de índice de yodo presente en el carbón, atribuye la presencia de una buena superficie a través del agrandamiento de la estructura de los poros o sea mayor grado de activación posee para remover el yodo (Ekpete et al., 2017).

En este parámetro, la activación química obtuvo un mejor resultado debido a la aplicación de un agente activador capaz de reaccionar con el carbón y crear porosidad (Alabi-Babalola et al., 2021).

Figura 12 y 13

Numero de yodo de activación física vs activación química para las muestras a temperatura de 300°C, 400°C y 600°C

**5.3.6 Reflexión crítica**

En términos generales, según los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, el método de activación física muestra una distribución más cercana a la normalidad, ya que todos los valores de P para sus parámetros están por encima de 0,05. Por otro lado, en el caso de la activación química, no se cumple este criterio en el parámetro de humedad, indicando una mayor lejanía de los datos respecto a la media y una mayor variación en la distribución. Se determinaron en estos resultados y utilizando una prueba no paramétrica, como el test de Kruskal-Wallis, con el mismo nivel de significancia (P) establecido en 0,05; se concluye que el método de activación física presenta un mejor rendimiento en comparación con la activación química. Esto se evidencia en el parámetro de densidad, donde el valor de P está por debajo del umbral de significancia

Después de someter cada parámetro de calidad (humedad, densidad aparente y número de yodo) a pruebas de normalidad y estadísticas no paramétricas, los datos fueron comparados con la Normativa Técnica Colombiana 4273. Los resultados indicaron que la activación química presentó un desempeño superior, ya que solo 1 de los 18 datos superó el porcentaje de humedad permitido para una muestra de carbón activado. En contraste, en el caso de la activación física, el parámetro de densidad aparente no cumplió con los estándares en 3 de los 18 datos, ya que estaban por debajo del rango permitido.

Finalmente, se realizaron tres repeticiones para cada temperatura (300°C, 400°C y 600°C) en relación con los parámetros estudiados. A partir de estas repeticiones, se calcularon los promedios con el fin de compararlos en un gráfico y determinar bajo qué temperatura y método de activación se obtiene una mejor capacidad de calidad.

Los resultados mostraron un mejor rendimiento en cuanto a humedad para la activación física a una temperatura de 600°C, ya que presenta una humedad inferior al 4%. En el caso de la densidad aparente, la activación química tuvo un nivel más alto a una temperatura de 600°C, alcanzando los 0,36 g/cm³. Además, el número de yodo mostró un rendimiento superior para la activación química a una temperatura de 400°C, con un valor de 781,60 mg/g.

Al comparar los resultados entre los dos métodos de activación mediante pruebas estadísticas, cumplimiento con la normativa, y gráficos de promedios para cada parámetro, se concluye que el mejor método es la activación química a una temperatura de 600°C. Esto se evidencia en la humedad, densidad aparente y el número de yodo, los cuales muestran una mejor capacidad de calidad.

La activación química, basada en agentes activantes como hidróxido de sodio, ácido fosfórico, hidróxido de potasio, entre otros, se destaca en la elaboración de carbón activado. Estos reactivos exhiben propiedades de deshidrogenación, lo que reduce la formación de alquitrán y volátiles, facilitando el proceso de elaboración de muestras. Este enfoque es especialmente aplicable, ya que estos materiales presentan riesgos asociados con la combustión espontánea (Wang et al., 2023).

5.3.7 Impacto social, económico y ambiental

En el barrio "La Nohora", situado a las afueras del municipio de Villavicencio en el kilómetro 11 sobre la carretera hacia el municipio de Acacias, aproximadamente 2000 familias, mayormente desplazadas del campo, encuentran su sustento en la agricultura y ganadería. Dada la limitación de empleos formales, han adoptado una nueva estrategia de ingresos: descascarar piñas para formar bolsas de rodajas, las cuales venden a personas que transitan en automóviles, motocicletas y transportes públicos.

Este método de generación de ingresos deja grandes cantidades de desechos, como la corona, el corazón y la cáscara, que representan entre el 45 y el 60 % del total de la fruta, las cuales,

no son aptas para el consumo humano y animal.

Las cantidades de residuos de cascara son significativas generando consecuencias negativas hacia el medio ambiente pues estos residuos terminan a la intemperie del suelo del sector porque los comerciantes tratan de deshacerse con facilidad del material iniciando su descomposición y emitiendo olores ofensivos, liberación de sustancias como carbono/nitrógeno y proliferación de vectores (mosquitos y roedores) dejando vulnerable a la población.

Al implementar la tecnología de aprovechamiento agroindustrial y tecnológica en una de las frutas nativas más abundantes y solicitadas de los llanos orientales la piña "*Ananás comosus*", conocida por su variedad de vitaminas y antioxidantes, la cascara será el principal material para la elaboración de un subproducto de valor agregado que tiene la capacidad de retener y remover contaminantes en los cuerpos de agua (plaguicidas, grasas, aceites y metales pesados como plomo, cromo y cadmio) y el aire (dióxido de carbono, nitrógeno, material particulado, olores y otros) conocido como carbón activado, además, debido a que requiere de materias primas con alto contenido en carbono, la cascara cumple con el requisito siendo destinada en la producción disminuyendo su impacto ambiental negativo en el sector.

Este subproducto fue evaluado para determinar su viabilidad en el entorno, mediante la aplicación de dos métodos de activación (física y química) a través de la medición de unos parámetros de calidad (humedad, densidad aparente y número de yodo) conforme a la normativa NTC 4467:1998. El objetivo fue identificar bajo qué condiciones, equipos y materiales son las más adecuadas para su elaboración. Este estudio contribuye a empresas encaminadas a la comercialización de productos de categoría ecológica, ya que le permitirá evitar pérdidas de insumos, minimizar los costos y presentarán mayor rendimiento productivo. Además, beneficiará a las entidades ambientales al facilitar la gestión de este subproducto para mitigar contaminantes derivados de las actividades antropogénicas lo que traerá consigo una mejora significativa de la calidad de vida de la población, gracias a una gestión más eficiente de los residuos.

6. Conclusiones

- La cantidad de residuos en uno de los establecimientos de venta libre de Piña en el barrio La Nohora fue en total de 5,8 kg donde la cascara represento 3,85 kg; además, posee buenas condiciones para la fabricación de un subproducto de alta calidad dándole una alternativa al uso desperdiciado de los residuos agroindustriales en los llanos orientales.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, se observan que los datos menos favorables se encuentran a una temperatura de 300°C presentando el mayor contenido de humedad empleando el método de activación química mediante el uso del reactivo de hidróxido de potasio, con un valor de 7,89 %; seguido por la activación física con 7,73 %. En cuanto a la densidad aparente los valores más bajos se registraron para el método de activación física con $0,235 \text{ g/cm}^3$, seguido por la activación química con $0,27 \text{ g/cm}^3$. Respecto al número de yodo, se encontró que la activación física fue de 699,91 mg/g, mientras en la activación química fue de 683,64 mg/g. Estos resultados destacan las diferencias que hay entre los dos métodos de activación y los efectos en los parámetros fisicoquímicos del carbón activado granular obtenida a partir de la cascara de piña.
- En la presente investigación se analizaron dos métodos de activación para la obtención de carbón activado granular a partir de residuos de la cascara de piña con el fin de identificar el método más viable. La temperatura de carbonización que presento los mejores parámetros de calidad al comparar con la NTC 4273 de 1997 fue la activación química a una temperatura de 600°C con el número de yodo por 712,11 mg/g, porcentaje de humedad en 4,75 % y densidad aparente de $0,36 \text{ g/cm}^3$. El carbón activado granular obtenido se presenta como una estrategia viable para disminuir la abundancia de los residuos agroindustriales generados por las actividades antropogénicas y así mismo como una herramienta para la mitigación de impactos ambientales.
- El uso de residuos agrícolas para la preparación del subproducto del carbón activado granular es una buena opción ya que resulta ser una técnica útil para el aprovechamiento agroindustrial y tecnológico de la diversidad de frutas nativas de los llanos orientales que resultan de gran interés por su disponibilidad, versatilidad y bajo valor de cambio.

7. Referencias

- Alabi-Babalola, O., Aransiola, E., & Shittu, T. (2021). Adsorption and Kinetic Study of Activated Carbon Produced from Post-Consumer Low-Density Polyethylene (LDPE) Wastes. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 11(01), 38–64. <https://doi.org/10.4236/aces.2021.111004>
- Alayón, E. (2021). Guía para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos. *Inventum*, 15(29), 76–94. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.76-94>
- Alves, A. T., Lasmar, D. J., de Andrade Miranda, I. P., da Silva Char, J., & dos Santos Reis, J. (2021). The Potential of Activated Carbon in the Treatment of Water for Human Consumption, a Study of the State of the Art and Its Techniques Used for Its Development. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 12(06), 143–153. <https://doi.org/10.4236/abb.2021.126010>
- Arrocha, F., Guevara, C., Gonzalez, M., Rivas, F., & Delgado, R. (2019). Evaluación de filtros de carbón activado basado en cáscaras de frutas (piña, plátano, coco, naranja). *Revista de Iniciación Científica*, 5, 79–83. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2390>
- Asnawi, T. M., Husin, H., Adisalamun, A., Rinaldi, W., Zaki, M., & Hasfita, F. (2019). Activated Carbons from Palm Kernels Shells Prepared by Physical and Chemical Activation for Copper Removal from Aqueous Solution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 543(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012096>
- Bacaoui, A., Yaacoubi, A., Dahbi, A., Bennouna, C., Phan Tan Luu, R., Maldonado-Hodar, F., Rivera-Utrilla, J., & Moreno-Castilla, C. (2019). Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from olive stones for application in gold recovery. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119(3), 297–306. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2019/v119n3a9>
- Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón milagro, provincia del guayas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/d57c375f-6039-43be-b4e2-9e25423db54a>
- Carrillo Quijano, C., Caballero Albarracin, J., & Pereira Hernández, X. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz-una revisión Silicates and active carbon obtained by the use of husk rice-a review. *Scientia et Technica Año XVIII*, 18(2). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7855>
- Chaouch, M. A., & Benvenuti, S. (2020). The role of fruit by-products as bioactive compounds for intestinal health. *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111716>
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–

132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>
- Egúsquiza, A. C. (2016). *Aprovechamiento de residuos de Ananas comosus L(piña) para la producción de etanol por vía fermentativa de Saccharomyces cerevisiae* [Tesis de pregrado, Universidad Le Cordon Bleu]. Repositorio Institucional <https://repositorio.ulcb.edu.pe/bitstream/handle/ULCB/35/INFORME%20FINAL%20%202016%20-%20DE%20CHECO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ekpete, O. A., Marcus, A. C., & Osi, V. (2017). Preparation and Characterization of Activated Carbon Obtained from Plantain (*Musa paradisiaca*) Fruit Stem. *Journal of Chemistry*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2017/8635615>
- Fajardo, S. (2022). *Carbón activado a partir de la cáscara de coco para la remoción de cobre en relave minero metalúrgico, callao, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7562>
- Falcó, A. (2009). *Herramientas estadísticas- comparación de más de dos muestras: Anova (Parte I)*. <https://web.cortland.edu/matresearch/ANOVA-I.pdf>
- Grisales, A., & Rojas, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales* [Tesis de pregrado, Universidad tecnología]. Repositorio Institucional <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c456630-0b2e-4a17-a4e4-43273d4115a8/content>
- Heyduk, A. (2016). *Bulk density estimation using a 3-dimensional image acquisition and analysis system*. <https://doi.org/10.1051/E>
- Jimenez, J. (2014). *Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado* [Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana]. Repositorio Institucional <https://docplayer.es/38846862-Universidad-veracruzana-tesis.html>
- Luna, D., González, A., Gordon, M., & Martín, N. (2007). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. 39–48. http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n64ne/carbon_v2.pdf
- Montoya, A. F. (2012). *Caracterización de Residuos Sólidos*. 4, 67–72. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/34/31>
- Morales Cabrera, K. J. (2017). *Carbón activado para la adsorción de oro de soluciones cianuradas a partir de carbones minerales*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/c19c0699-65de-4a4a-83aa-de399bef7cbf>
- Pem, D., & Jeewon, R. (2015). Fruit and vegetable intake: benefits and progress of nutrition education interventions-narrative review article. *Iran J Public Health*, 44(10), 1309–1321. https://www.researchgate.net/publication/284164367_Fruit_and_Vegetable_Intake_Benefits_and_Pr

- ogress_of_Nutrition_Education_Interventions-_Narrative_Review_Article
- Ruiz, A. (2015). *Pruebas estadísticas*. <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/las-pruebas-estadisticas/>
- Rynearson, S., & Madrid, D. (2022, July 9). *Test de Shapiro-Wilk – Excel y Google Sheets*. <https://www.automateexcel.com/es/stats/test-de-shapiro-wilk/>
- Sánchez, J. (2011). *Characterization of activated carbon produced from coffee residues by chemical and physical activation*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:414291/FULLTEXT01.pdf>
- Solis, J., Morales, M., Ayala, R., & Durán, M. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27(1), 36-48. <https://www.redalyc.org/pdf/482/48224413006.pdf>
- Tan Ivy, A. W. (2008). Preparation, characterization and evaluation of mesoporous activated carbons derived from agricultural by-products for adsorption of methylene blue and 2,4,6-trichlorophenol. [Trabajo de grado, Universiti Sains Malaysia]. Repositorio Institucional. <http://eprints.usm.my/10266/>
- Thiel, P., & Cullum, P. (2007). *Evaluating the performance of different powdered Activated carbons (PAC) for taste and odour reduction*. https://www.wioa.org.au/conference_papers/07_qld/documents/PetaThiel.pdf
- Vejarano, N., & Casas, I. (2021). *Evaluación de la viabilidad de un tratamiento de aguas por carbón activado obtenido del bambú de la especie chusquea scandens kunth* [Tesis de pregrado, Fundación universidad de América]. Repositorio Institucional. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8664>
- Wang, B., Lan, J., Bo, C., Gong, B., & Ou, J. (2023). Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review. *RSC Advances*, 13(7), 4275–4302. <https://doi.org/10.1039/d2ra07911a>
- Yacob, A., Azmi, A., & Mustajab, M. (2015). Physical and Chemical Activation Effect on Activated Carbon Prepared from Local Pineapple Waste. *Applied Mechanics and Materials*, 699, 87–92. https://www.researchgate.net/publication/286772310_Physical_and_Chemical_Activation_Effect_on_Activated_Carbon_Prepared_from_Local_Pineapple_Waste
- Zainulabdeen, I. H. (2017). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Household Waste Foods. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 24(1), 101–109. <https://doi.org/10.25130/tjes.24.2017.11>
- Zhou, L., Li, M., Sun, Y., & Zhou, Y. (2001). *Effect of moisture in microporous activated carbon on the adsorption of methane*. 39(5), 773–776. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00025-2)