



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR
DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE
DEL RESIDUO DE SOLANUM TUBEROSUM”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CARLA ANDREA NAVARRETE MACHADO

DIRECTOR: Ph.D. FABIÁN ERNESTO ARIAS ARIAS

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Carla Andrea Navarrete Machado

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, Carla Andrea Navarrete Machado, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo 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.

13/04/2021.

**CARLA
ANDREA
NAVARRETE
MACHADO**

Firmado
digitalmente por
CARLA ANDREA
NAVARRETE
MACHADO
Fecha: 2021.04.14
10:50:10 -05'00'

Carla Andrea Navarrete Machado

0604032052

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación técnico: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE SOLANUM TUBEROSUM”** de responsabilidad de señorita **CARLA ANDREA NAVARRETE MACHADO** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> CARLOS ALCIBAR MEDINA SERRANO	13/04/2021
Ph.D. Fabián Ernesto Arias Arias DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> FABIAN ERNESTO	13/04/2021
Ing. Paul Gustavo Palmay Paredes MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES	13/04/2021

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Magda e Ignacio, a mi hermano Dennys quienes, con su amor incondicional, sabios consejos y apoyo completo han estado a mi lado durante toda mi carrera universitaria y son el pilar fundamental de todas mis metas conseguidas.

Carla

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por brindarme apoyo en todos los sentidos, por alentarme a nunca rendirme y principalmente por los valores y la formación personal que ellos me han inculcado toda la vida. Sin ellos no sería mi la mitad de lo que soy ahora.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad para formarme como profesional, así como a los docentes que a diario impartieron su conocimiento. Además, me permitió conocer a personas excepcionales a lo largo del camino, una de ellas es Esthefanía Miranda quien más que una amiga se convirtió en una hermana que nunca dejó que yo me rindiera en las adversidades, gracias por las risas y las lágrimas compartidas. Estoy segura de que contaré con su amistad a lo largo de toda mi vida.

Agradezco a mi mejor amiga Tabatha Mancheno quien desde la infancia me ha acompañado en todos mis triunfos y fracasos y me alienta cada día a ser mejor persona, gracias por ser una persona amorosa y leal. Tu amistad es un pilar fundamental de mi vida.

Agradezco al PhD Fabián Arias y al Ing. Paul Palmay, por la acertada orientación para la realización del trabajo de titulación, por brindar todo el conocimiento necesario y por su comprensión total frente a las adversidades que surgieron.

Carla

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY/ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1	Antecedentes de la Investigación.	6
1.2	Marco Conceptual.....	7
1.2.1	Carbón Activo	7
1.2.2	Estructura del carbón activado.....	7
1.2.3	<i>Tipos de carbón activado.....</i>	8
1.2.3.1	<i>Carbón activado en polvo.</i>	8
1.2.4	<i>Factores que afectan las propiedades del Carbón.</i>	9
1.2.5	<i>Pirólisis</i>	9
1.2.6	<i>Tipos de pirólisis para biomasa en el proceso de carbón activado.</i>	10
1.2.6.1	<i>Producción de biocarbón por pirólisis lenta.</i>	10
1.2.6.2	<i>Producción de biocarbón por carbonización hidrotermal.....</i>	10
1.2.7	<i>Perspectivas actuales y futuras de la pirólisis de biomasa</i>	11
1.2.7.1	<i>Pirólisis de biomasa por microondas</i>	11
1.2.7.2	<i>Pirólisis solar de biomasa.....</i>	11
1.2.7.3	<i>Pirólisis de biomasa por plasma.....</i>	12
1.2.8	<i>Composición de la materia prima (solanum tuberosum).....</i>	12
1.2.9	<i>Caracterización de Biocarbón</i>	13

1.2.10	<i>Ingeniería del Biocarbón</i>	14
1.2.11	<i>Activación Física</i>	16
1.2.12	<i>Activación química</i>	16
1.2.12.1	<i>Activación por ácido fosfórico</i>	17
1.2.12.2	<i>Activación por hidróxido de potasio</i>	17
1.2.12.3	<i>Activación por cloruro de hierro</i>	18
1.2.12.4	<i>Activación por cloruro de zinc</i>	19

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	21
2.1	Tipo y Diseño de Investigación	21
2.1.1	<i>Método deductivo</i>	21
2.1.2	<i>Método Inductivo</i>	21
2.1.3	<i>Método experimental</i>	21
2.2	Enfoque de la Investigación	21
2.3	Identificación de Variables	22
2.4	Operacionalización de las Variables	23
2.4.1	<i>Distribución de las Variables en base a su Operacionalización</i>	23
2.4.2	<i>Matriz de Consistencia</i>	25
2.5	Diseño de la Investigación	27
2.6	Unidad de Análisis	29
2.7	Población de Estudio	29
2.8	Tamaño de la muestra	29
2.9	Selección de la muestra	29
2.10	Localización del trabajo de titulación	30
2.11	Técnicas de recolección de Datos	31
2.11.1	<i>Caracterización de la materia prima solanum tuberosum</i>	31
2.11.1.1	<i>Porcentaje de Humedad</i>	31
2.11.1.2	<i>Porcentaje de Ceniza</i>	31
2.11.1.3	<i>Determinación del % Carbono</i>	32

2.11.1.3	<i>Determinación del %Nitrógeno</i>	32
2.11.2	<i>Preparación de la muestra.</i>	33
2.11.2.1	<i>Secado</i>	33
2.11.2.2	<i>Molienda</i>	33
2.11.3	<i>Obtención del carbón mediante pirólisis.</i>	34
2.11.4	<i>Métodos de Funcionalización o Activación.</i>	35
2.11.4.1	<i>Activación Física.</i>	35
2.11.4.2	<i>Activación Química.</i>	35
2.11.5	<i>Pruebas de espectroscopía</i>	40
2.11.5.1	<i>Pruebas FT-IR.</i>	40
2.11.6	<i>Microscopía electrónica de Barrido (SEM)</i>	41

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	43
3.1	Caracterización de la materia prima Yuyo de <i>solanum tuberosum</i>	43
3.1.1	<i>Porcentaje de Humedad</i>	43
3.1.1	<i>Porcentaje de Ceniza.</i>	43
3.2	Obtención de carbón mediante Pirólisis.	44
3.2.2	<i>Rendimientos del carbón obtenido en la pirólisis.</i>	44
3.3	Activación química del carbón activado.	46
3.3.1	<i>Cálculo del Rendimiento para cada activación.</i>	46
3.3.2	<i>Análisis estadístico ANOVA Multifactorial-Rendimiento %</i>	47
3.4	Análisis espectroscópicos	50
3.4.1	<i>Pruebas FT-IR</i>	50
3.4.1.1	<i>Análisis de los resultados IR</i>	56
3.4.2	<i>Análisis SEM (Microscopio Electrónico de Barrido)</i>	57
3.4.3	<i>Análisis EDS.</i>	66

CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Aplicaciones de los diferentes tipos de carbones activados	9
Tabla 2-1:	Tipos de pirólisis en función del tiempo, velocidad y temperatura.....	10
Tabla 3-1:	Composición lignocelulósica de materia orgánica.	12
Tabla 4-2:	Identificación de variables independientes y dependientes para cada etapa.	22
Tabla 5-2:	Operacionalización de las variables.	23
Tabla 6-2:	Matriz de Consistencia Aspectos Generales y Específicos.	25
Tabla 7-3:	Resultados de la caracterización de la materia prima	43
Tabla 8-3:	Resultados del porcentaje de rendimiento etapa de pirólisis.	45
Tabla 9-3:	Resultados de la activación del carbón.	46
Tabla 10-3:	Análisis de Varianza para Rendimiento % - Suma de Cuadrados Tipo III	47
Tabla 11-3:	Análisis FT-IR carbón sin activación	50
Tabla 12-3:	Análisis FT-IR carbón FeCl ₃	51
Tabla 13-3:	Análisis FT-IR carbón H ₃ PO ₄	53
Tabla 14-3:	Análisis FT-IR carbón KOH	55
Tabla 15-3:	Análisis FT-IR carbón ensayo 1 ZnCl ₂	55
Tabla 16-3:	Resultados de EDS carbón general.....	66
Tabla 17-3:	Resultados de EDS carbón activado KOH	66
Tabla 18-3:	Resultados de EDS carbón activado FeCl ₃	67
Tabla 19-3:	Resultados de EDS carbón activado H ₃ PO ₄	67
Tabla 20-3:	Resultados de EDS carbón activado ZnCl ₂	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Microestructura del carbón activado.....	8
Figura 2-2:	Síntesis de carbones activados.....	15
Figura 3-2:	Visita in situ.....	30
Figura 4-2:	Adquisición de Yuyo.....	30
Figura 5-2:	Ubicación laboratorios Facultad de Ciencias ESPOCH.....	30
Figura 6-2:	Secado de la materia prima.....	33
Figura 7-2:	Molienda de la materia prima.....	34
Figura 8-2:	Reactor de pirólisis.....	35
Figura 9-2:	Alimentación del reactor.....	35
Figura 10-2:	Preparación de soluciones.....	39
Figura 11-2:	Impregnación.....	39
Figura 12-2:	Agitación.....	39
Figura 13-2:	Calentamiento para optimización.....	39
Figura 14-2:	Filtración.....	40
Figura 15-2:	Medición de pH.....	40
Figura 16-2:	Secado.....	40
Figura 17-2:	Almacenamiento.....	40
Figura 18-2:	Espectrofotómetro de Infrarrojo (JASCP FTIR-4100).....	41
Figura 19-2:	Microscopio Electrónico de Barrido (JSM-IT100).....	42
Figura 20-3:	Micrografía SEM (1X30) muestra general del carbón.....	57
Figura 21-3:	Micrografía SEM (1x150) muestra general del carbón.....	58
Figura 22-3:	Micrografía SEM (1x500) muestra general del carbón.....	58
Figura 23-3:	Micrografía SEM (1X2500) muestra general del carbón.....	59
Figura 24-3:	Micrografía SEM (1X500) carbón activado KOH.....	60
Figura 25-3:	Micrografía SEM (1X1500) carbón activado KOH.....	60
Figura 26-3:	Micrografía SEM (1X3300) carbón activado KOH.....	60
Figura 27-3:	Micrografía SEM (1X120) carbón activado FeCl ₃	61

Figura 28-3:	Micrografía SEM (1X500) carbón activado FeCl ₃	61
Figura 29-3:	Micrografía SEM (2X500) carbón activado FeCl ₃	62
Figura 30-3:	Micrografía SEM (1X120) carbón activado H ₃ PO ₄	63
Figura 31-3:	Micrografía SEM (1X500) carbón activado H ₃ PO ₄	63
Figura 32-3:	Micrografía SEM (1X2000) carbón activado H ₃ PO ₄	64
Figura 33-3:	Micrografía SEM (1X100) carbón activado ZnCl ₂	64
Figura 34-3:	Micrografía SEM (1X500) carbón activado ZnCl ₂	64
Figura 35-3:	Micrografía SEM (1X2000) carbón activado ZnCl ₂	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diseño experimental etapa de pirólisis.....	27
Gráfico 2-2:	Diseño experimental etapa de activación.	28
Gráfico 3-2:	Secuencia de selección de muestra.....	28
Gráfico 4-3:	Grafico Anova Rendimiento vs Reactivos	48
Gráfico 5-3:	Gráfico Anova Rendimiento Vs Concentración.....	48
Gráfico 6-3:	Gráfico Anova Rendimiento Vs Relación Activante Carbono.....	49
Gráfico 7-3:	FT-IR carbón sin activación	50
Gráfico 8-3:	FT-IR FeCl ₃ primera repetición.....	51
Gráfico 9-3:	FT-IR FeCl ₃ segunda repetición.....	51
Gráfico 10-3:	FT-IR FeCl ₃ tercera repetición.	51
Gráfico 11-3:	FT-IR H ₃ PO ₄ primera repetición.....	52
Gráfico 12-3:	FT-IR H ₃ PO ₄ segunda repetición.....	52
Gráfico 13-3:	FT-IR H ₃ PO ₄ tercera repetición.....	53
Gráfico 14-3:	FT-IR KOH primera repetición.....	54
Gráfico 15-3:	FT-IR KOH segunda repetición.....	54
Gráfico 16-3:	FT-IR KOH tercera repetición.....	54
Gráfico 17-3:	FT-IR ZnCl ₂ primera repetición.	55
Gráfico 18-3:	FT-IR ZnCl ₂ segunda repetición.....	55
Gráfico 19-3:	Análisis EDS	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DEL % CENIZA.

ANEXO B: CARBÓN OBTENIDO ETAPA DE PIRÓLISIS.

ANEXO C: PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

ANEXO D: ETAPA DE IMPREGNACIÓN DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES AL CARBÓN

ANEXO E: ETAPA DE AGITACIÓN

ANEXO F: ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO Y REPOSO

ANEXO G: ETAPA DE CALENTAMIENTO.

ANEXO H: ETAPA DE FILTRACIÓN.

ANEXO I: MEDICIÓN DE pH

ANEXO J: ETAPA DE SECADO DEL FILTRADO.

ANEXO K: ALMACENAMIENTO

ANEXO L: ANÁLISIS PARA DETERMINAR EL % C,%N. EN SAQMIC.

RESUMEN

El trabajo de titulación tiene como objetivo estudiar propiedades físicas y químicas del C.A activado por diversos métodos de funcionalización proveniente del residuo de *solanum tuberosum*, para la evaluación del tratamiento más óptimo para funcionalización o activación del carbón. El carbón fue obtenido mediante el proceso de pirólisis lenta con una tasa de calentamiento de 7°C/min a una temperatura de 450°C por un periodo de tiempo de 60 minutos. El método que se utilizó para la activación del carbón fue el químico con el uso de 4 reactivos activadores, Ácido Fosfórico al 85% 3:1 (activante: carbón), Cloruro de Zinc al 40% 2:1, Cloruro de Hierro al 20% 3:1, Hidróxido de Potasio al 10% 4:1. Cada tratamiento tuvo la etapa de impregnación, agitación, acondicionamiento, calentamiento, filtración, secado y almacenamiento. La caracterización de la materia prima dio como resultados 10.70% Humedad, 17.94% Ceniza, 40.45% Carbono fijo y 3.30% Nitrógeno. El carbón activado fue caracterizado mediante análisis de espectroscopía, en la prueba FT-IR se observaron grupos funcionales en común entre los reactivos utilizados como: Aminas, cetonas, aldehídos, grupos anhídrido grupos alquilo y en el tratamiento con Ácido Fosfórico se identificó grupos R-OH que mejoran la calidad del carbón activado. En el análisis SEM se visualizaron imágenes claras que revelaron una superficie heterogénea con una porosidad visible del carbón sometido a la activación química. En tanto al estudio SEM-EDS arroja que el tratamiento con Ácido Fosfórico es en donde mayor porcentaje de oxígeno se encontró 55,82%, lo que indica una mayor cantidad de grupos funcionales ligados y mejora la propiedad de adsorción del carbón. En base a los resultados obtenidos se concluye que el tratamiento más óptimo para la activación del carbón es con Ácido Fosfórico. Además, se recomienda agregar al estudio un análisis de adsorción para corroborar la eficacia del tratamiento de activación del carbón.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <PAPA (Solanum Tuberosum)>, <PIRÓLISIS>, <CARBÓN ACTIVADO>, <FUNCIONALIZACIÓN>, <CARACTERIZACIÓN>.

LUISALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS

Número de reconocimiento (DN):
c=EC, o=RIOBAMBA,
ou=UNIVERSIDAD-3652766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.03.25 10:54:10 -05'00'



Firmado electrónicamente por:
**FABIAN
ERNESTO**



0830-DBRAI-UPT-
2021

SUMMARY

The objective of this project is to study the physical and chemical properties of C.A activated by various functionalization methods from the residue of solanum tuberosum for the evaluation of the most optimal treatment for the functionalization or activation of carbon. The charcoal was obtained through the slow pyrolysis process with a heating rate of 7 ° C / min at a temperature of 450 ° C for 60 minutes. The method used to activate the carbon was the chemical one with the use of 4 activating reagents, Phosphoric Acid 85% 3: 1 (activator: carbon), Zinc Chloride 40% 2: 1, Iron Chloride 20 % 3: 1, Potassium Hydroxide 10% 4: 1. Each treatment had the stage of impregnation, agitation, conditioning, heating, filtration, drying and storage. The characterization of the raw material gave as results 10.70% Moisture, 17.94% Ash, 40.45% Fixed Carbon and 3.30% Nitrogen. Activated carbon was characterized by spectroscopy analysis, in the FT-IR functional groups were observed among the reagents used these are Amines, ketones, aldehydes, anhydrous groups, alkyl groups and in the treatment with Phosphoric Acid, R-OH groups were identified that improve the quality of activated carbon. In the SEM analysis, clear images were visualized that revealed a heterogeneous surface with a visible porosity of the carbon subjected to chemical activation. The SEM-EDS study indicates that in the treatment with Phosphoric Acid there is a higher percentage of oxygen, the percentage was 55.82%, which indicates a greater amount of linked functional groups that improve the adsorption property of carbon. Based on the results obtained. It is concluded that the most optimal treatment for carbon activation is with Phosphoric Acid. Also, it is recommended to add an adsorption analysis to the study to corroborate the effectiveness of the carbon activation treatment.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <POTATO (Solanum Tuberosum)>, <PYROLYSIS>, <ACTIVATED CARBON>, <FUNCTIONALIZATION>, <CHARACTERIZATION>.

INTRODUCCIÓN

Carbón activo es una definición utilizada para referirse a materiales en base a carbón que internamente contiene una estructura porosa bien desarrollada. Las características y propiedades de los distintos tipos de carbón van a depender específicamente de la materia prima que se haya escogido para su obtención(Achury Cadena,2008,p.11). Pero entre sus principales características están: Su estabilidad térmica, carácter hidrófobo, resistencia al ataque ácido, ser micro cristalino, carbonoso, no grafitico, su bajo costo relativo y una composición porosa. (Canales Flores, 2018,p.21). Siendo esta última la principal ya que mientras mayor porosidad presente el carbón mayor será su capacidad de adsorbancia. El proceso de adsorción se refiere a la capacidad que tienen el carbón activado de retener y atraer moléculas de otros compuestos.(Pantoja, 2019,p.36).

La materia prima que se usa para la elaboración de carbón es muy numerosa. Sin embargo, no es conveniente usar todos los residuos o subproductos para su obtención. La característica principal que se debe tener en cuenta es que los materiales no deben ser competencia con otros usos, especialmente si estos productos generan un mayor gasto económico que el propio producto obtenido. En la literatura se tienen entre los materiales más citados a los residuos de cosecha, plantas secas, biomasa de árboles, desperdicios orgánicos de la vida cotidiana. (Escalante et al, 2016,p.7).

Los procesos para la obtención del biocarbón son muy diversos, pero principalmente se consideran a las tecnologías termoquímicas para la transformación de la biomasa, estas se pueden clasificar en: Pirólisis lenta, pirólisis rápida, pirólisis ultrarrápida y gasificación.(Escalante et al, 2016,p.8). Se denomina pirólisis al proceso de conversión termoquímica de la biomasa en carbón, líquido y gas compuesto por innumerables componentes orgánicos oxigenados. Dicho proceso se realiza bajo la acción del calor y en ausencia de oxígeno y es el primer paso para todos los procesos de activación del carbón.(Canales Flores, 2018,p.35).

El objetivo que se tiene al realizar procesos de activación para el carbón es mejorar el volumen de poro que este tiene, es decir agrandar el diámetro de porosidad desarrollado en la carbonización, durante este proceso grupos funcionales oxigenados se ligan a la composición del carbón. Los métodos para la activación se los puede clasificar en 3 categorías: Activación química, activación física y activación físico-química. Cada activación usa agentes y procesos de activación diferentes.(Canales Flores, 2018,p.38).

Actualmente lo que se busca con un trabajo de investigación además de aplicar los conocimientos adquiridos es brindar un valor agregado al estudio, es decir que aporte con ideas para mejorar o

solucionar una problemática que surja del diario vivir. Dentro del sector agroindustrial existen innumerables desechos y desperdicios que surgen de las actividades del diario urbano. Uno de estos es el desecho que queda en cada cosecha de papa (*solanum tuberosum*). Los agricultores queman la planta seca denominada yuyo para poder eliminarla del suelo y empezar con la nueva cosecha, esto genera mayor contaminación para el medio en el que se encuentre.

Es por esta razón que en el presente trabajo de titulación se toma como materia prima para la obtención del carbón al yuyo de la papa del barrio Santa Teresita del cantón Guamate de la provincia de Chimborazo. El cuál será sometido al proceso de obtención y posteriormente al proceso de activación de carbón. Poniendo a prueba su eficacia mediante análisis espectro métricos y verificar si se logró una buena activación del mismo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las actividades de agro cultivo existe una gran demanda de distintos productos agropecuarios surgiendo también un elevado porcentaje de residuos en cada época de cosecha; para disminuir la cantidad de residuos, los agricultores queman los suelos, esta actividad genera emisión de gases contaminantes siendo una problemática ambiental para el entorno en que se encuentre. (Manterola hector,Sataloff, Johns & Kost ,2015,p.28).

Una vía alterna para combatir este problema es dar un valor agregado a estos desperdicios, los métodos más utilizados son los procesos de transformación en: Combustibles, colorantes vegetales, plásticos, abono, C.A, entre otros. (Manterola hector,Sataloff, Johns & Kost ,2015,p.29).

Químicamente hablando, C.A es un producto orgánico, elaborado por combustión de la biomasa y pirólisis en condiciones específicas (Herguedas et al, 2012,p.13).

El C.A también llamado biocarbón es un tema que ha despertado un interés dentro de la comunidad científica. Varios investigadores que han trabajado con C.A han obtenido resultados impactantes en el área de adsorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos, explotando tanto sus propiedades físicas como químicas .(Li et al, 2017,p.468).

Una amplia aplicación se ha observado en la capacidad adsorbente del C.A sobre metales de aguas contaminadas, mientras más funcionalizado esté el C.A mayor adsorbancia tendrá.(Arias Arias et al, 2017,p.12).

El presente trabajo de titulación estudiará métodos físicos y químicos de funcionalización para el C.A proveniente de *Solanum tuberosum*, para identificar cuál es el más eficiente observando los grupos funcionales ligados a la estructura del C.A.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el uso de residuos provenientes de actividades antropogénicas como la agricultura ha presentado un gran avance en la revalorización de estos productos, utilizándolos como abono, producción de biocombustible, bioplásticos, carbón activo (CA), etc. (Manterola hector, Sataloff, Johns & Kost ,2015,p.30).

El carbón activo es un producto utilizado ampliamente para la remoción de compuestos contaminantes en diferentes matrices ambientales, la efectividad del mismo está relacionado directamente con la funcionalización de su superficie de contacto. Esta modificación del Biochar comprende en ligar grupos funcionales a la cadena principal del producto utilizando métodos físicos como químicos.(Li et al, 2017,p.470).

El presente trabajo de titulación mostrará una alternativa de revalorización de los desechos agrícolas provenientes de la agricultura de la papa (*solanum tuberosum*) mediante la obtención de biomasa como el carbón activo a través del método de pirólisis a condiciones controladas (Sevilla ,2011,p.26). Y la evaluación de la eficacia de funcionalización del CA mediante diversos métodos físico-químico.

El trabajo de titulación consta con el aval del proyecto “Síntesis y funcionalización de materiales orgánicos e inorgánicos y a través de métodos físico - químicos para el tratamiento de aguas y aguas residuales” del grupo de investigación de la Facultad de Ciencias – ESPOCH (Grupo de Investigación en Materiales Avanzados “GIMA”) aprobado por el IDI.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

- Estudiar propiedades físicas y químicas del C.A, activado por diversos métodos de funcionalización, proveniente del residuo de *solanum tuberosum*.

Objetivos específicos.

- Caracterizar la materia prima residual en parámetros físico-químicos.
- Obtener C.A tomando como materia prima *Solanum tuberosum*, mediante el proceso de pirólisis.
- Caracterizar el C.A obtenido mediante análisis espectro métrico para la observación de grupos funcionales y estructura del material.
- Funcionalizar el producto, mediante métodos físicos y químicos para ligar grupos funcionales al C.A.
- Evaluar la eficacia de los métodos físico-químicos aplicados, mediante la identificación de grupos funcionales ligados en el C.A.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

- La activación del material adsorbente por diversos métodos de funcionalización provocará la variación de las propiedades físicas y químicas del C.A proveniente del residuo de *Solanum Tuberosum*.

Hipótesis Específicas.

- A través de la caracterización de la materia prima se obtendrán los parámetros físico-químicos.
- Mediante el proceso de pirólisis se obtendrá carbón activo a partir del residuo *solanum tuberosum*.
- Los métodos espectro métricos permitirán la determinación de la composición morfológica del material.
- Los métodos físicos y químicos de activación ligarán grupos funcionales a la superficie del material.
- Los métodos de funcionalización utilizados tienen una gran eficacia en el ligamiento de grupos funcionales y aumento de la superficie porosa.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la Investigación.

Se ha realizado diversas investigaciones enfocadas en la obtención de C.A a partir de residuos orgánicos y también acerca de la remoción de contaminantes presentes en distintas superficies ambientales mediante el uso del carbón activado con métodos de funcionalización, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes.

C.A es un compuesto carbonoso, sólido, y recalcitrante derivado del pirólisis de la biomasa de residuos. Su rendimiento y las propiedades son fuertemente influenciadas por las condiciones de pirólisis y la composición de materia prima.(Escalante et al, 2016,p.369).

Se llevó a cabo la pirólisis y se deduce que, durante el proceso, la biomasa se somete a descomposición primaria, lo que resulta en la formación de carbón sólido térmicamente estables y líquidos, seguido de descomposición secundaria (agrietamiento y re polimerización) en donde se producen reacciones de conversión de los compuestos volátiles inestables para formar productos gaseosos. En función de las velocidades de calentamiento utilizados en la pirólisis, el proceso se divide en pirólisis rápida, pirólisis lenta, pirólisis de cenizas, torrefacción, gas pirolítico de cationes y carbonización hidrotermal.(Escalante et al,2016,p.370).

Se realizó un método para la preparación de C.A mediante la activación de lodos pirólisis de carbono por efecto de $ZnCl_2$ y se investigó la concentración, la temperatura de activación a la vez que los métodos de caracterización.(Li et al, 2017,p.471).

Un estudio indica que es posible la adsorción de Hg en los materiales lignocelulósicos en condiciones estáticas y dinámicas mediante el método de la escoba española, señala, además que los métodos requieren la activación preliminar o la síntesis de los materiales, una manera de activación es el uso de NaOH y HNO_3 que ajusta el pH de las soluciones para ver como ajusta la capacidad de adsorción.(Arias Arias et al, 2017,p.13).

1.2 Marco Conceptual

1.2.1 Carbón Activo

El Carbón activo también llamado biocarbón, se refiere a carbones muy porosos producidos a partir de materiales ricos en carbono, mediante diversas formas de activación química o física (Carriazo, Saavedra, & Molina, 2010, p.224). Actualmente uno de los procesos físicos químicos de obtención de carbón activado consiste en la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno. Esta descomposición térmica se lleva a cabo por el proceso de pirólisis, donde la biomasa se somete a temperaturas elevadas mismas que conducen a cambios en sus composiciones químicas. Debido a las condiciones de oxígeno limitadas, no hay combustión de carbono y los materiales resultantes incluyen gas de síntesis, bioaceite, y carbón activado que es sólido, negro, altamente poroso y compuesto de peso ligero compuesto de 70% de carbono en una forma estable.(Escalante et al, 2016,p.13).

Los carbones activados se pueden sintetizar a partir de cualquier precursor carbonoso, como carbón, neumáticos desechados, lignina o residuos de biomasa, entre otros, preferiblemente con bajo contenido inorgánico contenido. Hoy en día, la mayor parte de la investigación se centra en la síntesis de carbones activados a partir de residuos de biomasa debido a algunas ventajas incuestionables:

- 1) Este proceso da como resultado la revalorización de residuos.
- 2) Los carbones activados sintetizados tienen un menor costo ya que se producen de precursores de bajo valor económico.
- 3) Se obtienen a partir de recursos renovables.
- 4) Después de su vida útil, la combustión de estos carbones activados no aumenta la acumulación de CO₂ en la atmósfera porque este CO₂ ha sido capturado previamente durante el crecimiento de las plantas (Bedia et al., 2020, p.1).

1.2.2 Estructura del carbón activado

Se considera a la estructura del carbón activado como un decaimiento continuo en el grado de ordenamiento de los planos en el grafito presentando una estructura tridimensional de átomos de carbono en láminas planas de anillos hexagonales. Siendo así las imperfecciones que se presentan dentro del carbón activado favorecen la reactividad de los átomos de carbono localizados en las partes periféricas de los planos (Álvarez, Maldonado, & Carrasco, 2014, p.22).



Figura 1-1. Microestructura del carbón activado

Fuente: Álvarez, Maldonado, & Carrasco, 2014, p.23.

Una de las principales características del carbón activado es la presencia de heteroátomos tales como oxígeno, hidrógeno o nitrógeno en su estructura lo que permite que sustancias polares sean débilmente retenidas sobre la superficie del carbón activado.

1.2.3 Tipos de carbón activado

La mejor forma de clasificar al carbón activado es según el tamaño de las partículas que lo conforman entre estas tenemos:

1.2.3.1 Carbón activado en polvo.

Generalmente las partículas de carbón activado en polvo muestran dimensiones inferiores a 100 μm , mismas que comprenden comúnmente tamaños de partícula entre 15 y 25 μm .

1.2.3.2 Carbón activado granular.

En comparación al carbón activado en polvo estas presentan un tamaño de partícula de entre 1 y 5 mm. En consecuencia, a este se subdivide en dos categorías que son carbón activado troceado que particularmente son obtenidos en procesos de molienda, tamizado y carbonización de la misma manera el carbón activado conformado es otra de las subcategorías del carbón activado granular el que se obtiene del proceso de peletización o por extrusión del carbón en polvo adicionado a una mezcla con distintos aglutinantes o aglomerantes (Chávez, 2008, p.8).

Tabla 1-1: Aplicaciones de los diferentes tipos de carbones activados

Tipo de carbón activado	Aplicaciones industriales
Carbón activado en polvo	<ul style="list-style-type: none">• Tratamientos de aguas• Decoloración de azúcar• Industria alimentaria• Emisiones de mercurio
Carbón activado granular	<ul style="list-style-type: none">• Purificación de gases• Recuperación de disolventes• Máscaras de gas• Purificación de aguas

Fuente: (Chávez ,2008,p.9).

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

1.2.4 Factores que afectan las propiedades del Carbón.

El rendimiento de biocarbón y sus propiedades fisicoquímicas tales como área superficial, tamaño de poro, contenido de carbono y el grupo funcional dependen principalmente de las condiciones del proceso de pirólisis y el tipo de materia prima utilizada para su preparación. Además, estos parámetros con fuerza en influir en la estructura de carbón debido a la liberación de volátiles durante el proceso de pirólisis. La estructura Char y propiedades fisicoquímicas asociadas juegan un papel vital en la interacción de carbón con la enzima durante el proceso de inmovilización.(Escalante et al,2016,p.9).

1.2.5 Pirólisis

En ausencia de oxígeno, a temperaturas elevadas, el material orgánico sufre descomposición termoquímica. Este proceso se llama pirólisis (destilación destructiva). Es un proceso irreversible, que conduce a cambios en la composición química y el estado físico de la materia orgánica. La palabra "pirólisis" proviene del vocabulario griego. Pyro significa "fuego" y lisis significa "ruptura". La pirólisis contrasta con la combustión completa normal de materia orgánica, en presencia de oxígeno, produciendo dióxido de carbono y agua. Generalmente, la pirólisis de sustancias orgánicas produce tres fases de materia, productos gaseosos como el monóxido de carbono e hidrógeno (conocido industrialmente como gas de síntesis), metano, gases de cadena corta de hidrocarburos y dióxido de carbono, productos líquidos (conocidos como bioaceite y alquitranes), que incluyen compuestos alifáticos y aromáticos, fenoles, aldehídos y levoglucosano, hidroxiacetaldehído, cadenas de hidrocarburos y agua; generalmente produce un residuo sólido rico en carbono (conocido popularmente como char o biochar). La fase sólida puede contener también algunas impurezas, por ejemplo, compuestos aromáticos, la pirólisis intensiva, que conduce principalmente a un residuo de carbono sólido, se denomina carbonización (Kiel, Paasen & Neeft, 2004, p.52).

Tabla 2-1: Tipos de pirólisis en función del tiempo, velocidad y productos.

Proceso	Tiempo de Residencia	Velocidad de Calentamiento	Temperatura (°C)	Productos
Carbonización	Días	Muy lenta	400	Bio-char
Convencional	5-30 min	Lenta	600	Gas, líquido y biochar
Rápida	0,5-5 s	Muy rápida	650	Bioaceites
Flash (Líquidos)	< 1 s	Rápida	< 650	Bioaceites
Flash (Gas)	< 1 s	Rápida	< 650	Químicos y gas
Ultrarrápida	< 0,5 s	Muy rápida	1000	Químicos y gas
Vacío	2-30 s	Media	400	Bioaceites
Hidropirólisis	< 10 s	Rápida	< 500	Bioaceites
Metanopirólisis	< 10 s	Rápida	> 700	Bioaceites

Fuente: Balat et al., 2009, p.3151

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021.

1.2.6 Tipos de pirólisis para biomasa en el proceso de carbón activado.

Dos procesos de degradación térmica, en presencia y ausencia de agua, se utilizan con mayor frecuencia para carbonizar la biomasa. Ambos métodos producen de manera eficiente grandes cantidades de carbón, tienen altas tasas de recuperación de carbono y se pueden aplicar a una amplia gama de materias primas (Sevilla & Fuertes, 2009, p.4198).

1.2.6.1 Producción de biocarbón por pirólisis lenta.

El proceso más eficaz para la producción de carbón vegetal en condiciones secas es la pirólisis lenta. Este método se deriva de los métodos de producción de carbón utilizados por la humanidad durante milenios (Ogawa & Okimori, 2010, p.490). La pirólisis lenta utiliza velocidades de calentamiento moderadas durante un largo período de tiempo y, en última instancia, conduce a un rendimiento de 30 a 45% de C como biocarbón (Bruun et al., 2012, p.73). Sin embargo, este proceso no es adecuado para la carbonización de la mayoría de los desechos agrícolas debido a la necesidad de secar la materia prima antes y / o durante la reacción.

1.2.6.2 Producción de biocarbón por carbonización hidrotermal

La carbonización hidrotermal (HTC) utiliza una variedad de materias primas de biomasa no convencionales, como lodos de depuradora, desechos animales y compost (Titirici, Thomas & Antonietti, 2007, p.788), sin necesidad de secar antes de la producción de carbón. Aunque HTC se descubrió a principios del siglo XX durante estudios de formación de carbón natural, hasta la fecha solo hay unos pocos estudios sobre su uso potencial para el secuestro de Carbono (Schimmelpfennig & Glaser, 2012, p.1004).

En los procesos de producción de carbón hidrotermal, la mezcla de biomasa húmeda se calienta a temperaturas de hasta 220-240 C en un reactor de alta presión. Las presiones de vapor alcanzan

hasta 20 bar y se genera muy poco gas (1 - 5%), por lo que la mayoría de los orgánicos permanecen disueltos o se transforman en lignito (Libra et al., 2011, p.74). Durante la HTC se sintetizan varios materiales carbonosos con diferentes tamaños, formas y grupos funcionales superficiales, pero una gran proporción del carbono inicial (40 a 54%) permanece en forma soluble (Hu et al., 2010, p.826). Entre las ventajas del proceso HTC está el uso de materia prima no tradicional que podría proporcionar un flujo continuo de materia prima para este proceso y menos pérdidas de carbono durante las generaciones de carbón.

Los carbones hechos con pirólisis lenta y HTC difieren en apariencia física y propiedades químicas (Sevilla & Fuertes, 2009, p.4198).

1.2.7 Perspectivas actuales y futuras de la pirólisis de biomasa

1.2.7.1 Pirólisis de biomasa por microondas

Se puede usar calentamiento por microondas para una pirólisis rápida. Normalmente, la radiación de microondas es absorbida por la biomasa. Las microondas calientan la biomasa con alta eficiencia, de la misma manera que el microondas para calentar alimentos. Acorta el tiempo de inicio de las reacciones de pirólisis y disminuye considerablemente la energía necesaria, el proceso de pirólisis usando microondas se lleva a cabo con temperaturas comprendidas entre 200–300 ° C (Zhang et al., 2017, p.139). Entre las aplicaciones más importantes, mediante pirólisis por microondas de cáscara de nuez de pacana (*Carya illinoensis*) se han obtenido productos sólidos a base de carbono para el tratamiento de agua contaminada (Jimenez et al., 2017, p.2).

1.2.7.2 Pirólisis solar de biomasa

La pirólisis solar depende de la energía solar concentrada como fuente de calor necesaria para las reacciones de pirólisis de biomasa. La energía solar también mejora la energía de la biomasa. Esta mejora energética se produce al almacenar energía solar en formas químicas en los productos de pirólisis producidos (biogás, bioaceite y biochar). La energía solar se suma a la energía química ya almacenada en la biomasa. La energía ya almacenada en la biomasa se refiere a la energía que se produce cuando esta biomasa se quema de forma convencional en presencia de oxígeno. Para la pirólisis convencional no solar, se requiere energía en todas las técnicas de pirólisis tradicionales para calentar la biomasa. Esta energía se obtiene de recursos no renovables, por ejemplo, la quema de combustibles derivados del petróleo. Esto disminuye la viabilidad del proceso y crea inconvenientes ambientales (Nzihou et al., 2012, p.122; Pozzobon et al., 2014, p.320; Borges et al., 2014, p.519).

1.2.7.3 Pirólisis de biomasa por plasma

El plasma es un gas ionizado, está compuesto por iones positivos y electrones negativos de cantidades casi iguales. El plasma generalmente se designa como cuarto estado de la materia; sus propiedades son diferentes a las de los gases neutros. Los plasmas se dividen en dos categorías, a saber, plasma caliente y plasma frío. Naturalmente, el plasma no está disponible, en condiciones normales, en la superficie terrestre. Sin embargo, se forma durante los rayos y también está disponible en el núcleo y la corona del sol y las estrellas. Artificialmente, puede producirse calentando gases o aplicando un fuerte campo electromagnético a los gases (Piel, 2010, p.20). La pirólisis de biomasa por plasma caliente tiene muchas ventajas. La alta energía y temperaturas del plasma promueven reacciones de pirólisis rápidas, aumentando así la producción de gas y disminuyendo la producción de alquitranes pesados al evitar la repolimerización o recondensación de los productos de pirólisis, que puede ocurrir al aumentar el tiempo de pirólisis y el tiempo de residencia de los productos de pirólisis en el reactor (Gitzhofer, 2015, p.8).

1.2.8 Composición de la materia prima (*solanum tuberosum*)

La materia prima más común para la preparación de biocarbón es la biomasa lignocelulósica que comprende residuos agrícolas y forestales (Trujillo A et al,2019,p.9). Aunque la biomasa no lignocelulósica tal como lodos de aguas residuales, estiércol, algas, etc. También se han ensayado para la producción de carbón vegetal. Diferentes componentes de la biomasa lignocelulósica se pirolizan a temperaturas diferentes.

La papa (*solanum tuberosum*) pertenece a la familia de las solanáceas y la especie *S. tuberosum*. Hay unas 5.000 variedades de patatas en todo el mundo misma que contiene compuestos tóxicos, vitaminas, minerales y carotenoides. Usualmente son utilizados como adsorbentes para la eliminación de tintes textiles (Rehman, Farooq & Mahmud, 2019, p.820).

Tabla 3-1: Composición lignocelulósica de materia orgánica.

Material	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Maderas blandas	38-46	23-31	22-34
Maderas duras	38-49	20-40	16-30
Paja	28-42	23-38	12-21
Bambú	26-43	25-26	20-32
Algodón	80-85	n.d.	n.d
Hoja tusa del maíz	18-40	11,34-31	14-19
Tallo de clavel	40-50	25-45	20-25
Corona piña	11-45	14-50	10-30
Tallo rosa	45-50	20-25	20-25
Cáscara naranja	16,2	13,8	1
Tallo maíz	50	20	30
Bagazo plátano	55.65	14	11,58

Fuente: Gómez et al., 2017, p.41

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

Se puede observar que algunos tipos de residuos orgánicos son más precursores para la producción de carbón activo que otros, esto debido al contenido de lignina que presentan cada una de las materias primas.

El tipo de materia prima afecta principalmente el contenido de carbono de la biomasa, capacidad de secuestro de carbono, y el contenido de cenizas (Zhao, 2013,p.41). El contenido de carbono de biocarbón es directamente proporcional al contenido de lignina de la biomasa.

Sobre los residuos agrícolas, la capacidad de intercambio catiónico del material depende de la presencia de cationes, el cual también es influenciada por el tipo de materia prima (Escalante et al,2016,p.15).

En condiciones de alta presión, el material de alimentación con alto contenido de humedad (40 - 60%) da como resultado un alto rendimiento de biocarbón mientras que el contenido de humedad de menor del 10% se prefiere para pirólisis rápida para minimizar el gasto de energía para conseguir el aumento de calor de vaporización. (Daful, 2018,p.12).

1.2.9 Caracterización de Biocarbón

Características estructurales de materiales adsorbentes son analizados por métodos espectrales, para determinar la morfología de la superficie del biocarbón a través de microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM), junto con otras técnicas tales como espectroscopia de Raman, difracción de rayos X (XRD), y X dispersivo-energía ray (EDX) (Natalia, 2017,p.20).El área específica de superficie y estructura de poro pueden ser analizados usando el método de Emmett, y TellerN Brunauer (BET).

El análisis de cambios de grupos funcionales sobre la superficie del biocarbón se pueden estudiar usando el espectrómetro de infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR) (Taskin, 2019,p.10), mientras que la abundancia relativa de los grupos funcionales y aromaticidad puede ser estudiada usando resonancia magnética nuclear del C (RMN^C). Análisis de estabilidad térmica de biocarbón se lleva a cabo usando un analizador termogravimétrico. La composición química incluyendo total de C, N y H contenido de las muestras biocarbón es estimado usando un analizador elemental de CHN. Elementos inorgánicos (Ca,Mg, K, P, Al y Fe) en el biocarbón se pueden determinar usando una espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente y por EDX (Vassilev, 2013, p.20).

1.2.10 Ingeniería del Biocarbón.

El biocarbón generado a partir de los procesos de tratamiento térmico es a menudo modificado para modificar sus propiedades, para mejorar su idoneidad para el fin de aplicación final. Para ser utilizado como soporte de inmovilización, el biocarbón tiene que ser diseñado o modelado para

aumentar su especificidad del área de superficie y la fracción de poros o para formar grupos funcionales reactivos. Los métodos de ingeniería biocarbón se dividen mayormente en la activación físicos, químicos y otros métodos de activación (Pandey ,2020,p.20).

Los carbones activados se producen a partir de distintos precursores, como madera, turba, lignito, lignito, varios tipos de hulla, antracita, productos carbonados y petroquímicos, polímeros y cáscaras de frutas. Normalmente, todos los precursores orgánicos se pueden convertir en carbones activados; sin embargo, en la mayoría de los casos, requiere el uso de un agente de activación y solo unos pocos son comercialmente atractivos. Las propiedades del producto final dependen de la naturaleza de la materia prima utilizada, la naturaleza del agente activador y las condiciones del proceso de activación (Buczek, 2016, p.1).

La producción tradicional de carbón activado consta de dos pasos: (i) carbonización del precursor a una temperatura inferior a 900 ° C en atmósfera inerte y (ii) activación química o físico-química del precursor carbonizado (Kleszyk et al., 2015, p.3).

Hay dos procedimientos diferentes para sintetizar carbones activados, a saber, la activación física y la activación química. El primero consta de dos pasos térmicos diferentes. La primera es una pirólisis o carbonización del precursor carbonáceo a altas temperaturas, generalmente en el rango de 700-900 °C, bajo atmósfera inerte para evitar la combustión de la materia carbonosa. En este paso, se eliminan los heteroátomos y se liberan los volátiles, lo que da como resultado carbones con alto contenido de carbono (el aumento de la temperatura de carbonización aumenta el contenido de carbono) pero con un desarrollo de porosidad aún bajo. El segundo paso del proceso de activación física es la gasificación. Consiste en una eliminación selectiva de los átomos de carbono más reactivos mediante reacciones de gasificación controladas que generan la porosidad característica de los carbones activados. La temperatura de gasificación depende del agente de gasificación utilizado, generalmente vapor de agua, CO₂ u O₂ (aire). Las temperaturas en el rango de alrededor de 700–900 °C se utilizan con gasificación de vapor de agua o CO₂. Por el contrario, cuando se usa O₂ puro o aire, las temperaturas de gasificación deben ser mucho más bajas (alrededor de 300–450 °C) debido a la reactividad mucho mayor del O₂ que el CO₂ y el vapor de agua. Además, el uso de O₂ dificulta el control de la gasificación y por tanto el desarrollo de porosidad, debido a la alta reactividad y exotermicidad de la reacción con O₂ (Bedia et al., 2020, p.2).

El segundo procedimiento para sintetizar carbones activados es la activación química. Este proceso tiene solo un paso térmico, aunque de hecho consta de tres etapas de síntesis diferentes.

La primera es la impregnación del precursor con el agente activador. Tradicionalmente se han estudiado en la literatura diferentes agentes activantes, como ZnCl₂, H₃PO₄, NaOH o KOH, entre otros. El procedimiento de impregnación se puede realizar mediante diferentes técnicas. Por ejemplo, algunos autores utilizan una solución acuosa del activador puesto en contacto con el

precursor carbonoso. Sin embargo, otros estudios realizan una mezcla física directa y más sencilla del precursor y el agente activador. Probablemente uno de los parámetros de síntesis más influyentes con respecto a las características de textura del carbón activado final es la relación de impregnación o relación de masa entre el agente activante y el precursor carbonoso, las proporciones de impregnación entre 0,5 :5 se encuentran con mayor frecuencia en la literatura. Después de la impregnación, el segundo paso del procedimiento de activación química es el tratamiento térmico en una atmósfera inerte a diferentes temperaturas dependiendo del agente de activación elegido. Las temperaturas habituales empleadas dependen del agente activador.

Durante este paso, tienen lugar reacciones de despolimerización, deshidratación y condensación, lo que resulta en mayores rendimientos de carbono que en la activación física debido a la restricción en la formación de alquitranes y volátiles. Finalmente, la última etapa implica el lavado para eliminar los agentes activantes restantes y los subproductos de reacción que ocluyen la porosidad recién formada y el secado

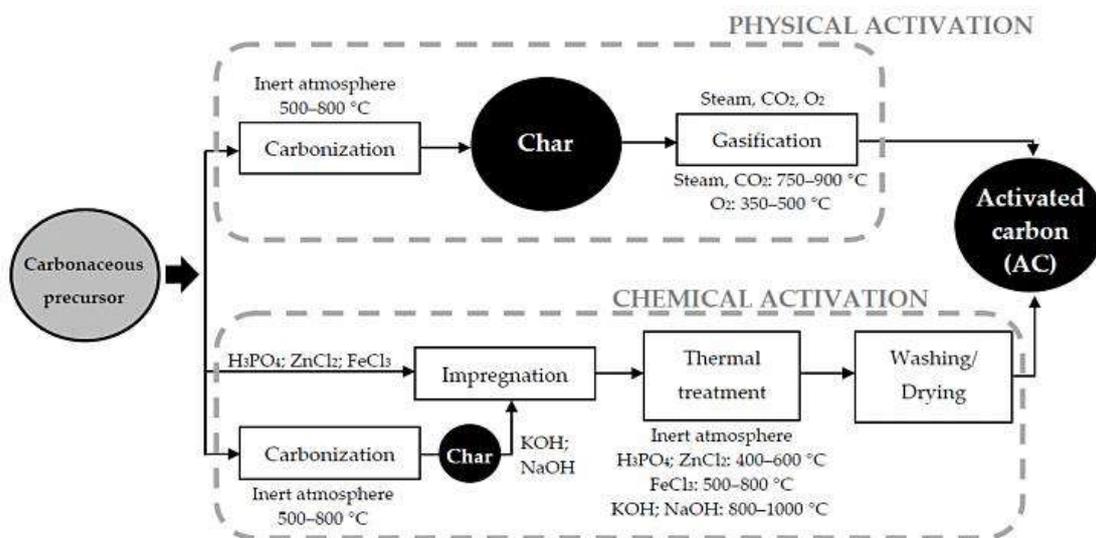


Figura 2-1. Síntesis de carbones activados

Fuente: (Bedia,2020,p.3)

1.2.11 Activación Física

La activación física de biocarbón implica el uso de agentes físicos tales como vapor, dióxido de carbono, nitrógeno, etc., para modificación. En la activación de vapor, el biocarbón se somete a una gasificación parcial con vapor que da como resultado la descomposición de las partes no estructuradas del material carbonizado y la formación de carbono cristalizado. Este proceso se inicia con la descomposición de vapor de agua que libera oxígeno que se une con la superficie de carbono para formar CO, mientras que el hidrógeno liberado con el carbono para formar un complejo C.H. Vapor adicional oxida la superficie de carbono liberando CO y H. Esta desgasificación provoca la apertura de poros encerrados en la estructura de carbono que otras formas más grandes de poros después de la depleción de carbono durante la activación, lo que resulta en un aumento en el área de superficie interna (Escalante et al,2016,p.28).En un estudio realizado por (Kleszyk et al, 2015,p.9) oobservó que un biocarbón activado con vapor de agua a 700 °C produjo un aumento del 55% en la capacidad de sorción para la sulfamethazina comparándolo con otro biocarbón producido a la misma temperatura sin activación física. El aumento de la capacidad de sorción se relaciona directamente con el incremento del área superficial del material producido por el vapor.

La oxidación del biocarbón con aire también ha demostrado aumentar la densidad de grupos funcionales en la superficie oxigenada, los cuales aumentan la capacidad de intercambio catiónico incrementando su capacidad de sorción (Kleszyk et al, 2015,p.18).

1.2.12 Activación química

Al activar químicamente el biocarbón, la carbonización y la activación ocurren simultáneamente. Para la carbonización, el material carbonoso se calienta en ausencia de oxígeno, también llamado pirólisis. En este proceso se elimina la mayor parte del oxígeno, hidrógeno y volátiles, dejando los grupos de carbono estructurados de manera que los poros estén presentes dando la característica de adsorción del carbono. Una vez que la materia prima se ha carbonizado, debe activarse, cuando se activa, la estructura de los poros se mejora, aumentando aún más las cualidades de adsorción al agrandar los poros y quemar los alquitranes (Birbas, 2011, p.25).

La activación de biocarbón con la ayuda de agentes químicos tales como ácidos, bases y sales inorgánicas no sólo altera las propiedades fisicoquímicas cruciales, sino que también introduce grupos funcionales de superficie para las capacidades de sorción mejoradas (Escalante et al, 2016,p.372).

En un estudio realizado por (Canales Flores, 2018,p.18) se observó que realizando un tratamiento a la biomasa con ácidos y agentes oxidantes aumentaba los grupos funcionales que contienen oxígeno y la hidrofilia, mientras que el área de superficie y la porosidad tenían efectos variables.

(Li et al,2017,p.22), también realizó una investigación y dedujo que la biomasa activada con H_2SO_4 y $H_2C_2O_4$ incrementa la relación de oxígeno a carbono y agregaba oxígeno a grupos funcionales de superficie con el aumento de área de superficie.

Los tratamientos realizados con ácidos como H_2SO_4 y HNO_3 han demostrado que provoca una disminución de la porosidad en la biomasa (Canales Flores, 2018,p.20). Los tratamientos con álcalis tienden a aumentar la no polaridad de biocarbón y pueden alterar el área de superficie y la porosidad y por tanto las capacidades de adsorción del biocarbón. (Js, 2017,p.13).

Principalmente el uso de H_3PO_4 aumenta gradualmente el volumen de los micro poros presentes en la estructura molecular del biocarbón permitiendo el desarrollo de los demás tamaños de poro de una forma proporcional teniendo de esta manera carbones activados con altas capacidades de retención para compuestos orgánicos volátiles superiores a los que se logran empleando agentes activante (Kim et al., 2013, p.270).

Un trabajo elaborado por (Yang,2017,p.10) sobre biomasa a partir de cáscaras de maní activado por KOH demostraba que el área de superficie y el volumen de poro aumentaban, permitiendo una mayor adsorción de una solución acuosa.

1.2.12.1 Activación por ácido fosfórico

La activación química con ácido fosfórico no solo reduce la formación de alquitrán, aumentando así el rendimiento de carbono (Benadjemia. 2011);(Shaobih et al, 2005);(Lim et al, 2010); citados en (Adegboyega et al,2015,p.5).sino que también brinda la posibilidad de desarrollar carbono microporoso y mesoporoso con alta especificidad y superficie (Jagtoyen y Derbyshire, 1998); citados en (Adegboyega et al,2015,p.10).Se sabe que, a mayor temperatura de producción, mayor porosidad adquiere el biocarbón, aumentando así el área superficial, lo cual permite incrementar la adsorción e interacción del biocarbón con los iones presentes en su entorno. El ácido fosfórico además activa el carbono con grupos carboxilos ácidos haciendo que los iones del entrono sean más fuertemente adsorbidos en la superficie del biocarbón en los sitios activados (Paz et al., 2011; citado en Gómez et al., 2017, p.40).

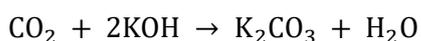
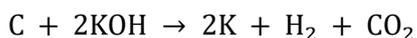
1.2.12.2 Activación por hidróxido de potasio

El hidróxido de potasio se ha utilizado ampliamente como agente activador en la preparación de carbón activado. La activación de KOH produce carbón activado con una buena superficie específica y un buen desarrollo de poros, pero el rendimiento resultante es bajo (alrededor del 10% -40%) en comparación con otros activadores como $ZnCl_2$ y H_3PO_4 . Es probable que esto se deba al desarrollo de poros, que acelera la pérdida de carbono como resultado de la intercalación de iones metálicos de potasio en la red de carbono. Durante la carbonización, el KOH actúa como

un agente deshidratante, para eliminar la presencia de agua en el precursor, que posteriormente provocaría la formación de alquitrán que podría tapan los poros. La fase de carbonización se da como:



Durante el proceso de activación con KOH, las siguientes reacciones toman lugar:



Tanto los mesoporos como los microporos se forman como resultado de la intercalación del potasio en la red de carbono durante la activación. Además, también existe la posibilidad de que se produzca una reacción secundaria de la siguiente manera (Hui & Zaini, 2015, p.276).



1.2.12.3 Activación por cloruro de hierro

El uso de FeCl₃ tiene algunas ventajas con respecto a otros agentes de activación química más tradicionales. Por ejemplo, tiene un costo menor y es más amigable con el medio ambiente. Otros agentes activadores tradicionales, como KOH, NaOH o H₃PO₄, son bases y ácidos muy fuertes. El manejo de estos materiales requiere medidas de seguridad más estrictas y materiales más resistentes a la corrosión, aumentando el costo del proceso de síntesis. En el caso del ZnCl₂, los iones de Zn y los óxidos derivados son tóxicos y, por lo tanto, deben someterse a regulaciones de descarga más estrictas. Todos estos hechos significan que la activación de FeCl₃ puede considerarse de bajo costo y ambientalmente benigna en comparación con los agentes activantes tradicionales. Otra característica interesante de este procedimiento de activación es que puede producir carbones activados magnéticos (Bedia et al., 2020, p.3).

El procedimiento de síntesis de carbones activados por activación química de FeCl₃ muestra tres pasos sucesivos, a saber, (1) impregnación, (2) activación térmica o pirólisis y (3) lavado. La impregnación es la mezcla del precursor carbonoso con FeCl₃, y generalmente se realiza por dos métodos diferentes, en solución acuosa o por mezcla física entre el precursor de carbono y el agente activador de cloruro de hierro. En solución acuosa, el precursor carbonoso se suspende bajo agitación en una solución acuosa de FeCl₃, controlando la proporción de impregnación de masa. Este parámetro se define como la relación de masa de agente activador a precursor de carbono. Los valores habituales de la relación de masa de impregnación están en el intervalo de 0,5: 1 hasta 5: 1. Este procedimiento requiere un paso de secado adicional antes de la pirólisis

para eliminar el agua. El procedimiento de impregnación por mezcla física es más sencillo ya que evita la etapa de secado, con la consiguiente reducción de costes. Este método consiste en una mezcla en estado sólido tanto del precursor carbonoso como del cloruro de hierro, en una proporción de impregnación específica (Bedia et al., 2020, p.4).

La etapa de activación térmica o pirólisis es el calentamiento de la mezcla impregnada en atmósfera inerte (habitualmente N_2) para evitar la oxidación de la materia carbonosa, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de activación seleccionada (T_{act}). Las muestras se mantienen a la temperatura de activación durante el tiempo de activación y posteriormente se enfrían a temperatura ambiente en atmósfera inerte. El parámetro más relevante de esta etapa de síntesis es sin duda la temperatura de activación, que controla la extensión del mecanismo de activación. Para obtener carbones activados con un desarrollo poroso significativo, la temperatura de activación debe ser igual o superior a $500\text{ }^\circ\text{C}$ (Bedia et al., 2020, p.5).

El paso de lavado final tiene como objetivo extraer el agente activador restante y los subproductos de la reacción para liberar la textura porosa recién desarrollada del carbón activado. La muestra activada se suspende en soluciones ácidas acuosas a temperaturas de hasta $80\text{ }^\circ\text{C}$. Posteriormente, el carbón activado sólido se filtra y se enjuaga con abundante agua generalmente hasta que no hay presencia de iones Cl^- o pH neutro en el agua filtrada. Finalmente, el carbón activado se seca y está listo para usar (Bedia et al., 2020, p.6).

1.2.12.4 Activación por cloruro de zinc

El $ZnCl_2$ se usa ampliamente como reactivo de activación en biocarbones, ya que da como resultado áreas de superficie elevadas y un alto rendimiento. En el uso de $ZnCl_2$, los carbones activados tienen grandes áreas de superficie y más estructura de microporos (Makeswari & Santhi, 2013, p.2). En la activación por cloruro de zinc, la sustancia química líquida se intercala en la matriz de carbono para producir poros a una temperatura superior al punto de fusión del agente químico. La reacción entre los átomos de carbono y el agente deshidratante se promueve en las capas intermedias extendidas de carbono. La aplicación de $ZnCl_2$ en la activación química generalmente mejora el contenido de carbono a través de la formación de una estructura aromática grafítica (Hock & Zaini, 2018, p.100).

Generalmente, la porosidad del carbón activado depende de la proporción de impregnación y la temperatura de activación. La liberación de sustancias volátiles debido al efecto del $ZnCl_2$ a temperatura elevada normalmente da como resultado el desarrollo de poros y canales en la matriz de carbón activado. Sin embargo, los nuevos poros son propensos a colapsar y convertirse en poros más grandes a temperaturas más altas, por lo que disminuye el área de la superficie. El punto de ebullición del $ZnCl_2$ ($732\text{ }^\circ\text{C}$) es otra preocupación que vale la pena considerar al

seleccionar las condiciones de funcionamiento. Como la temperatura de activación está normalmente por debajo del punto de ebullición, una parte de la sal puede permanecer en el carbón activado. En consecuencia, el paso de lavado drenaría la sustancia química y, por lo tanto, contaminaría el medio ambiente debido a la naturaleza peligrosa del $ZnCl_2$ (Li et al. 2020); citados en (Hock & Zaini ,2018,p.101).Desde el punto de vista de la economía del proceso, y para minimizar la liberación de $ZnCl_2$ al medio ambiente, el activador residual en el carbón activado puede recuperarse utilizando la unidad Soxhlet y reutilizarse para la activación posterior (Hock & Zaini, 2018, p.101).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1 Método deductivo

En diferentes fuentes bibliográficas en base a la funcionalización de carbones a partir de varias materias primas, se analizan varias vías de procedimiento que se toma para la activación. Por ello la experimentación es necesaria para realizar una comparación en base a los resultados y obtener conclusiones y su respectiva valoración.

2.1.2 Método Inductivo

Aplicando el método inductivo y tomando en cuenta las investigaciones previas realizadas se puede deducir cuál es la mejor vía para activar el producto obtenido (C.A), mediante los resultados obtenidos en las pruebas aplicadas al igual que validando los rendimientos de cada método de activación.

2.1.3 Método experimental

El diseño del trabajo de investigación es experimental, se van obteniendo datos en las pruebas físico-químicas, en la pirólisis y activación. Y los resultados se comparan con los resultados de las pruebas espectro métricas que se aplican al final de la experimentación.

2.2 Enfoque de la Investigación.

La investigación tiene enfoques cualitativos y cuantitativos. Por una parte, con las pruebas físico-químicas aplicadas a la materia prima se obtienen datos sensoriales cualitativos y los datos cuantitativos están direccionados a los valores de rendimientos de cada prueba de activación realizada.

2.3 Identificación de Variables

Tabla 4-2: Identificación de variables independientes y dependientes para cada etapa.

Proceso	Variables dependientes	Variables independientes
Caracterización de la materia prima residual <i>solanum tuberosum</i>	Parámetros físico-químicos <ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Humedad • Porcentaje de Cenizas. • Porcentaje de Carbono. • Porcentaje de nitrógeno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de materia prima que se necesita.
Pirólisis para la obtención del biocarbón.	<ul style="list-style-type: none"> • Gradiente de la temperatura. • Presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Masa del biocarbón. • Tiempo de carbonización
Caracterización del C.A obtenido mediante análisis espectro métrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Longitudes de onda que se forman dependiendo las vibraciones que tenga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de muestra que se utiliza para cada análisis
Funcionalización del C.A , mediante métodos físicos y químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de las soluciones. • pH de cada muestra. • Temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de muestra de reactivos: ZnCl₂, H₃PO₄, FeCl₃, KOH.

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021

2.4 Operacionalización de las Variables

2.4.1 Distribución de las Variables en base a su Operacionalización

Tabla 5-2: Operacionalización de las Variables.

Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Categorización	Indicadores	Instrumento de medición
Cantidad me muestra de materia prima residual	Independiente	Es la cantidad de materia prima tomada inicialmente previo a la obtención de Carbón Activo.	-	Peso	Balanza
Humedad	Dependiente	Está determinada como la cantidad de agua contenida en la materia.	-	% Humedad	Balanza de humedad
Ceniza	Dependiente	La cantidad de cenizas representa el contenido total de minerales en el la materia.	-	% Ceniza	Balanza. Reverbero. Mufla. Desecador
Carbono	Dependiente	Cantidad de carbono total presente en la muestra.	-	% Carbono	Método Walkey-Black
Nitrógeno	Dependiente	Cantidad de nitrógeno total presente en la muestra	-	%Nitrógeno	Método Kjeldahl
Temperatura	Independiente	Se define como la magnitud física que mide la cantidad de calor o energía térmica de un sistema.	Temperatura de pirólisis	Calor	Equipo de pirólisis
			Temperatura de activación	Calor	Estufa

Presión	Dependiente	Es la magnitud física encargada de medir la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie,	-	Presión	Equipo de pirólisis. (manómetro)
Tiempo de carbonización	Independiente	Magnitud física con la que se mide un periodo de cierto acontecimiento.	-	Minutos	Temporizador en la pirólisis
Cantidad de reactivo para Funcionalizar.	Independiente	Es la cantidad de reactivo que se usará para la activación del C.A obtenido.	-	Peso	Balanza analítica
Concentración de las soluciones	Dependiente	La cantidad de soluto dentro del volumen de solución	-	% Concentración	Material y reactivo de laboratorio.
pH	Dependiente	Coefficiente que determina el grado de basicidad o acidez de una solución acuosa	-	Grado de acidez o basicidad	pH metro.

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

2.4.2 Matriz de Consistencia

Tabla 6-2: Matriz de Consistencia Aspectos Generales y Específicos.

ASPECTOS GENERALES				
Problema general		Objetivo general		Hipótesis general
¿Cómo se realizará el estudio de las propiedades físicas y químicas del CA, activado por diversos métodos de funcionalización, proveniente del Residuo de <i>solanum tuberosum</i> ?		Estudiar propiedades físicas y químicas del C.A, activado por diversos métodos de funcionalización, proveniente del Residuo de <i>solanum tuberosum</i> .		La activación del material adsorbente por diversos métodos de funcionalización provocará la variación de las propiedades físicas y químicas del C.A proveniente del residuo de <i>solanum tuberosum</i> .
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables de las hipótesis específicas	Técnicas de recolección de datos
Se desconocen los parámetros físico-químicos de la materia prima residual	Caracterizar la materia prima residual en parámetros físico-químicos.	H1: A través de la caracterización de la materia prima se obtendrán los parámetros físico-químicos.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Humedad. ❖ Ceniza ❖ Carbono ❖ Nitrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Pruebas Gravimétricas para determinación del % de Humedad y Ceniza. ❖ Método Walkey-Black para determinar el % de Ceniza. ❖ Método Kjeldahl para determinar % de Nitrógeno.
¿Cuál es el proceso que se debe seguir en la pirólisis para la obtención de CA?	Obtener C.A tomando como materia prima <i>solanum tuberosum</i> , mediante el proceso de pirólisis.	H2: A través del proceso de pirólisis se obtendrá carbón activo a partir del residuo <i>solanum tuberosum</i> .	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Temperatura de pirólisis ❖ Tiempo de carbonización. ❖ Presión 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ensayos de pirólisis térmica a diferentes temperaturas.

<p>¿Cuáles son las características que presenta el CA?, después de realizar los análisis espectro métricos?</p>	<p>Caracterizar el C.A obtenido mediante análisis espectro métrico para la observación de grupos funcionales y estructura del material.</p>	<p>H3: Los métodos espectro métricos permitirán la determinación de la composición morfológica del material.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Longitud de onda de Transmitancia 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Examen de espectroscopía infrarroja.
<p>¿Cuáles son los métodos físico-químicos que se aplicarán para la funcionalización del C.A?</p>	<p>Funcionalizar el producto, mediante métodos físico- químicos para ligar grupos funcionales del C.A</p>	<p>H4: Los métodos químicos de activación ligaran grupos funcionales a la superficie del material.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cantidad de Reactivo: ZnCl₂, H₃PO₄, FeCl₃, KOH ❖ Temperatura de activación. ❖ Concentración de las soluciones. ❖ pH de las muestras en solución. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Activación química.
<p>¿Qué tan eficientes fueron los métodos usados?</p>	<p>Evaluar la eficacia de los métodos físico-químicos aplicados, mediante la identificación de grupos funcionales ligados en el C.A</p>	<p>H5: Los métodos de funcionalización utilizados tiene una gran eficacia en el ligamiento de grupos funcionales y aumento de la superficie porosa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cantidad de grupos funcionales antes y después de la activación 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cálculos específicos.

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021.

2.5 Diseño de la Investigación

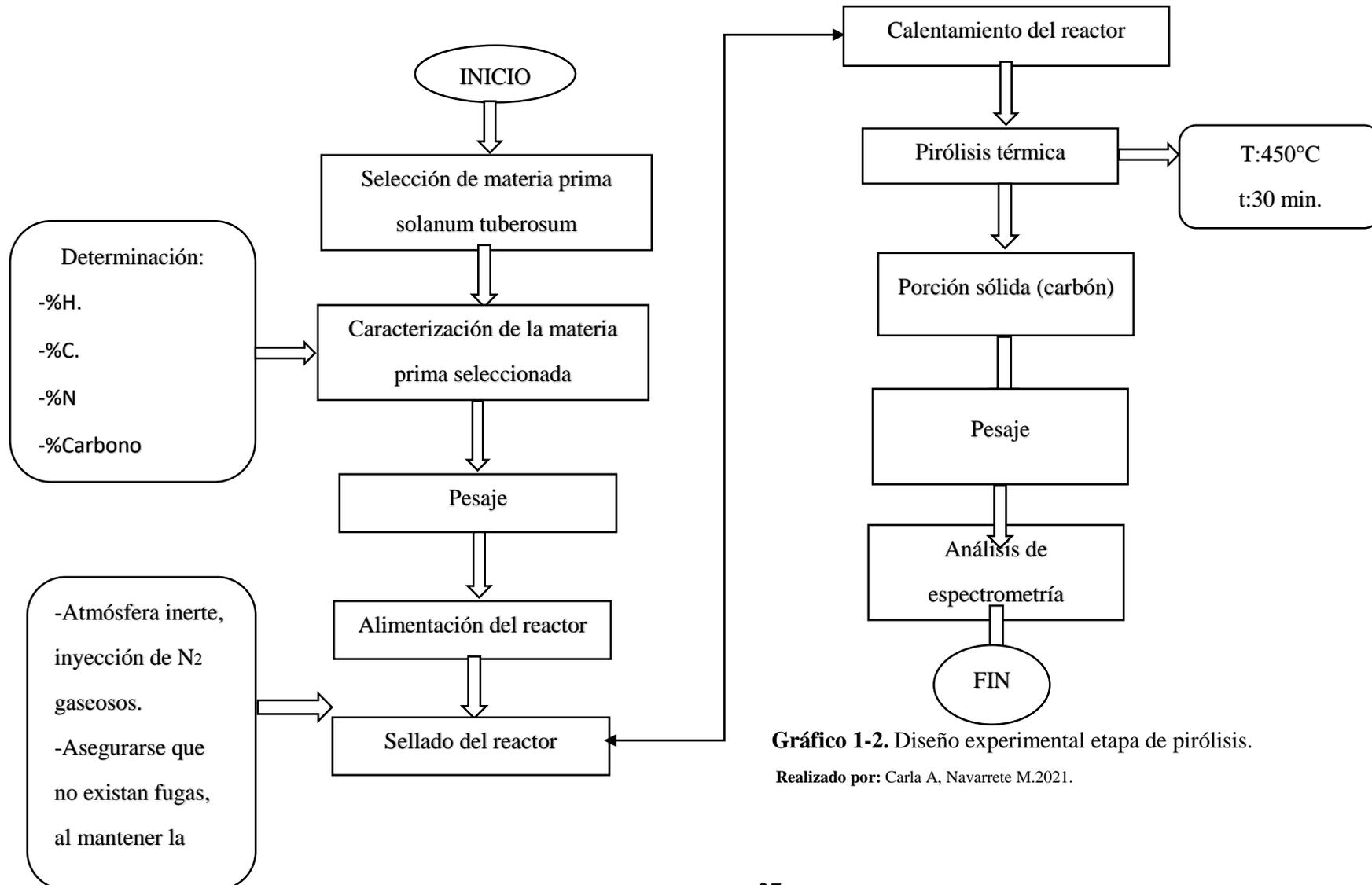


Gráfico 1-2. Diseño experimental etapa de pirólisis.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

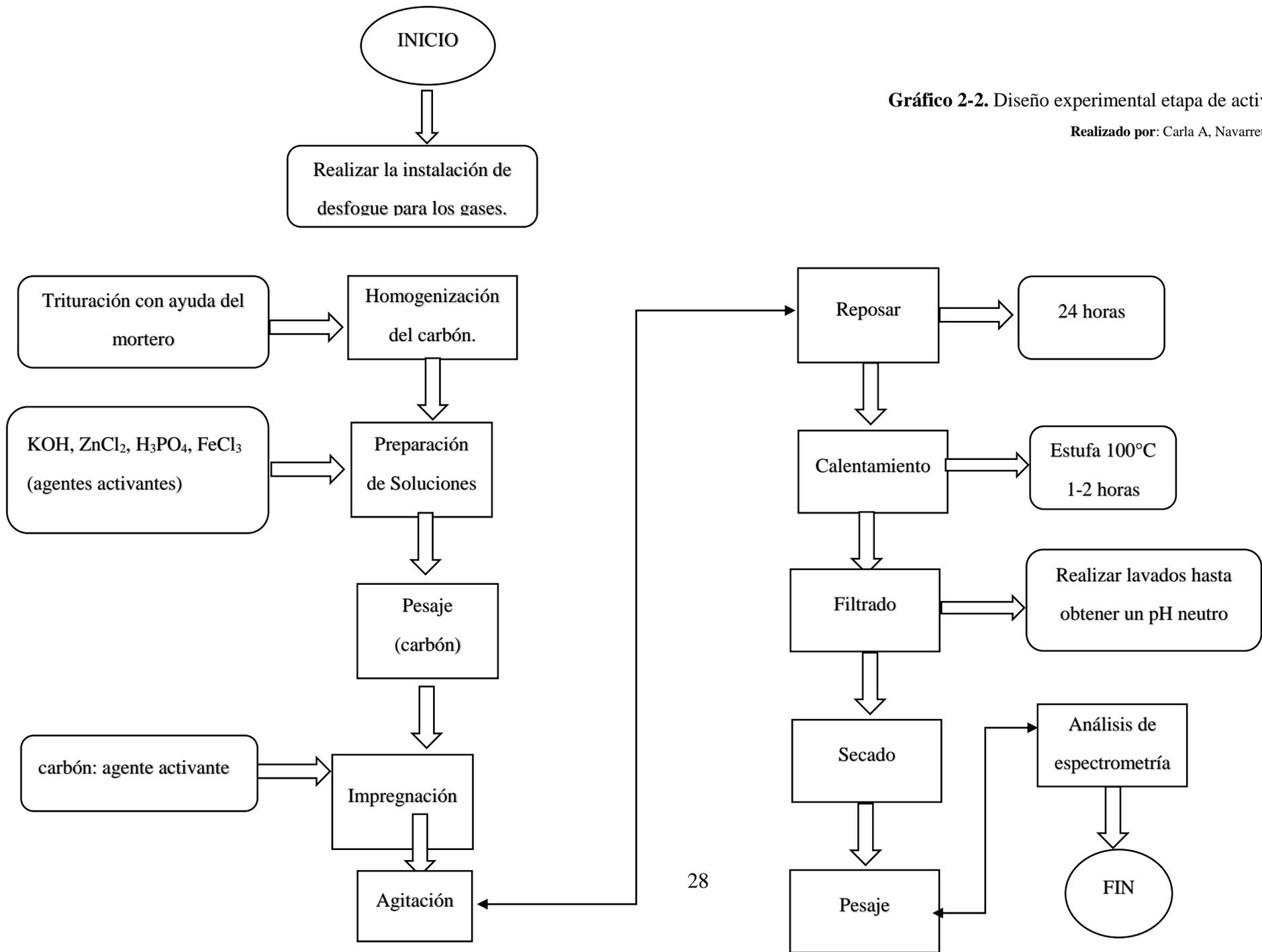


Gráfico 2-2. Diseño experimental etapa de activación.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

2.6 Unidad de Análisis

Para la presente investigación la unidad de análisis será el residuo de *Solanum Tuberosum*, al cual se le someterá a una serie de operaciones para la obtención de C.A y posterior funcionalización

2.7 Población de Estudio

La población considerada para la propuesta de investigación estará dentro de la Provincia de Chimborazo, cantón Guamote barrio Santa Teresita.

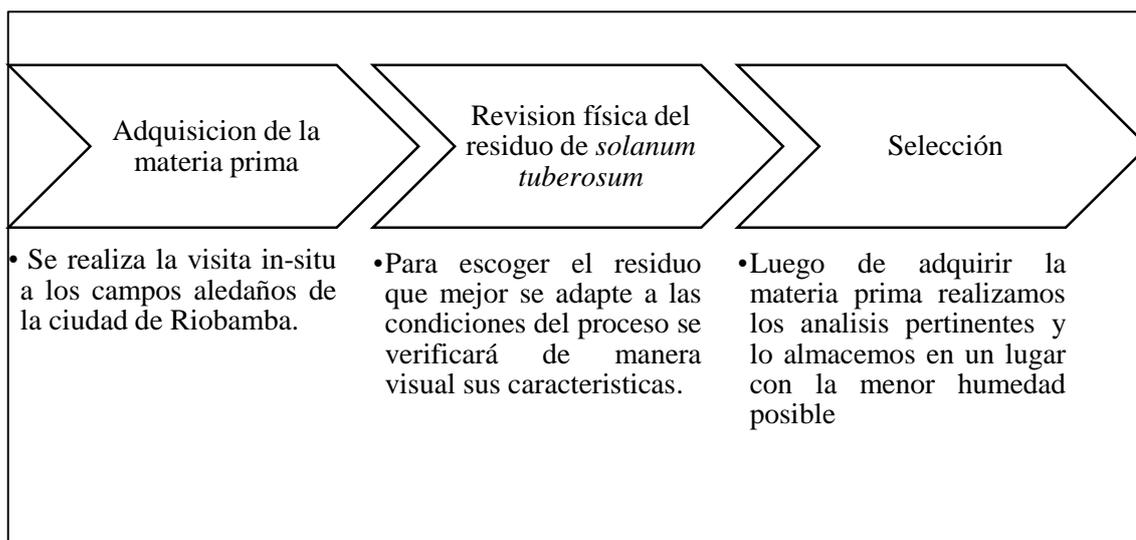
2.8 Tamaño de la muestra.

Para la etapa de pirólisis el tamaño de la muestra se determina en base al tamaño del reactor, para este caso usaremos un valor entre 100 y 200g. Y para la etapa de activación se utilizará 5g aproximadamente para cada ensayo.

2.9 Selección de la muestra.

Para la selección de la muestra a utilizar nos basaremos en el diagrama de proceso a continuación; las muestras son provenientes del sector Santa Teresita cantón Guamote provincia de Chimborazo.

Gráfico 3-2. Secuencia de selección de muestra.



Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.



Figura 3-2. Visita in situ.

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 4-2. Adquisición de yuyo

Realizado por: Navarrete, M.2021

2.10 Localización del trabajo de titulación.

El presente trabajo de titulación conlleva la obtención de carbón a partir del yuyo de *solanum tuberosum* y posteriormente la activación del mismo. Dichos procesos se realizarán en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Figura 5-2. Ubicación laboratorios Facultad de Ciencias ESPOCH

Fuente: Google Earth,2020.

2.11 Técnicas de recolección de Datos.

El presente trabajo de titulación se divide en varias etapas realizadas de la siguiente forma.

2.11.1 Caracterización de la materia prima *solanum tuberosum*.

2.11.1.1 Porcentaje de Humedad.

❖ Equipos y materiales

- Estufa
- Balanza Analítica
- Cápsulas de porcelana.
- Espátula.

❖ Procedimiento.

- Secar la cápsula en la estufa durante 30 minutos.
- Retirar la cápsula de la estufa y colocar en el desecador por unos 20 minutos hasta que esté a temperatura ambiente.
- Pesar la cápsula hasta tener un peso constante si es necesario repetir el proceso.
- Pesar aproximadamente 20 gramos de la muestra previamente trituradas.
- Colocar la muestra en la estufa a una temperatura de 100-110 °C.
- Esperar durante 3 horas aproximadamente.
- Colocar la cápsula en el desecador y dejar reposar en el mismo unos 20 minutos.
- Pesar la muestra seca.
- Repetir hasta que el peso sea constante.

❖ Cálculo del porcentaje de humedad

$$\text{❖ } \%H = \frac{(B-A)-(C-A)}{(B-A)} \times 100$$

Dónde:

A: Peso de la cápsula tarada

B: Peso de la cápsula + muestra húmeda

C: Peso de la cápsula + muestra seca.

2.11.1.2 Porcentaje de Ceniza.

❖ 2.1.2.1 Equipos y materiales

- Mufla.
- Sorbona
- Reverbero
- Crisoles de porcelana.
- Espátula
- Balanza Analítica.
- Estufa.

❖ Procedimiento

- Secar el crisol en la estufa durante 30 minutos.
- Retirar el crisol de la estufa y colocar en el desecador por unos 20 minutos hasta que esté a temperatura ambiente.
- Pesar el crisol hasta tener un peso constante si es necesario repetir el proceso.
- Pesar aproximadamente 10 gramos de la muestra previamente trituradas.
- Llevar el crisol a una placa de calentamiento hasta que deje de emitir humo.
- Colocar la muestra ya totalmente quemada en la mufla a 550°C aproximadamente, durante todo el tiempo necesario hasta que aparezca las cenizas color blanco.
- Posteriormente sacar el crisol y llevarlo a temperatura ambiente en el desecador.
- Registrar el peso del crisol conteniendo las cenizas.

❖ Cálculo del porcentaje de Cenizas

$$\%C = \frac{(P2 - P1)}{m} * 100$$

Dónde:

P2= Peso del crisol con las cenizas en gramos.

P1=Peso del crisol vacío en gramos.

M= Peso de la muestra en gramos.

2.11.1.3 Determinación del % Carbono.

Este análisis se lo realizó en Servicios de Análisis Químicos y Microbiológicos de la ciudad de Riobamba, en dónde utilizaron el método Walkey-Black para dicha determinación. El cuál consiste en la oxidación con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor que se produce por la disolución de ácido sulfúrico concentrado en la solución crómica. La determinación se realiza valorando por retroceso la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica. (Galvis y González ,2005,p.2).

2.11.1.3 Determinación del %Nitrógeno

Este análisis se lo realizó en Servicios de Análisis Químicos y Microbiológicos de la ciudad de Riobamba, en dónde utilizaron el método Kjeldahl, el cual es definido como la suma de amonio libre y compuestos nitrogenados que son convertidos a sulfato de amonio, después de que la muestra realice digestión en presencia de un catalizador. (Espinosa Lloréns, León Hernández y Rodríguez Petit 2013, p. 4).

2.11.2 Preparación de la muestra.

2.11.2.1 Secado

Para los posteriores análisis es necesario eliminar el exceso de humedad que la materia prima tiene, es por eso que se pone a secar en la estufa a 100°C por alrededor de 24 horas.



Figura 6-2. Secado de la materia prima.

Realizado por: Navarrete, M.2021

2.11.2.2 Molienda

Después de secar la materia prima se procede a triturar el yuyo lo más pequeño posible alrededor de 5cm de diámetro para facilitar el uso del Molino. La molienda se la realiza dos veces hasta obtener la contextura deseada.



Figura 7-2. Molienda de la materia prima

Realizado por: Navarrete, M.2021

2.11.3 Obtención del carbón mediante pirólisis.

❖ Equipos y materiales

-Balanza técnica.

-Reactor Batch de Pirólisis Térmica (RBPT): Capacidad de carga 5L, Temperatura máxima 700°C, Presión máxima 120 psi, toma de corriente 220 V.

❖ Procedimiento

-Se pesa 100 g de la muestra, e introducirlo en el interior del vaso de manera uniforme.

-Ajustar la tapa del reactor de pirólisis, utilizando el sistema de bridas, de tal manera que no existan fugas.

-Conectar la válvula de nitrógeno del cilindro a la válvula de entrada de nitrógeno del reactor, hasta llegar a una presión de 40 psi, esperar y verificar que no existan fugas, posteriormente se libera el nitrógeno por la válvula de alivio del reactor, hasta llegar a una presión de 0 PSI.

-Encender el reactor verificando la temperatura ambiente y que el ceteador de la temperatura esté en perfecto estado y se empieza a tomar los datos.

-Cetear la T a 100°C, e ir verificando el incremento de la misma cada 3 minutos y a su vez el incremento de la presión hasta llegar a dicha temperatura, después de que el equipo esté estabilizado se va incrementando la temperatura cada 50°C.

-Una vez que la presión supere los 60 PSI se libera el gas generado, por la válvula de salida del reactor, para lo cual debe estar conectada la manguera de escape hacia un recipiente con agua para eliminar el vapor.

-Una vez llegada la temperatura deseada 450°C, apagar el equipo y dejar que se enfríe para posteriormente abrir el mismo.

-Cuando el equipo se haya enfriado proceder a recolectar y pesar el residuo sólido que se queda en el vaso del reactor.



Figura 8-2. Reactor de pirólisis

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 9-2. Alimentación del reactor

Realizado por: Navarrete, M.2021

2.11.4 Métodos de Funcionalización o Activación.

2.11.4.1 Activación Física.

Para realizar la activación física se establecieron condiciones de operación propuestas bibliográficamente, es necesario trabajar bajo temperaturas muy elevadas como de 800°C a 1000°C con un flujo de gas como el CO₂ durante un tiempo de alrededor de 4 horas. (Achury Cadena, 2008,p.7).

Al momento de realizar el experimento fue necesario detener el reactor ya que el equipo no resistió las temperaturas elevadas necesarias para la activación, ocasionando una sobrepresión del mismo que podía causar daños en el equipo, por esta razón se decidió continuar el trabajo de investigación solo con la activación química.

2.11.4.2 Activación Química.

➤ $ZnCl_2$

❖ Equipos y materiales

- Vasos de precipitación
- Balones de aforo
- Varilla de agitación.
- Embudo Buchner.
- Espátula.
- Vidrio reloj.
- Agitador magnético.
- Bomba al vacío
- Estufa

❖ Procedimiento

- Preparar una solución al 40% de $ZnCl_2$.
- Realizar la impregnación en el carbón con una relación 2:1 activante: carbón, en este caso se tomó 5gramos de carbón.
- Con la ayuda del agitador magnético se agita la muestra por 3 horas aproximadamente y se deja reposar la impregnación por 24 horas.
- Después se introduce la muestra en la estufa a $100^{\circ}C$ por dos horas para elevar la eficiencia de impregnación.
- Posteriormente se realiza una filtración con ayuda de una bomba al vacío y se realiza los lavados con agua destilada para eliminar el excedente de reactivo que haya quedado, hasta obtener un pH neutro.
- Finalmente, la muestra se seca en una estufa a $100^{\circ}C$ para eliminar el exceso de agua y se almacena en recipientes herméticos.

➤ $FeCl_3$.

❖ Equipos y materiales

- Vasos de precipitación
- Balones de aforo
- Varilla de agitación.
- Embudo Buchner.
- Espátula.
- Vidrio reloj.
- Agitador magnético.
- Bomba al vacío
- Estufa

❖ Procedimiento

-Preparar una solución al 20% de FeCl_3

-Realizar la impregnación en el carbón con una relación 3:1 activante: carbón, en este caso se tomó 5 gramos de carbón.

-Con la ayuda del agitador magnético se agita la muestra por 3 horas aproximadamente y se deja reposar la impregnación por 24 horas.

-Después se introduce la muestra en la estufa a 100°C por dos horas para elevar la eficiencia de impregnación.

-Posteriormente se realiza una filtración con ayuda de una bomba al vacío y se realiza los lavados con agua destilada para eliminar el excedente de reactivo que haya quedado, hasta obtener un pH neutro.

-Finalmente, la muestra se seca en una estufa a 100°C para eliminar el exceso de agua y se almacena en recipientes herméticos.

➤ H_3PO_4

❖ Equipos y materiales

-Vasos de precipitación

-Balones de aforo

-Varilla de agitación.

-Embudo Buchner.

-Espátula.

-Vidrio reloj.

-Agitador magnético.

-Bomba al vacío

-Estufa

❖ Procedimiento

-Preparar una solución al 85% de H_3PO_4

-Realizar la impregnación en el carbón con una relación 5:1 activante: carbón, en este caso se tomó 5 gramos de carbón.

-Con la ayuda del agitador magnético se agita la muestra por 3 horas aproximadamente y se deja reposar la impregnación por 24 horas.

-Después se introduce la muestra en la estufa a 100°C por dos horas para elevar la eficiencia de impregnación.

-Posteriormente se realiza una filtración con ayuda de una bomba al vacío y se realiza lavados con agua destilada y en este caso por ser un ácido con NaOH 0.1N, para eliminar el excedente de reactivo que haya quedado, hasta obtener un pH neutro.

-Finalmente, la muestra se seca en una estufa a 100°C para eliminar el exceso de agua y se almacena en recipientes herméticos.

➤ KOH

❖ Equipos y materiales

-Vasos de precipitación

-Balones de aforo

-Varilla de agitación.

-Embudo Buchner.

-Espátula.

-Vidrio reloj.

-Agitador magnético.

-Bomba al vacío

-Estufa

❖ Procedimiento

*Preparar una solución al 10% de KOH.

*Realizar la impregnación en el carbón con una relación 4:1 activante: carbón, en este caso se tomó 5gramos de carbón.

*Con la ayuda del agitador magnético se agita la muestra por 3 horas aproximadamente y se deja reposar la impregnación por 24 horas.

*Después se introduce la muestra en la estufa a 100°C por dos horas para elevar la eficiencia de impregnación.

*Posteriormente se realiza una filtración con ayuda de una bomba al vacío y se realiza los lavados con agua destilada y en este caso por ser una base con HCL 0.1M, para eliminar el excedente de reactivo que haya quedado, hasta obtener un pH neutro.

*Finalmente, la muestra se seca en una estufa a 100°C para eliminar el exceso de agua y se almacena en recipientes herméticos.



Figura 10 -2. Preparación de soluciones

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 11-2. Impregnación

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 12-2. Agitación para optimización.

Realizado por: Navarrete, M.



Figura 13-2. Calentamiento para

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 14-2. Filtración

Realizado por: Navarrete, M.2021

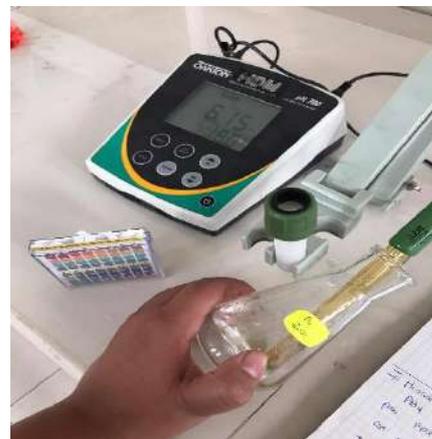


Figura 15-2. Medición pH

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 16-2. Secado

Realizado por: Navarrete, M.2021



Figura 17-2. Almacenamiento

Realizado por: Navarrete, M.2021

2.11.5 Pruebas de espectroscopía

2.11.5.1 Pruebas FT-IR.

La prueba de espectroscopía infrarroja es de suma importancia al momento de observar los espectros vibracionales, es decir una sustancia puede identificarse por su espectro en el infrarrojo, eso si los espectros infrarrojos serán distintos. Los espectros mostrarán bandas que son propias de grupos funcionales particulares y cada uno ocupa una localidad e intensidad que son específicas dentro del espectro. (Gomez & Murillo, 2015,p1).

Para el análisis se toma una mínima cantidad de muestra y con mucho cuidado se coloca sobre el lente del equipo para empezar las lecturas.

El análisis se realizó en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

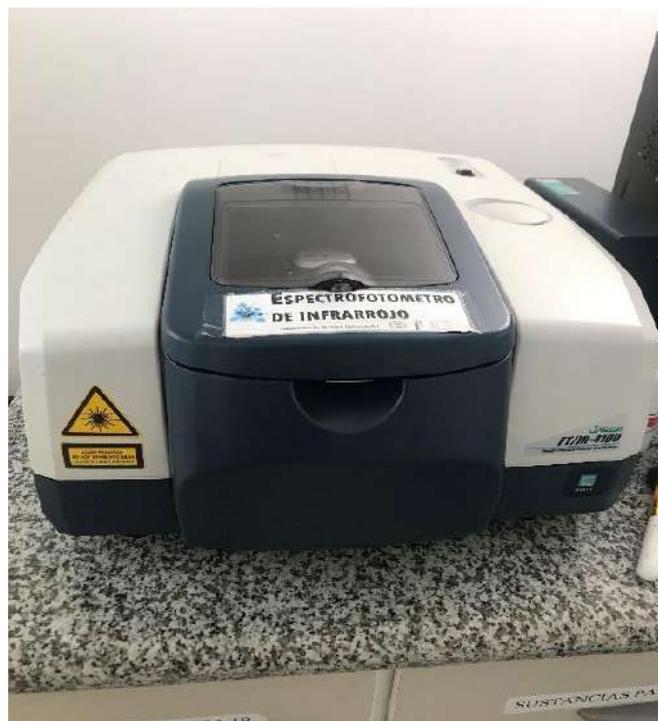


Figura 18-2. Espectrofotómetro de Infrarrojo (JASCO FTIR-4100)

Realizado por: Navarrete, M.2021

2.11.6 Microscopía electrónica de Barrido (SEM)

El principio del microscopio radica en que electrones emitidos por un cátodo de tungsteno pasen a través de una columna en la que exista un vacío, en ella el haz inicial es concentrado por una serie de lentes electromagnéticas. El haz electrónico es desplazado sobre toda la superficie de la muestra a modo de un pincel que iría barriendo la muestra con continuas idas y venidas. (Renau-piqueras & Faura, 1965,p.5).

Para el análisis se recoge una mínima cantidad de muestra sobre una cinta doble faz, con el uso de una pinza fina se coloca con mucho cuidado sobre el portamuestras y empieza el uso del equipo. Esta prueba tuvo lugar en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.



Figura 19-2: Microscopio Electrónico de Barrido (JSM-IT100)

Realizado por: Navarrete, M.2021

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

3.1 Caracterización de la materia prima Yuyo de *solanum tuberosum*

3.1.1 Porcentaje de Humedad

$$\%H = \frac{(\text{peso cápsula y muestra húmeda}) - (\text{peso cápsula y muestra seca} - \text{peso cápsula seca limpia})}{(\text{peso cápsula y muestra húmeda})} \times 100$$

$$\%H = \frac{(55,6154 - 52,5042) - (55,2825 - 52,5042)}{(55,6154 - 52,5042)} \times 100$$

$$\%H = \frac{0,3329}{3,1112} \times 100$$

$$\%H = 10,70$$

3.1.1 Porcentaje de Ceniza.

$$\%C = \frac{(\text{peso del crisol con cenizas} - \text{peso crisol vacío})}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

$$\%C = \frac{(25,4685 - 24,9114)}{3,1046} \times 100$$

$$\%C = \frac{0,5571}{3,1046} \times 100$$

$$\%C = 17,94$$

Tabla 7-3: Resultados de la caracterización de la materia prima

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados
Humedad	%	Gravimétrico	10.70
Ceniza	%	Gravimétrico	17.94
Carbono (base seca)	%	Walkey-Black	40.45
Nitrógeno (base seca)	%	Kjeldahl	3.30

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021

En la tabla 7-3 se observa la caracterización de la materia prima con los siguientes valores 10.70% H, 17.94% C, 40.45% Carbono y % 3.30 N, mismos valores son similares a los obtenidos en el trabajo de (Rodríguez, 2020, p.75) 15% H, 4.9% C y 21% Carbono fijo, estudio en el cuál también se toma como materia prima yuyo de *solanum tuberosum* ; en dónde existen diferencias es en el porcentaje de ceniza y carbono, ya que se obtuvo 17.94% y 40.45% respectivamente esto debido a que a pesar de ser ambos yuyos de papa no son del mismo lugar de procedencia y los factores que intervienen en el cultivo hacen que estos parámetros varíen.

También se observa que el contenido de humedad es relativamente bajo y favorece al proceso de pirólisis ya que el porcentaje de humedad afecta al poder calórico que se necesita en los tratamientos de gasificación. De la misma forma el porcentaje de ceniza que se obtuvo fue inferior al 20% ayudando al proceso de combustión ya que mantiene un poder calórico alto. (Rojas Flórez & López, 2018, p.11).

Analizando el porcentaje de carbono obtenido se encuentra que al ser considerablemente alto 40,45% tiende a tener mayor poder calórico, ya que son directamente proporcionales y ayuda a que en los procesos de carbonización se obtenga una buena fracción sólida es decir biochar. En tanto al contenido de nitrógeno al tener un valor de 3.30% es propio para ser aprovechado en procesos termoquímicos obtenido se puede deducir que la materia prima es óptima para ser aprovechada en procesos por su bajo carácter contaminante (Rojas Flórez & López, 2018, p.13).

3.2 Obtención de carbón mediante Pirólisis.

Se realizaron 12 pruebas en el reactor de tipo (RBPT) para la obtención del carbón para los cuáles se determinó una tasa de calentamiento de 7°C/min, una temperatura de carbonización de 450°C y un tiempo de retención de 60 minutos. La tasa de calentamiento es el parámetro que ayuda a diferenciar si es que se lleva a cabo una pirólisis lenta o una pirólisis rápida. Mientras más baja sea la tasa de calentamiento corresponde a una pirólisis lenta y mientras más rápida sea esta se habla de una pirólisis rápida. (Montoya y Colombiano, 2014, p.54). Se considera una tasa de calentamiento lenta a valores que no sobrepasen los 10°C/min. (Castro, 2018, p.41). Con estos datos bibliográficos se puede deducir que en el presente trabajo de investigación se trata de una pirólisis lenta lo cual es una ventaja ya que favorece a la formación de carbón. (Montoya y Colombiano, 2014, p.54).

3.2.2 Rendimientos del carbón obtenido en la pirólisis.

$$\%Rendimiento = \frac{Masa\ final\ obtenida * 100}{Masa\ inicial\ que\ se\ puede\ llegar\ a\ obtener}$$

Tabla 8-3: Resultados del porcentaje de rendimiento etapa de pirólisis.

Ensayos	Masa inicial (g)	Masa final (g)	% Rendimiento	%Promedio
1	127	40.00	31.49	34.40
2	100	36.00	36.00	
3	100	36.00	36.00	
4	101	36.00	35.64	
5	101	33.00	32.67	
6	100	36.50	36.50	
7	100	33.00	33.00	
8	100	32.00	32.00	
9	100	32.00	32.00	
10	100	33.00	33.00	
11	200	74.00	37.00	
12	200	75.00	37.50	

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021.

En la tabla 8-3 se observa la eficiencia que tuvo los experimentos, de los 12 ensayos se obtuvo un promedio de rendimiento de 34.40%, algunos valores son relativamente bajos porque se pierde materia prima al momento de recolectar el producto final del reactor de pirólisis. Estos valores cumplen con lo que se dice en literatura, la pirólisis lenta con velocidades de calentamiento moderadas y en periodos de tiempo alargados conducen a un rendimiento entre 30 y 45% aproximadamente (Bruun et al, 2012,p.73).

Según el estudio de (Escalante et al, 2016,p.374) se analiza que cuando se trata de una pirólisis lenta las temperaturas oscilan alrededor de los 500°C, dato que nos indica que la temperatura que se tomó para los experimentos es la indicada ya que fue de 450°C y por un tiempo alargado en este caso fueron alrededor de 60 minutos. Este sería el método más óptimo para obtener un mayor rendimiento de biochar.

3.3 Activación química del carbón activado.

Para la activación del carbón se toma una muestra aleatoria del conjunto total del producto, homogenizándola y tomando una muestra representativa.

3.3.1 Cálculo del Rendimiento para cada activación.

❖ $ZnCl_2$

• Prueba 1

Peso inicial: 5.7311g

Peso papel filtro: 1.037g

Papel + carbón: 6.6958

Peso final: 6.6958-1.037=5.6588

$$\%Rendimiento = \frac{Masa\ final\ obtenida * 100}{Masa\ inicial\ que\ se\ puede\ llegar\ a\ obtener}$$

$$\%Rendimiento = \frac{5.6588 * 100}{5.7311}$$

$$\%Rendimiento = 98.73$$

Tabla 9-3: Resultados de la activación del carbón.

Reactivo Activante	Concentración en solución	Relación activante: carbón	Ensayos	Peso inicial	Peso final	%Rendimiento	Promedio %R
ZnCl ₂	40%	2:1	1	5.7311	5.6588	98.73	94.51
			2	5.0917	4.3452	85.30	
			3	5.2230	5.1993	99.50	
FeCl ₃	20%	3:1	1	5.0110	4.3482	86.77	82,00%
			2	5.0411	4.1649	87.73	
			3	5.0091	3.5816	71.50	
H ₃ PO ₄	85%	5:1	1	5.0645	3.6187	71.45	76.21%
			2	5.0085	3.8509	71.45	
			3	5.0402	3.6902	73.21	
KOH	10%	4:1	1	5.0490	3.8976	77.19	78.89%
			2	5.0371	3.9696	78.80	
			3	5.0163	4.3078	80.68	

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021.

3.3.2 Análisis estadístico ANOVA Multifactorial-Rendimiento %

Variable dependiente: Rendimiento %

Factores:

Reactivos, Concentración, Relación de impregnación.

Número de casos completos: 12

ANÁLISIS

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para Rendimiento %. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Rendimiento %. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

Tabla 10-3: Análisis de Varianza para Rendimiento % - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Reactivos	796.083	3	265.361	7.04	0.0124
RESIDUOS	301.536	8	37.692		
TOTAL (CORREGIDO)	1097.62	11			

Fuente: Statgraphics

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

La tabla 10-3 ANOVA descompone la variabilidad de Rendimiento % en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Rendimiento % con un 95.0% de nivel de confianza.

Dispersión por Código de Nivel

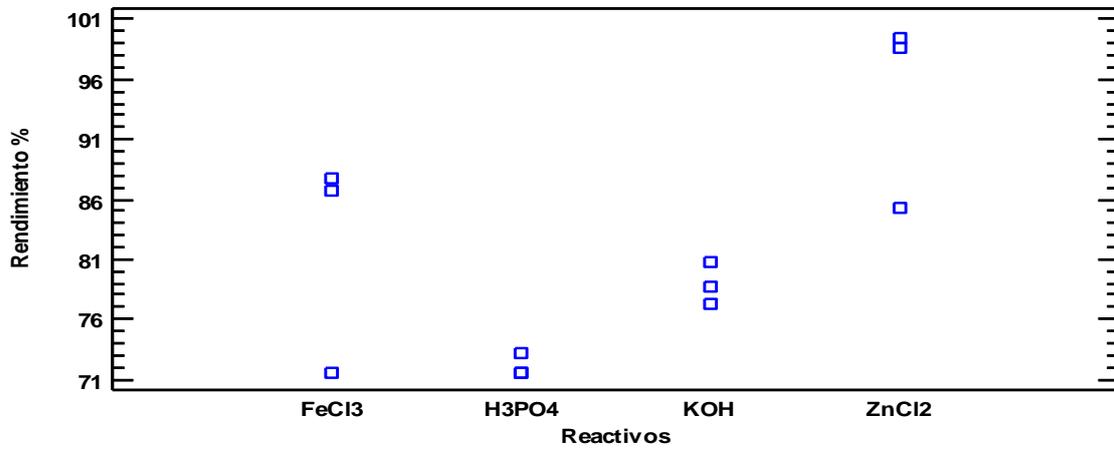


Gráfico 4-3. Grafico Anova Rendimiento vs Reactivos

Fuente: Statgraphics

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

Dispersión por Código de Nivel

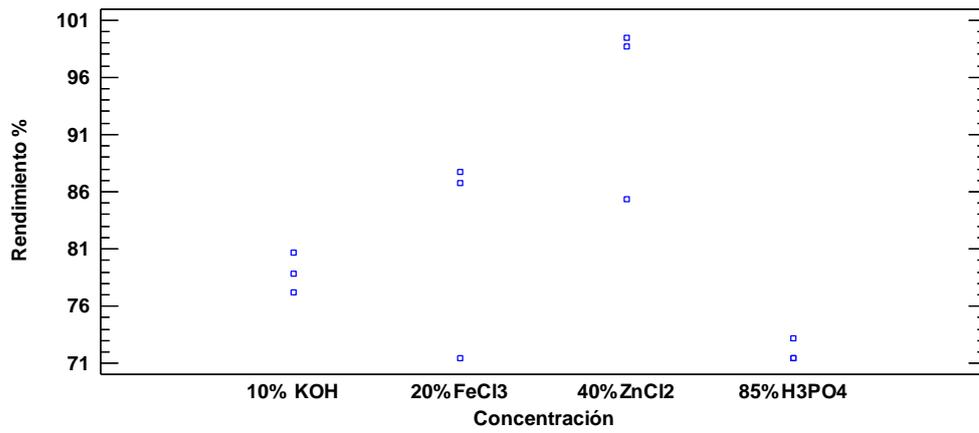


Gráfico 5-3. Gráfico Anova Rendimiento Vs Concentración

Fuente: Statgraphics

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

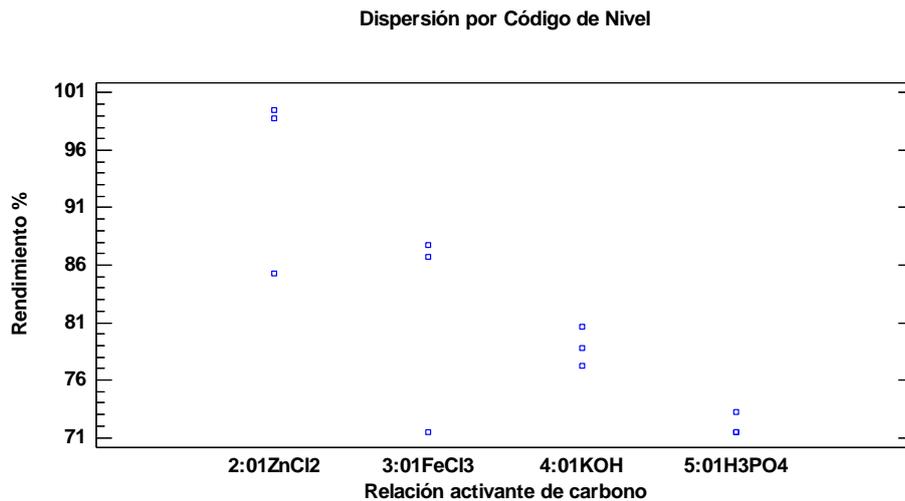


Gráfico 6-3. Gráfico Anova Rendimiento Vs Relación Activante Carbono

Fuente: Statgraphics

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

❖ **Discusión**

El valor p es menor a 0.05 por ello el factor concentración, relación activante y tipo reactivo influye en el proceso de rendimiento de funcionalización de carbón activo al presentar variaciones estadísticamente significantes. De tal manera que el $ZnCl_2$ es el que mejor condición presenta al momento de dar la mayor eficiencia con respecto a los otros tratamientos. Por ello en los gráficos 4-3,5-3,6-3 se puede observar como el $ZnCl_2$ se posiciona sobre los otros reactivos. ($FeCl_3$, H_3PO_4 , KOH).

3.4 Análisis espectroscópicos

3.4.1 Pruebas FT-IR

❖ Muestra General carbón sin activación

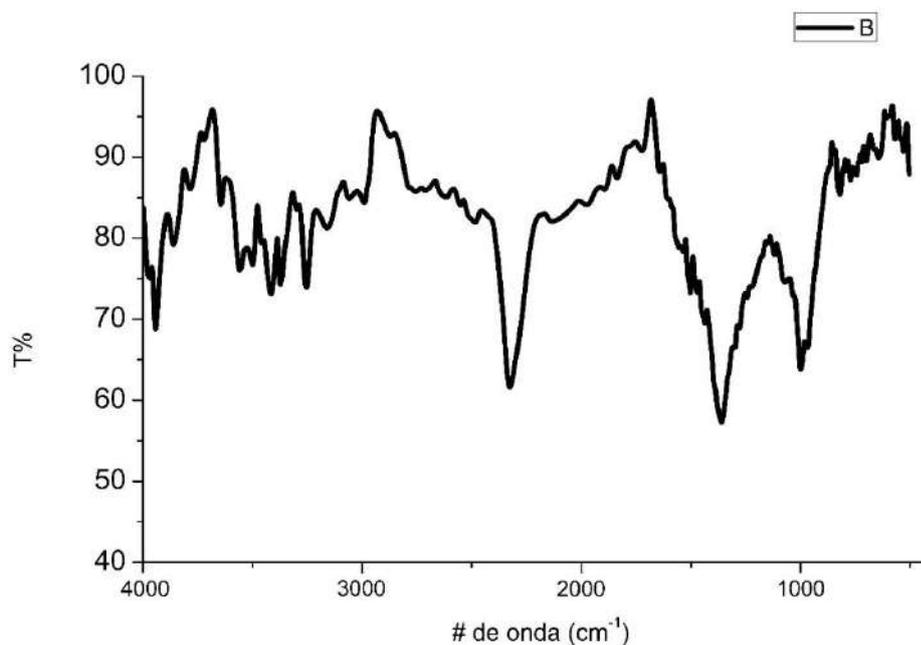


Gráfico 7-3. FT-IR carbón sin activación.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

Tabla 11-3: Análisis FT-IR carbón sin activación

Número de Onda	Descripción
3000 – 3500	presencia de aminas
2358.52	Grupo C=O presencia de puentes de hidrógeno
1564.95	Grupos –NH-
1541.81	Grupos –NH-
1043.3	Grupos R-NH2
874.56	Grupos NH2
686.534	Grupos NH2

Realizado por: Navarrete, Machado, Carla,2021.

❖ FeCl₃.

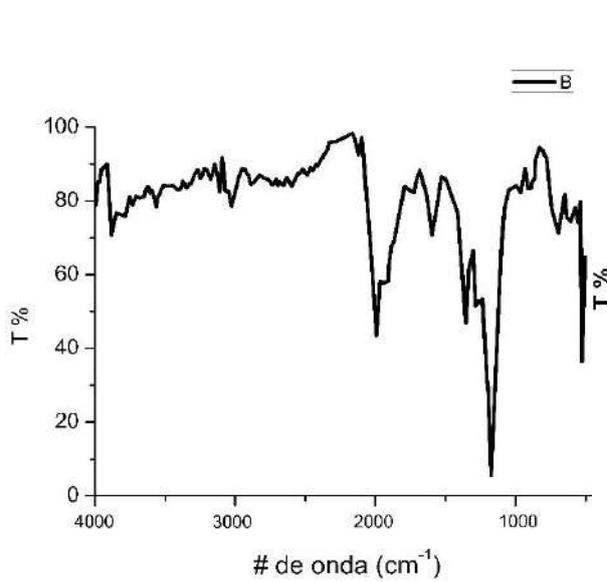


Gráfico 8-3. FT-IR FeCl₃ primera repetición repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

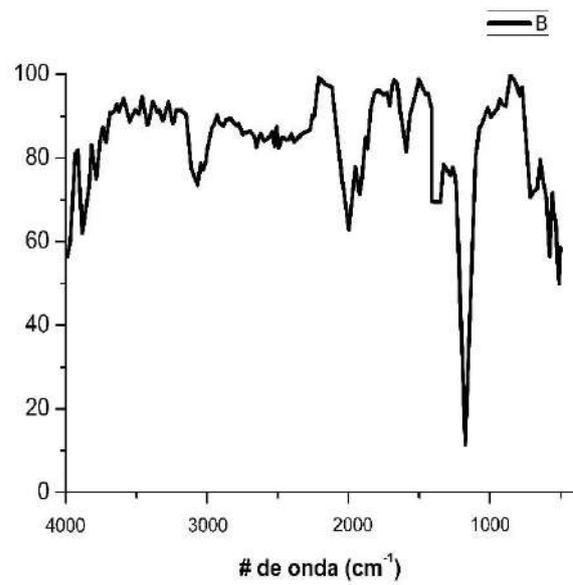


Gráfico 9-3. FT-IR FeCl₃ segunda repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

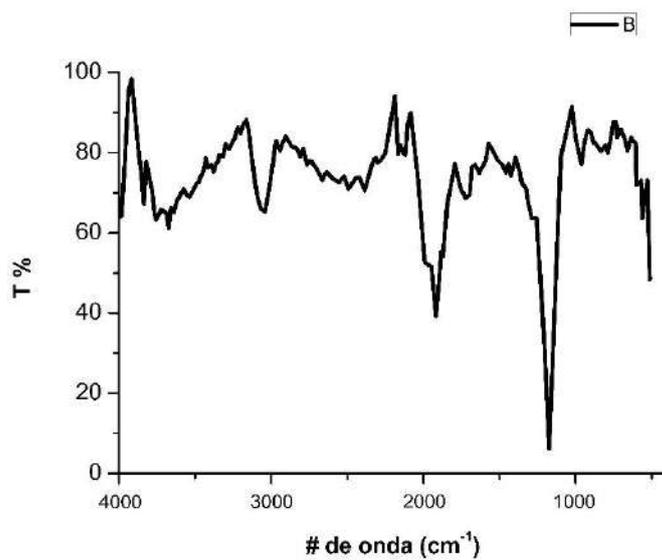


Gráfico 10-3. FT-IR FeCl₃ tercera repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

Análisis

Tabla 12-3: Análisis FT-IR carbón FeCl₃.

Número de Onda	Grupos Funcionales
3050 – 3500	Vibraciones del enlace N-H
1536.99	Amina secundaria –NH-
3000	estiramientos C-H
1610- 1680	estiramientos C=C
2000 – 2300	estiramientos C≡X.
1050 – 1300	Estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-CO-O-CO-C..
600 – 680	vibraciones CCl ₂ - CCl

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

❖ H₃PO₄

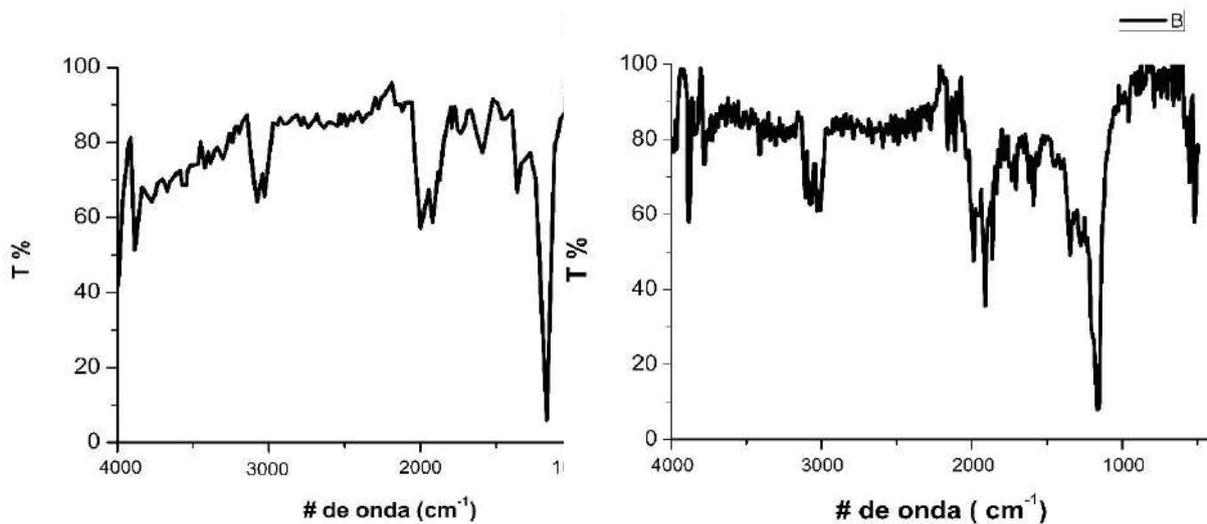


Gráfico 11-3. FT-IR H₃PO₄ primera repetición.

Gráfico 12-3. FT-IR H₃PO₄ segunda repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

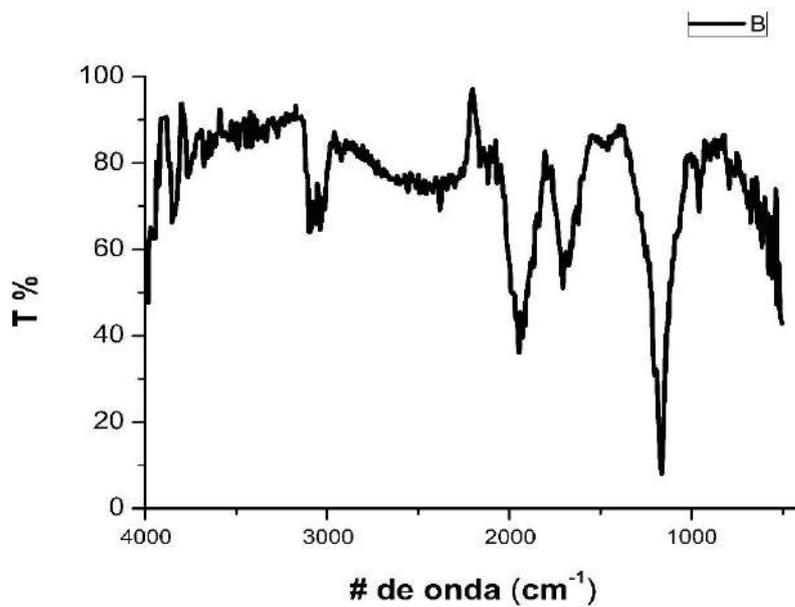


Gráfico 13-3. FT-IR H₃PO₄ tercera repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

Análisis.

Tabla 13-3: Análisis FT-IR carbón H₃PO₄

Número de Onda	Grupos Funcionales
3000 – 3250	Presencia de ácido carboxílico
3400 – 3500	Sobretono C=O
1050 – 1300	Estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-O
1600 - 1800	estiramientos C=O
1285	combinación antisimétrica COOH

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

❖ KOH

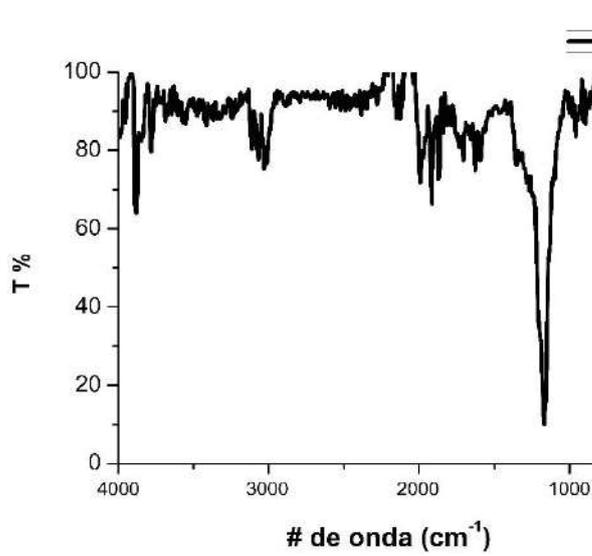


Gráfico 14-3. FT-IR KOH primera repetición.
repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

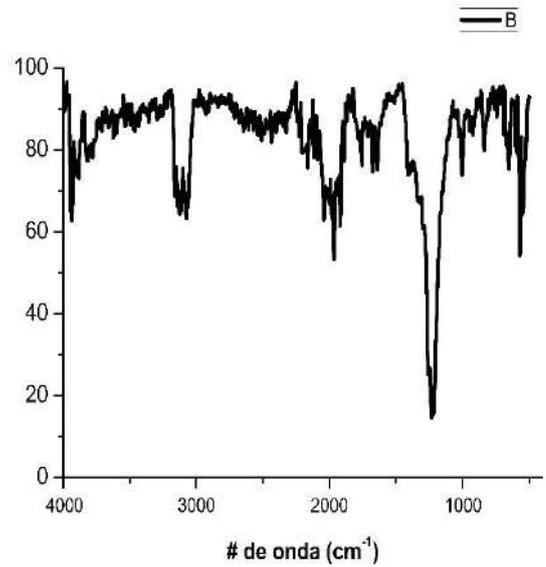


Gráfico 15-3. FT-IR KOH segunda

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

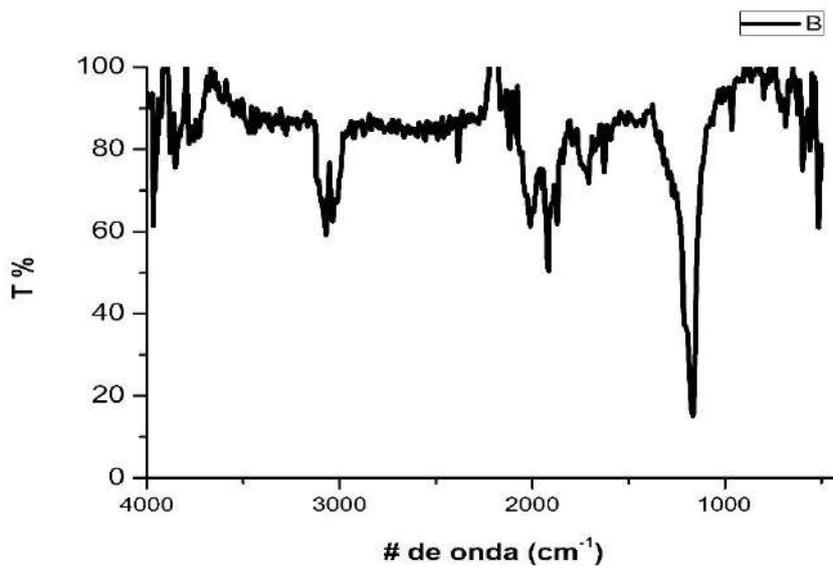


Gráfico 16-3. FT-IR KOH tercera repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

Análisis.

Tabla 14-3: Análisis FT-IR carbón KOH

Número de Onda	Descripción
3050 – 3250	Estiramientos de grupos COOH
2850 - 3000	estiramientos C-H
1050 – 1300	Estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-CO-O-CO-C..
938 – 950	Vibraciones fuera del plano OH
1600 - 1800	estiramientos C=O

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

❖ ZnCl₂

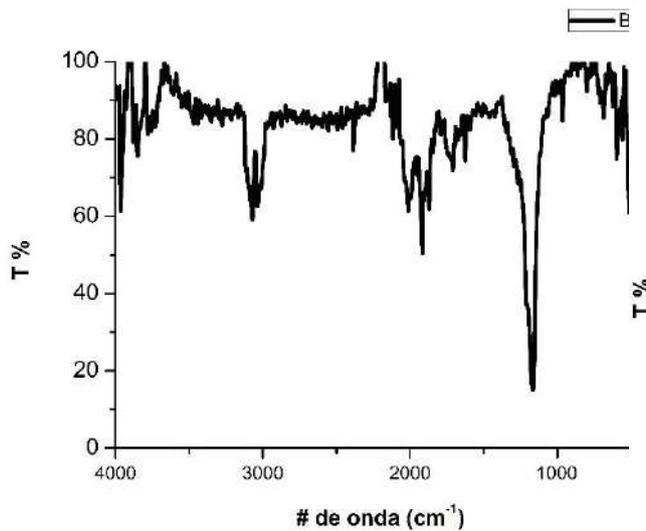


Gráfico 17-3. FT-IR ZnCl₂ primera repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021.

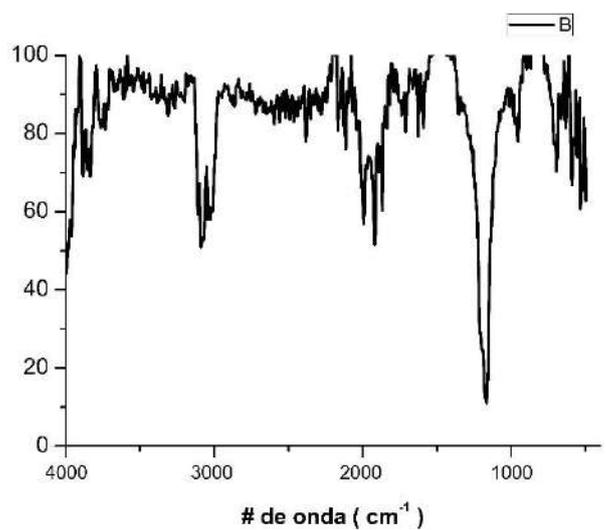


Gráfico 18-3. FT-IR ZnCl₂ segunda repetición.

Realizado por: Carla A, Navarrete M.2021

Tabla 15-3: Análisis FT-IR carbón ensayo 1 ZnCl₂

Número de Onda	Descripción
3050 – 3200	Vibración =C-H de estiramiento
2900 – 3000	estiramientos C-H simétricos – asimétricos
1610 – 1650	Estiramientos C=C
990 – 1000	=CH ₂ movimientos fuera del plano
1050 – 1300	Estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-CO-O-CO-C..
720 - 740	-(CH ₂) _n movimiento de rocking

Realizado por: Navarrete Machado, Carla, 2021.

3.4.1.1 Análisis de los resultados IR

En la muestra general sin activación no se observa la presencia de grupos funcionales activantes (OH-O₂) por lo que es un indicador importante que el material adsorbente no presenta los suficientes grupos activos para una elevada adsorción; presentando el material no funcionalizado grupos comunes como la presencia de grupos –NH- y la presencia de grupos aminas.

Con respecto al FeCl₃ se puede observar que la banda intensa aparece en 1300 cm⁻¹ característico de estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-CO-O-CO-C grupo anhídrido. Presenta además estiramientos C-H, C=C, C≡X. Una banda importante que se identifica en el espectro se encuentra entre 600-680 cm⁻¹, en donde presenta vibraciones del grupo CCl₂, CCl que confirma la interacción y la formación de enlaces intermoleculares entre el activante y el carbón activo.

En cuanto al H₃PO₄ es evidente que la banda con mayor intensidad está alrededor del mismo lugar que apareció con FeCl₃, entre 1050-1300 cm⁻¹ con estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-O, una banda con menor intensidad 1800 cm⁻¹ es asociada a las vibraciones de estiramientos de enlaces C=O de grupos carbonilos en aldehídos y cetonas, en la banda ubicada en 1285 cm⁻¹ donde pueden ser identificables combinaciones antisimétricas COOH y en la banda con menor intensidad 3250 cm⁻¹ existe la presencia de grupos carboxílicos característicos por tener grupos R-OH el cuál es muy reactivo y de los mejores grupos funcionales oxigenados.

Al utilizar KOH se puede observar un resultado similar al compararlo con el tratamiento de H₃PO₄ sigue manteniendo en el mismo lugar la banda con mayor intensidad con los característicos estiramientos simétricos y asimétricos de los enlaces C-CO-O-CO-C, entre 2850 a 3000 cm⁻¹ presenta estiramientos C-H, en la banda de menor intensidad 3050-3250 se encuentra los estiramientos de grupos COOH al igual que con H₃PO₄, una clara diferencia con el espectro del tratamiento de H₃PO₄ es que las vibraciones del grupo OH tienen menor intensidad al encontrarse en una banda con una señal más débil.

Es así que en el análisis con activación de ZnCl_2 con respecto a los demás reactivos no se muestra una diferencia significativa en la variación de señales de la banda más intensa encontrándose alrededor del mismo lugar $1050\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ con vibraciones características de estiramientos estiramiento simétrico y asimétrico de los enlaces C-CO-O-CO-C , en una banda con menor intensidad en 1650 cm^{-1} se encuentran estiramientos C=C y en una señal más débil entre $720\text{-}740\text{ cm}^{-1}$ se encuentran grupos $\text{-(CH}_2\text{)}$ con movimiento de rocking característico de un compuesto orgánico.

En base a los resultados obtenidos la activación por H_3PO_4 brinda mejores características a los carbones activados ya que se evidencia la formación de grupos COOH , C=O los cuales al poseer pares electrones no enlazados y por sus características activantes facilitan la formación de enlaces de fuerzas de Van der Waals como atracciones dipolo-dipolo y enlaces intermoleculares mucho más fuertes como los puentes de hidrógeno e interacciones iónicas. Por ende, con respecto a la espectroscopía infrarroja el estudio recomienda utilizar H_3PO_4 para tener una mejor activación del carbón.

3.4.2 Análisis SEM (*Microscopio Electrónico de Barrido*)

❖ Carbón General.

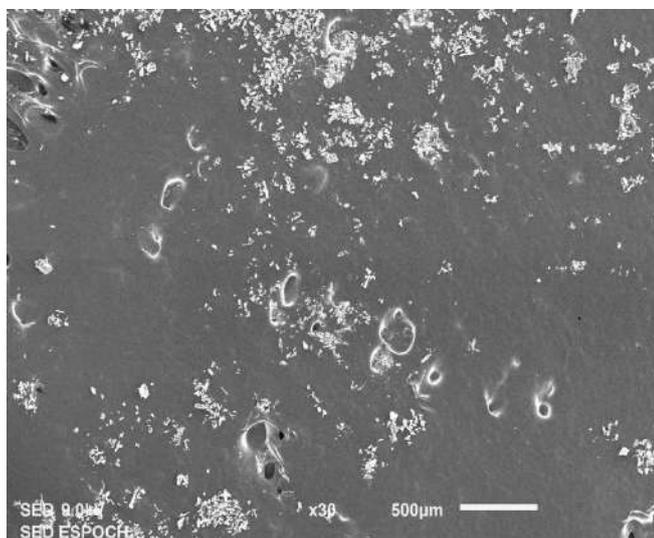


Figura 20-3. Micrografía SEM (1X30) muestra general del carbón.

Realizado por: Navarrete, M.2021

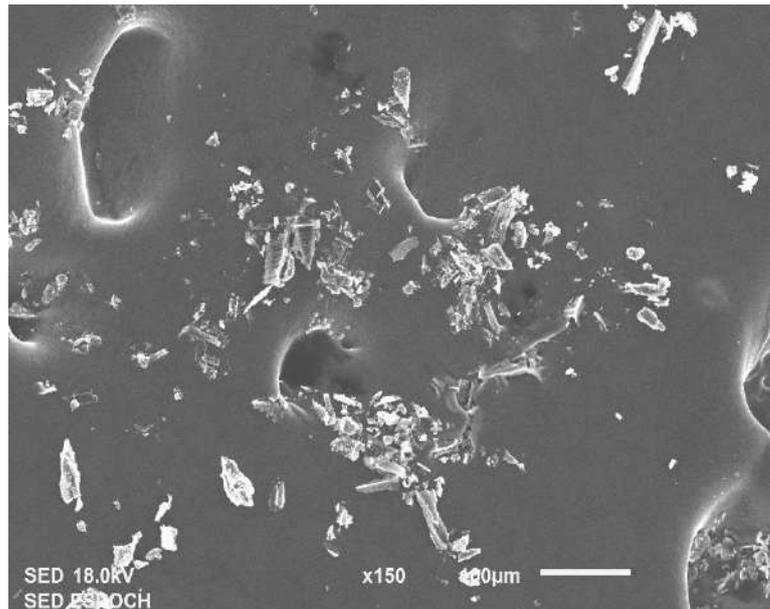


Figura 21-3. Micrografía SEM (1x150) muestra general del carbón.

Realizado por: Navarrete, M.2021

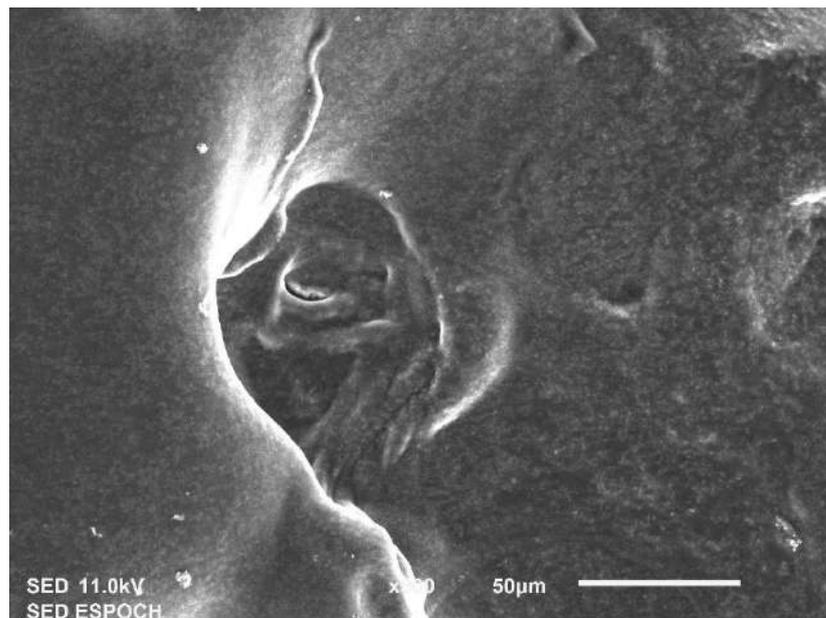


Figura 22-3. Micrografía SEM (1x500) muestra general del carbón.

Realizado por: Navarrete, M.2021

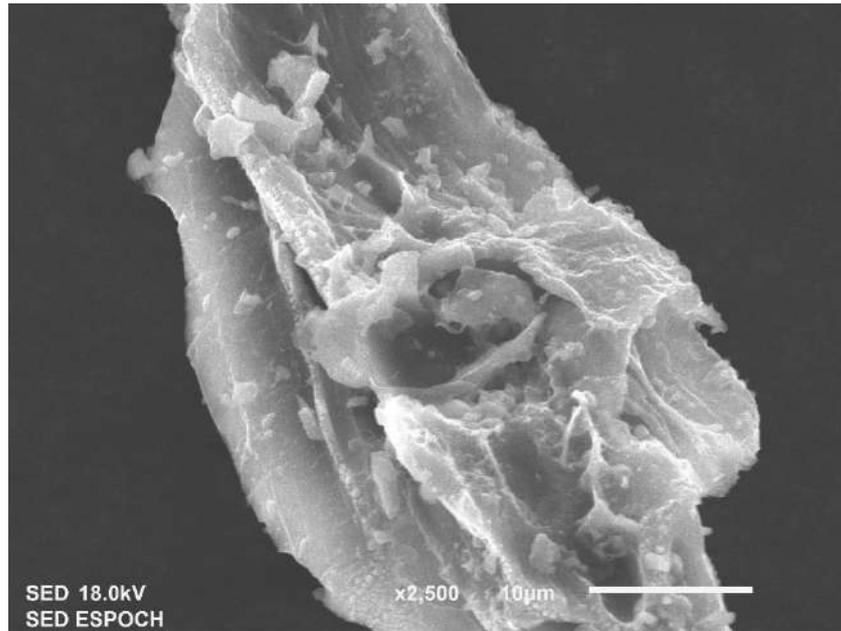


Figura 23-3. Micrografía SEM (1X2500) muestra general del carbón.

Realizado por: Navarrete, M.2021

❖ KOH

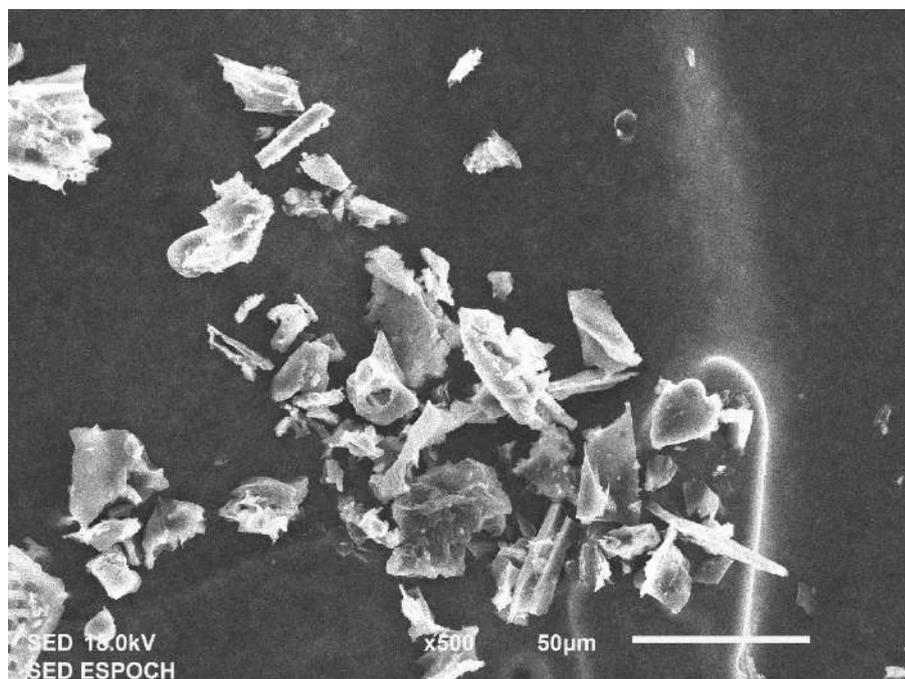


Figura 24-3. Micrografía SEM (1X500) carbón activado KOH

Realizado por: Navarrete, M.2021

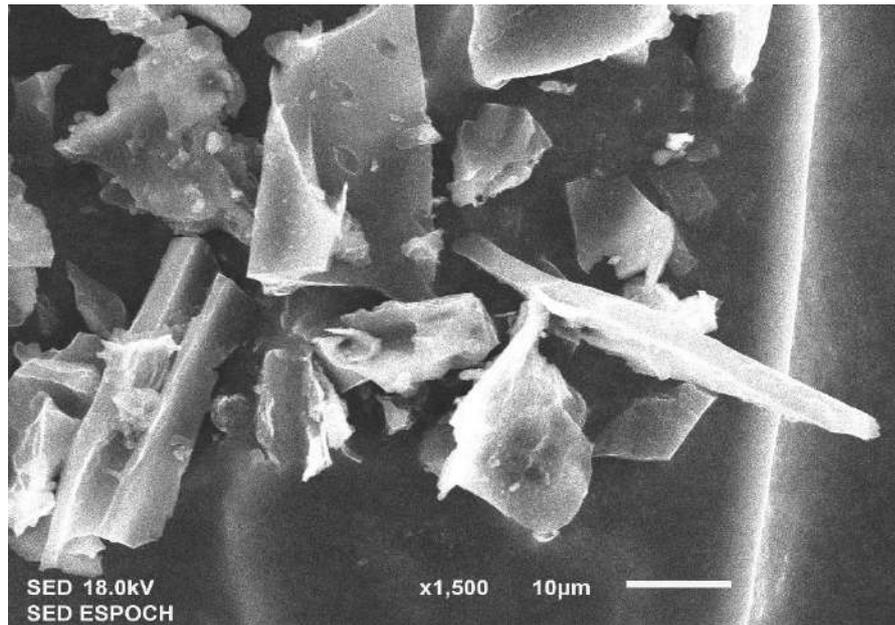


Figura 25-3. Micrografía SEM (1X1500) carbón activado KOH

Realizado por: Navarrete, M.2021

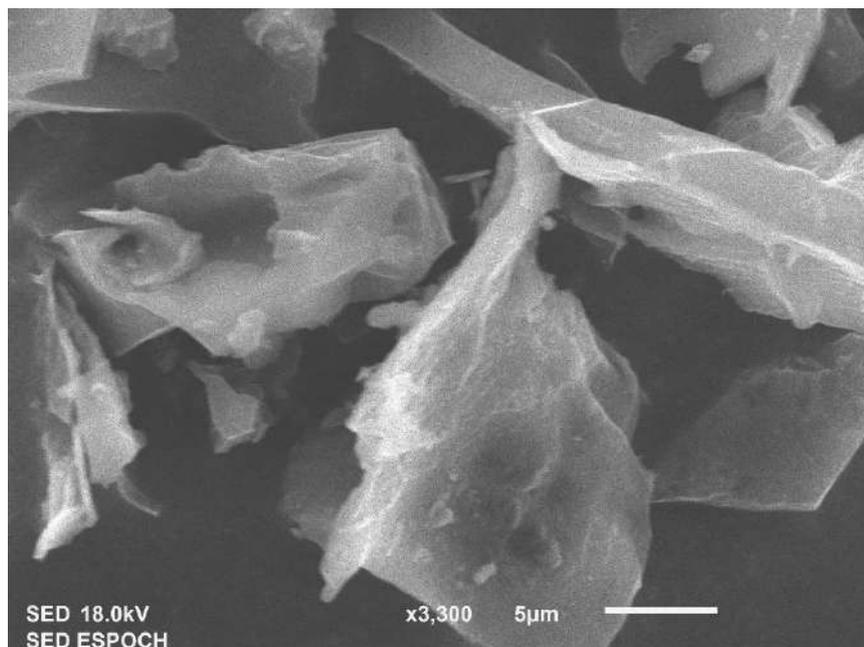


Figura 26-3. Micrografía SEM (1X3300) carbón activado KOH

Realizado por: Navarrete, M.2021

❖ FeCl_3

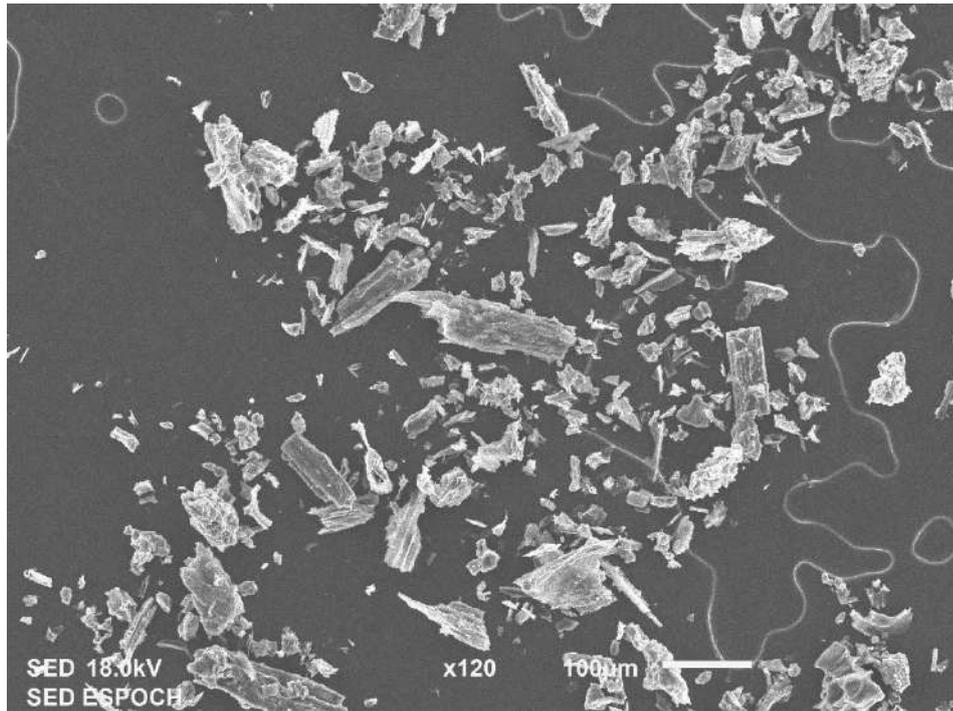


Figura 27-3. Micrografía SEM (1X120) carbón activado FeCl₃

Realizado por: Navarrete, M.2021

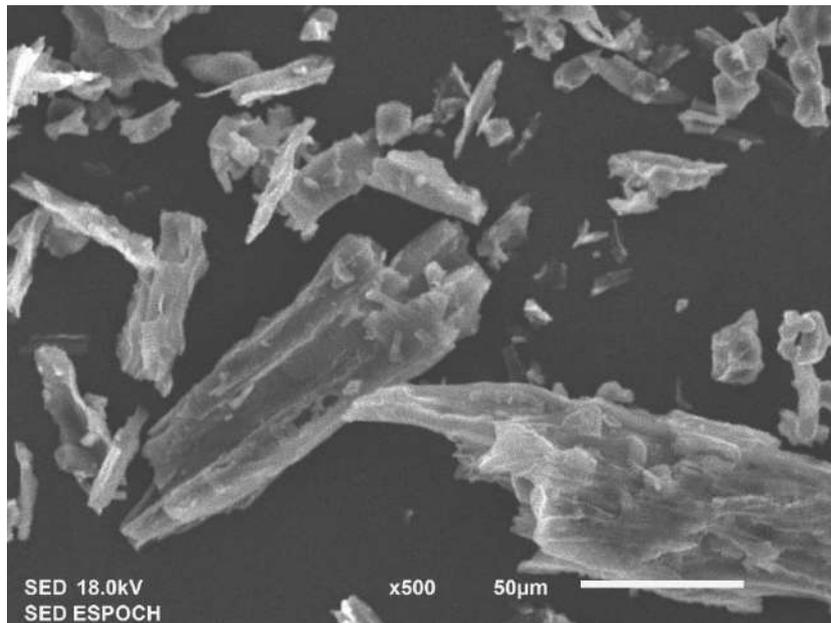


Figura 28-3. Micrografía SEM (1X500) carbón activado FeCl₃

Realizado por: Navarrete, M.2021

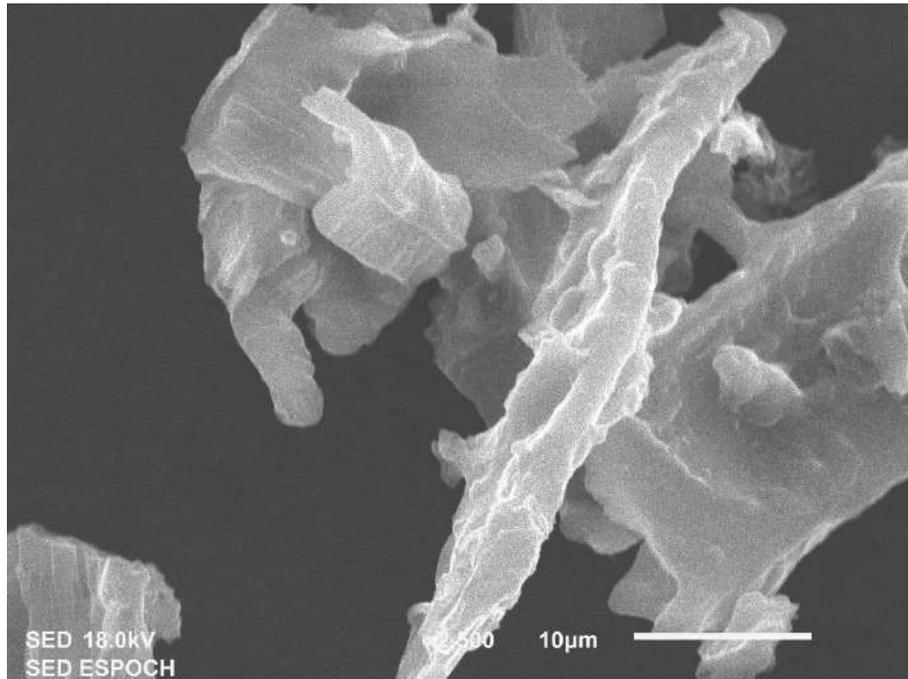


Figura 29-3. Micrografía SEM (2X500) carbón activado FeCl3

Realizado por: Navarrete, M.2021

❖ H₃PO₄.

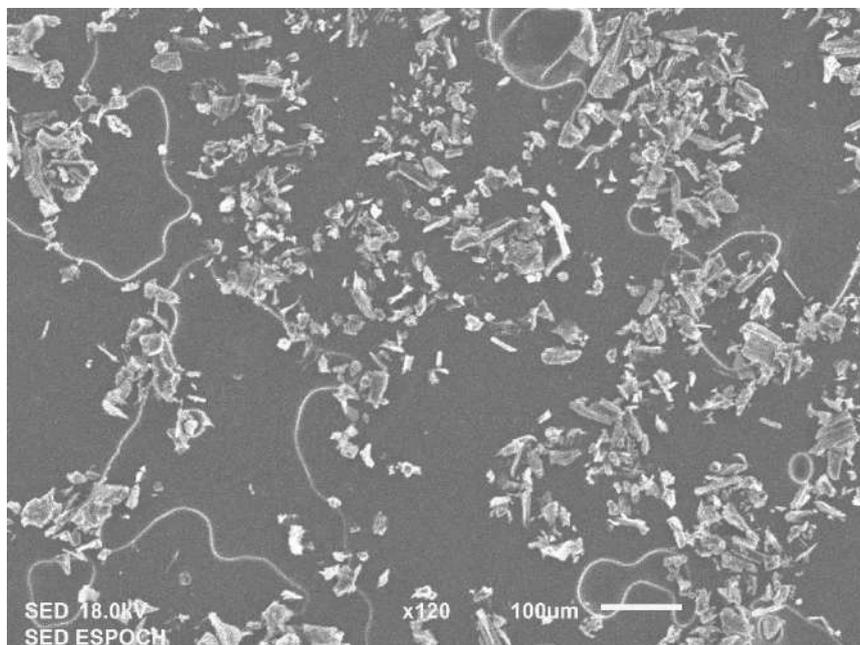


Figura 30-3. Micrografía SEM (1X120) carbón activado H₃PO₄

Realizado por: Navarrete, M.2021

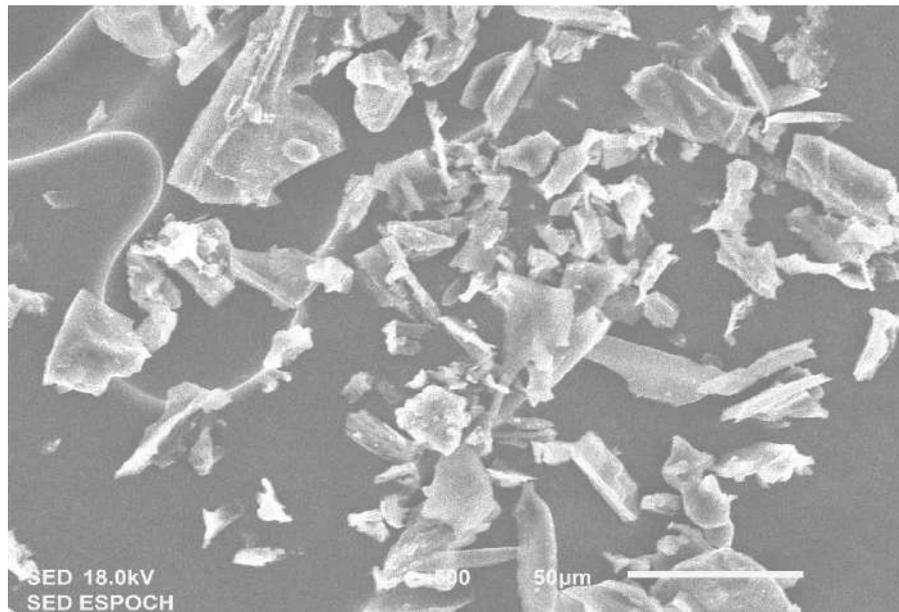


Figura 31-3. Micrografía SEM (1X500) carbón activado H3PO4

Realizado por: Navarrete, M.2021

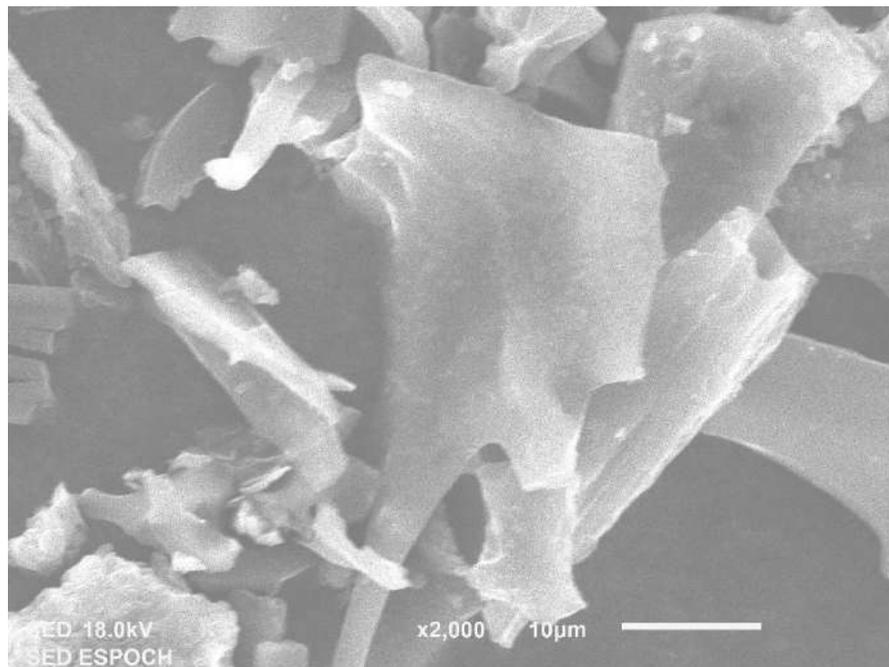


Figura 32-3. Micrografía SEM (1X2000) carbón activado H3PO4

Realizado por: Navarrete, M.2021

❖ $ZnCl_2$

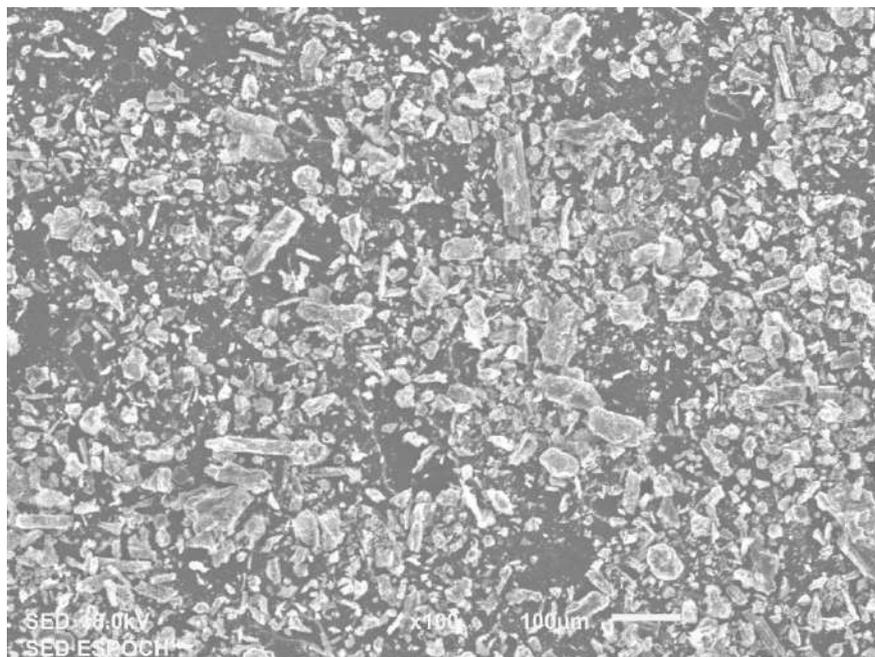


Figura 33-3. Micrografía SEM (1X100) carbón activado $ZnCl_2$

Realizado por: Navarrete, M.2021

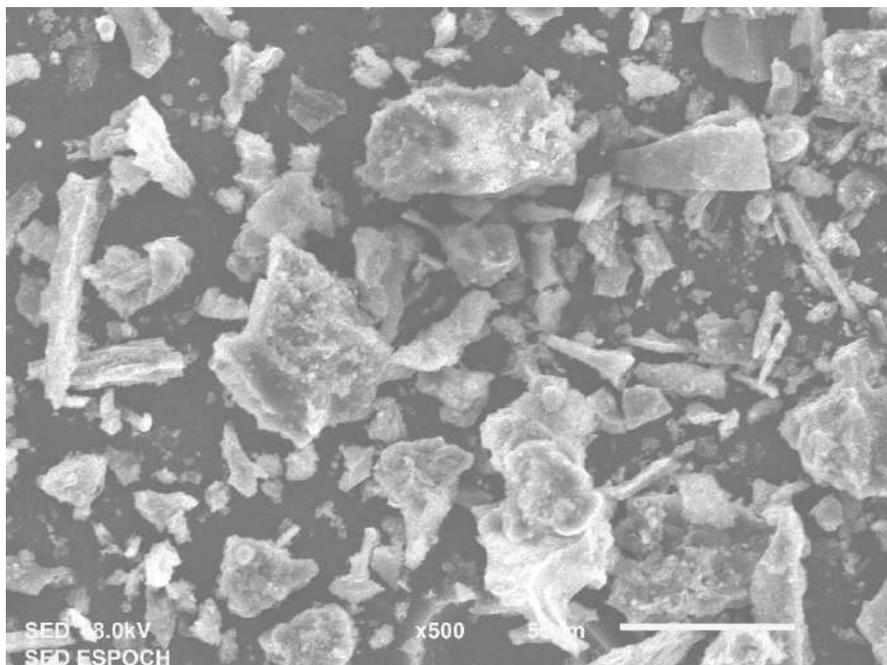


Figura 34-3. Micrografía SEM (1X500) carbón activado $ZnCl_2$

Realizado por: Navarrete, M.2021

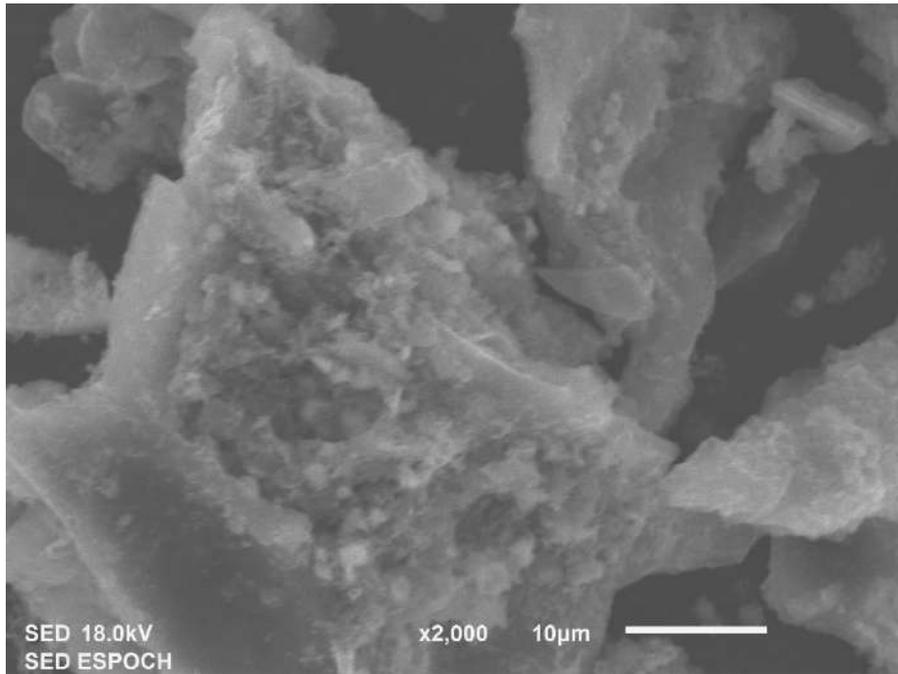


Figura 35-3. Micrografía SEM (1X2000) carbón activado ZnCl₂

Realizado por: Navarrete, M.2021

En las figuras 20-3;35-3 se puede observar las micrografías SEM que se hicieron en las muestras de carbón. Encontrando la mayor diferencia en la figura 20-3 ya que es el análisis del carbón sin activación en dónde se puede observar pequeños aglomerados con partículas homogéneas entre ellas de forma esférica en ciertas zonas y por esta razón no es tan visible la porosidad que tenga presente. Por otro lado, en las micrografías de los carbones activados químicamente se puede encontrar formas alargadas , bipirámides hexagonales , rectangulares un tanto amorfos y todas estas partículas son repartidas de manera heterogénea sobre la superficie , lo cual es un indicio de que se cumpla con lo propuesto teóricamente ,que la porosidad sea mejor en caras agrietadas y asimilares para posteriores procesos de adsorción (Ordoñez,2020,p.73).

3.4.3 Análisis EDS

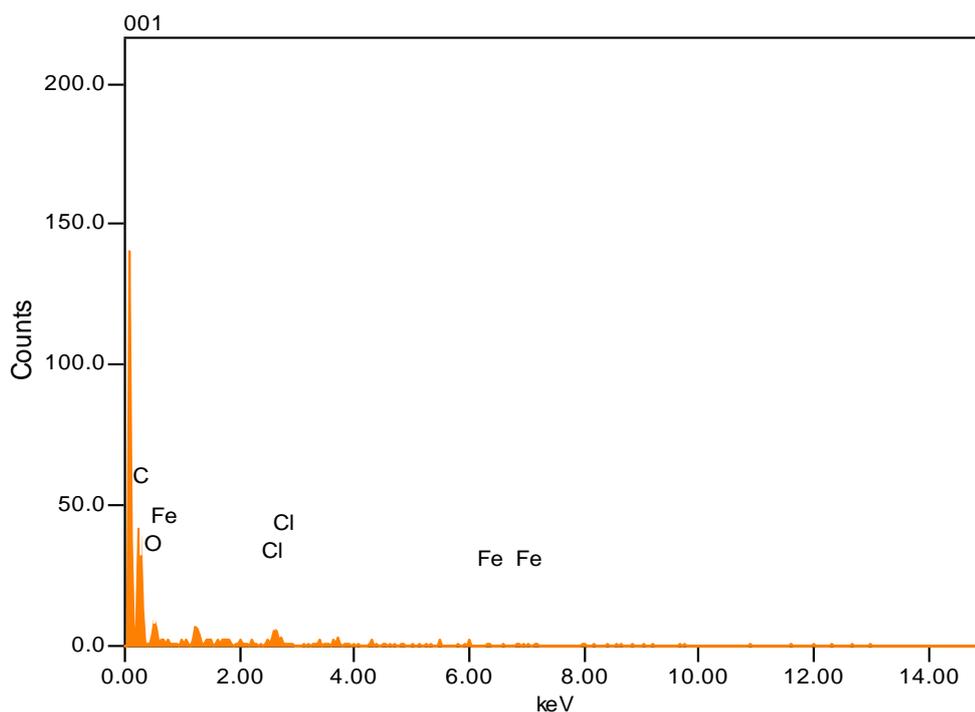


Gráfico 19-3. Análisis EDS

Realizado por: Navarrete, Carla,2020.

Se realizaron los análisis EDS como se observa en el Gráfico19-3 y a continuación se presentan los siguientes resultados.

Tabla 16-3: Resultados de EDS carbón general.

Formula	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	66.72	0.01	431	0.0022085	K
O	31.37	0.01	123	0.0006948	K
P	0.78	0.00	52	0.0000921	K
Ca	1.14	0.00	96	0.0001790	K
Total	100.00				

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

Tabla 17-3: Resultados de EDS carbón activado KOH

Formula	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	78.39	0.01	136	0.0006990	K
O	21.14	0.01	16	0.0000914	K
K	0.47	0.00	8	0.0000157	K
Total	100.00				

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021

Tabla 18-3: Resultados de EDS carbón activado FeCl₃

Formula	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	75.75	0.01	197	0.0010081	K
O	23.22	0.01	32	0.0001819	K
Cl	0.84	0.00	30	0.0000495	K
Fe	0.18	0.00	3	0.0000122	K
Total	100.00				

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

Tabla 19-3: Resultados de EDS carbón activado H₃PO₄

Formula	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	31.54	0.01	27	0.0001406	K
O	55.82	0.01	172	0.0009695	K
P	12.64	0.00	330	0.0003981	K
Total	100.00				

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

Tabla 20-3: Resultados de EDS carbón activado ZnCl₂

Formula	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	96.14	0.01	393	0.0020171	K
O	0.52	0.00	34	0.0000568	K
Zn	3.34	0.01	58	0.0004495	K
Total	100.00				

Realizado por: Navarrete Machado, Carla,2021.

❖ Análisis General SEM-EDS

Se realizó el análisis SEM-EDS para la determinación de manera cuantitativa de los principales componentes químicos que tenga el carbón, en donde se puede encontrar C, O, Ca, K, Cl, Fe, P y Zn, que son característicos de la biomasa en la activación con los reactivos se usaron (Ordoñez, 2017, p.81). El elemento primordial para comparar la eficiencia de los tratamientos realizados es el oxígeno ya que lo que se busca en la masa activada son los óxidos que se han formado puesto que tienen la capacidad de descomponer la parte de la estructura carbonácea a óxidos de carbono, dando origen a nuevos poros que eleva el área total de la biomasa. (C, 2017, p.68).

En las tablas 16 a la 20-3 observamos los siguientes porcentajes de oxígeno en el cual como es evidente el tratamiento en donde se obtuvo un mayor porcentaje le corresponde al H_3PO_4 , y concuerda teóricamente con el fundamento de que los ácidos son agentes químicos oxidantes más fuertes que las sales. (C, 2017, p.68). La cantidad de oxígeno permite al material mejorar su capacidad de adsorción por la presencia de un mayor número de grupos funcionales, los cuales a través de fuerzas intermoleculares adsorberán diferentes iones que estén presentes en la matriz en la que se utilice, adsorbiéndolos por fuerzas dipolo -dipolo y/o por la formación de puentes de hidrógeno.

CONCLUSIONES

- ❖ El estudio realizado de la obtención y funcionalización de carbón a partir del residuo o yuyo de *solanum tuberosum* se realizó de forma productiva y eficaz. Logrando determinar las propiedades físico-químicas del carbón obtenido a diferentes tratamientos.
- ❖ Se caracterizó el residuo agrícola de *solanum tuberosum* determinando el contenido de cenizas, humedad, carbono fijo y nitrógeno, obteniendo resultados que favorecen a la síntesis de carbón activo.
- ❖ Se determinó las condiciones adecuadas para la obtención del carbón activo mediante el proceso de pirólisis con el reactor RBPT, en el cual se determinó que la temperatura más óptima para trabajar es de 450°C por un tiempo prolongado alrededor de 60 minutos. Produciendo una pirólisis lenta. En cuanto al rendimiento se obtuvo valores que encajan en el rango de 30 a 45% con velocidades de calentamiento moderadas por un periodo de tiempo.
- ❖ El carbón obtenido se caracterizó mediante técnicas espectrométricas como FT-IR, SEM, SEM-EDS logrando evidenciar el proceso de funcionalización del material mediante el reconocimiento de grupos funcionales, el análisis de la estructura superficial del material y de los componentes que conforman la biomasa.
- ❖ La eficiencia en el tratamiento de funcionalización en función del rendimiento de masa mediante el cálculo de ANOVA demuestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, siendo el ZnCl₂ el que tiene mayor porcentaje de rendimiento al presentar valores superiores al 90%.
- ❖ La funcionalización de grupos funcionales sobre carbón activo presentó que el tratamiento con H₃PO₄ logra ligar o funcionalizar mayor número de grupos funcionales dándole mejores características para la interacción con otras moléculas y/o iones.

RECOMENDACIONES.

- ❖ Se recomienda realizar estudios cinéticos de adsorción con diferentes moléculas y/o iones para comprobar la eficacia de los métodos químicos utilizados para la activación del residuo de *solanum tuberosum*.
- ❖ Se recomienda realizar pruebas del residuo líquido que se elimina en la etapa de pirólisis para determinar su composición y revalorizar dicho residuo.
- ❖ Al momento de terminar la etapa de activación se recomienda realizar los análisis espectroscópicos lo más pronto posible para evitar la contaminación.
- ❖ Tener en consideración las buenas prácticas de laboratorio para evitar problemas en el manejo de máquinas.

GLOSARIO

Activación Física: Implica el uso de agentes físicos como vapor, CO₂, N₂, etc., para su modificación. Este proceso aumenta la capacidad de sorción que se relaciona directamente con el incremento del área superficial del carbón. (Achury,2008,p.30).

Activación Química: Implica el uso de agentes químicos tales como ácidos,bases y sales inorgánicas, dichos reactivos alteran las propiedades fisicoquímicas del carbón y además introduce grupos funcionales en la superficie mejorando la capacidad de sorción. (Bedia et al,2020,p.2).

Adsorción: Fenómeno físico en donde una sustancia con fases sólida y líquida entra en contacto con un sólido adsorbente adheriéndose a su superficie. Es muy útil para la purificación de líquidos y gases. Se refiere a la capacidad que tiene un carbón para la atracción y retención de moléculas, el sólido es el adsorbente y las moléculas adsorbato.(Pantoja, 2019,p.53).

Carbón activo: Es un producto de una serie de carbones porosos, se puede obtener por carbonización de distintas maderas o vegetales. Este producto tiene la característica de ser un adsorbente muy útil para diferentes necesidades, suele ser sometido a tratamientos de funcionalización o activación para que su porosidad se eleve.(Sánchez, 2018,p.18).

Pirólisis: Proceso unitario que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y temperaturas elevadas en dónde un material orgánico sufre una descomposición termoquímica, incluye reacciones de carácter irreversible logrando una modificación química y física de la materia. Proviene del vocabulario griego Pyro “fuego” y lisis “ruptura” y por lo general se obtiene 3 tipos de productos líquidos, gases y fracciones sólidas.(Kiel, Paasen & Neeft ,2004,p.52).

Yuyo: Se denomina a una maleza, hierba o planta que se desarrolla en el transcurso del crecimiento de un cultivo principalmente hortalizas y tubérculos, por lo general es considerado como un desecho agrícola para los agricultores. (Rodríguez, 2015,p.110).

BIBLIOGRAFÍA

ACHURY, CADENA. Obtención de Carbón Activado a partir de cascara de coco: obtención por medio de activación física y química (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Bogotá-Colombia.2008. pp.12- 36.

ADEGBOYEGA, S.; et al. "Preparation of phosphoric acid activated carbons from Canarium Schweinfurthii Nutshell and its role in methylene blue adsorption". *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, vol.6, n° 2(2015), (Nigeria) pp. 9-14.

ÁLVAREZ, M.; et al. *Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón*. 1 a ed. Sevilla, España: Monaterio, 2014. 9788479932473, pp. 275-374.(2014).

ARIAS, F. " Estudio de la adsorción de mercurio (II) en los materiales lignocelulósicos en condiciones". *Chemosphere*, vol.180, n° 1 (2017),(Italia) pp.11-23.

BALAT, M.; et al. "Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems". *Energy Conversion and Management*, vol.50, n° 12 (2009),(Turquía) pp. 3147-3157.

BEDIA, J.; et al. "Review on Activated Carbons by Chemical Activation with FeCl₃". *Journal of Carbon Research* [en línea], 2020, 6 (2), pp. 21. [Consulta:15 septiembre 2020]. ISSN 2311-5629. Disponible en: 10.3390/c6020021.

BIRBAS, D. "Preparation of Activated Carbon : Forest residues activated with Phosphoric Acid and Zinc Sulfate". *Chemical Engineering* [en línea], 2011, pp. 48. [Consulta: 25 octubre 2020] Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:414011/FULLTEXT01.pdf>

BORGES., et al. "Fast microwave-assisted pyrolysis of microalgae using microwave absorbent and HZSM-5 catalyst". *Bioresource Technology* [en línea], 2014, 166, pp. 518-526. [Consulta: 20 septiembre 2020]. ISSN 18732976. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.100>.

BUCZEK, B. "Preparation of Active Carbon by Additional Activation with Potassium Hydroxide and Characterization of Their Properties". *Advances in Materials Science and Engineering* [en línea], 2016 (2016), pp. 5. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: 10.1155/2016/5819208.

BRUUN, E.; et al. "Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics". *Soil Biology and Biochemistry* [en línea], 2012, 46, pp. 73-79. [Consulta: 12

septiembre 2020]. ISSN 00380717. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.019>.

CANALES, R. "Obtención y Caracterización de Carbones Activados a Partir de Residuos Agroindustriales". [en línea], 2018, pp. 194. [Consulta: 12 septiembre 2020]. Disponible en:
[http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/2070/Obtención y Caracterización de Carbones.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/2070/Obtención_y_Caracterización_de_Carbones.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

CASTRO, D. "Evaluación del proceso de Pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual residual proveniente del Pino patula en atmosfera de dióxido de carbono (Trabajo Titulación). (Grado). *Universidad Libre De Colombia* [en línea], 2018, pp. 1-84. [Consulta: 12 septiembre 2020]. Disponible en:
[https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/TRABAJO DE GRADO FINAL DIANA CATHERINE CASTRO JIMÉNEZ .pdf?sequence=1](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/TRABAJO_DE_GRADO_FINAL_DIANA_CATHERINE_CASTRO_JIMÉNEZ.pdf?sequence=1).

CARRIAZO, J.; et al. " Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales d bajo costo". *Educacion Quimica* [en línea],2010, (México) 21(3),pp.224-229.[Consulta:15 septiembre 2020] . ISSN 18708404. Disponible en:
[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30087-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30087-9)

C.F.C. "Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola Saccharum officinarum Surface area of activated and modified charcoals" [en línea], 2017, 34 (2), pp. 62-72. [Consulta: 12 septiembre 2020].

CHANDRA, S. B. " En Florida influencia de la temperatura y la duración de pyrolysis en la heterogeneidad característica de arroz biocarbón paja y optimización de las condiciones de pirólisis". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*[en línea],2019,(México) 124(35),pp.113-121.[Consulta: 5 octubre 2020]. ISSN 01652370. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2017.02.013>

CHÁVEZ, L. Producción y Caracterización de Nuevos Materiales: Carbón Activado y Materiales Obtenidos del Frijol (Trabajo de titulación) (doctoral).Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica,A.C. Ciencias Aplicadas.Nanociencias y Tecnología.San Luis de Potosi (San Luis Potosí-México).2008. pp.24-167.

CHIMBO, D., & CRUZ, J. Diseño y construcción del piso (fondo plano con difusores) para un vehículo de competencia tipo fórmula "SAE" en fibra natural para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado) Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016. pp. 1-91. [Consulta: 09 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5167>

DAFUL, A. C. "Biochar Production From Biomass Waste-Derived Material". *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, vol.12,(2018),(Emiratos Arabes Unidos) pp.1-9.

ESCALANTE, A., et al. "Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2016, 34, pp. 367-382. [Consulta: 5 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>.

ESPINOSA, M.; et al. "Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales". *Cenic* [en línea], 2013, 44. pp. 123-234. [Consulta: 5 octubre 2020]. Disponible en: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/articulos/problemática-de-la-determinación-de-especies-nitrogenadas-nitrógeno-total-y-amoniaca-en>.

FANG, Q. "Aromatic and Hydrophobic Surfaces of Wood-derived Biochar Enhance Perchlorate Adsorption via Hydrogen Bonding to Oxygen-containing Organic Groups". *Environmental Science & Technology* [en línea], 2013, 48(1), pp. 279–288 [Consulta: 5 octubre 2020]. Disponible en: doi:10.1021/es403711y

FENG, W., & JI, P. "Enzymes immobilized on carbon nanotubes". *Biotechnology Advances* [en línea], 2011 29(6), pp. 889–895. [Consulta: 5 octubre 2020]. Disponible en: doi:10.1016/j.biotechadv.2011.07.007

FUERTES, A. "Chemical and Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides". *Chemistry - A European Journal* [en línea], 2009 15(16), pp. 4195–4203. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: 10.1002/chem.200802097

GALVIS, J.; et al. "Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos". *Revista Colombiana de Química* [en línea], 2005, 34 (2), pp. 201-209. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042005000200009.

GITZHOFER, F. *A review on plasma technologies applied to thermo-chemical biomass conversion* [blog]. Canadá: Germany Eds, octubre,2015. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: http://dc.engconfintl.org/biorefinery_I

GOMEZ, R. & MURILLO, R. Espectroscopía infrarroja. *Facultad de Ciencias UNAM* [en línea], 2015, pp. 1-14 [Consulta: 25 octubre 2020].

GÓMEZ, X., et al. "Determination of the Effect of Biochar on Mobility of Mercury in Soil". *The Biologist (Lima)* [en línea], 2017, 15 (1), pp. 37-48 [Consulta: 25 octubre 2020].

HERGUEDAS, A., et al. "Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad". *Transbioma* [en línea], 2012, 13 (2), pp. 105-109. [Consulta: 25 octubre 2020]. ISSN 0924977X.

HOCK, P., & ZAINI, M. "Activated carbons by zinc chloride activation for dye removal – a commentary". *Acta Chimica Slovaca* [en línea], 2018, 11(2), pp. 99-106. [Consulta: 25 octubre 2020]. ISSN 1337-978X. Disponible en 10.2478/acs-2018-0015.

HU, B.; et al. Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass. *Advanced Materials* [en línea], 2010, 22(7), pp. 813–828. [Consulta: 26 noviembre 2020] Disponible en: 10.1002/adma.200902812

HUI, T.; et al. "Potassium hydroxide activation of activated carbon: A commentary". *Carbon Letters* [en línea], 2015, 16 (4), pp. 275-280. [Consulta: 26 noviembre 2020]. ISSN 22334998. Disponible en 10.5714/CL.2015.16.4.275.

JIMENEZ, G.; et al. "New insights into microwave pyrolysis of biomass: Preparation of carbon-based products from pecan nutshells and their application in wastewater treatment". *J. A. App. Pyrolysis*, [en línea], 2017, 124, pp. 113–121 [Consulta: 26 noviembre 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.02.013>

JS, C, et al. "Production and utilization of biochar: A review". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [en línea], 2016, 40, pp. 1–15. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: doi:10.1016/j.jiec.2016.06.002

KIEL, J.; et al. "Primary measures to reduce tar formation in fluidised-bed biomass gasifiers". *Ecn, Ecn-C-04-014* [en línea], 2004, 1 (2), pp. 108. [Consulta: 11 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-C--04-014>.

KIM, W.; et al. "Characterization of cadmium removal from aqueous solution by biochar produced from a giant Miscanthus at different pyrolytic temperatures". *Bioresource Technology* [en línea], 2013, 138, pp. 266–270. [Consulta: 11 septiembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.186>

KLESZYK, P.; et al. "Carbons with narrow pore size distribution prepared by simultaneous carbonization and self-activation of tobacco stems and their application to supercapacitors". *Carbon* [en línea], 2015, 81(1), pp. 148-157. [Consulta: 25 octubre 2020]. ISSN 00086223. DOI 10.1016/j.carbon.2014.09.043.

LIBRA, J.; et al. "Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis". *Biofuels* [en línea], 2011, 2(1), pp. 71-106. [Consulta: 15 septiembre 2020]. Disponible en: 10.4155/bfs.10.81.

LI, H.; et al. "Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications". *Chemosphere* [en línea], 2017, 178, pp. 466-478. [Consulta: 11 octubre 2020] Disponible en: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.072.

LI, F.; et al. "One-pot synthesis and characterization of engineered hydrochar by hydrothermal carbonization of biomass with ZnCl₂". *Chemosphere* [en línea], 2020, 254, pp. 126866. [Consulta: 09 marzo 2021]. Disponible en: 10.1016/j.chemosphere.2020.126866.

MA, X., et al. "Study of Biochar Properties by Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)". *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [en línea], 2016, 47(5), pp.593–601. [Consulta: 11 octubre 2020], disponible en: doi:10.1080/00103624.2016.1146742

MAKESWARI, M., & SANTHI, T. "Optimization of preparation of activated carbon from Ricinus communis leaves by microwave-Assisted zinc chloride chemical activation: Competitive adsorption of Ni²⁺ ions from aqueous solution". *Journal of Chemistry* [en línea], 2013, (2013), pp. 13. [Consulta: 11 octubre 2020]. ISSN 20909063. Disponible en: 10.1155/2013/314790.

MANTEROLA, H. *Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes* [en línea]. Santiago de Chile-Chile: Fundación para la innovación agraria del Ministerio de Agricultura. 2015. [Consulta: 11 octubre 2020]. ISBN 9781626239777.

MARÍA, G., et al. "Production, characterization and evaluation of biochar from pod (*Pisum sativum*), leaf (*Brassica oleracea*) and peel (*Citrus sinensis*) wastes". *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* [en línea], 2016, 5(1), pp. 43–53. [Consulta: 09 octubre 2020]. Disponible en: doi:10.1007/s40093-016-0116-8

MONTOYA, J.; et al. "Bio-oil production from Colombian bagasse by fast pyrolysis in a fluidized bed: An experimental study". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea],

2015,112, pp.379–387. [Consulta: 11 septiembre 2020]. Disponible en doi:10.1016/j.jaap.2014.11.007

MOROZOV, A. *Introduction to Plasma Dynamics* [en línea] Washington-USA : CRC Press. 2013. [Consulta: 09 octubre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/b13929>

NATALIA, L. "Caracterización de los productos obtenidos en los procesos de pirólisis de residuos lignocelulósicos de agave". *Вестник Росздравнадзора* [en línea], 2017, 4, pp. 9-15. [Consulta: 11 octubre 2020].

NZIHOU, A.; et al. "Synthetic fuels from biomass using concentrated solar energy - A review". *Energy* [en línea], 2012, 42(1), pp. 121-131. [Consulta: 15 septiembre 2020]. ISSN 03605442. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.077>.

OGAWA, M. & OKIMORI, Y. "Pioneering works in biochar research". *Australian Journal of Soil Research* [en línea], 2010, 48(6-7), pp. 489-500. [Consulta: 15 septiembre 2020]. ISSN 00049573. Disponible en: 10.1071/SR10006.

ORDOÑEZ, A. "Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la Industria de la papa para remoción de metales pesados en aguas contaminadas". [en línea], 2017, p. 109. [Consulta: 15 septiembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14969/1/UPS-CT007386.pdf>.

PALLAR, J.; et al. "Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam". *Biomass and Bioenergy* [en línea], 2018, 115, pp.64-73. [Consulta: 25 enero 2020]. Disponible en: doi:10.1016/j.biombioe.2018.04.015

PANDEY, D. Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta [en línea] (Trabajo de titulación).(Maestría) Tecnológico de Costa Rica. 2020. pp. 1-94. [Consulta: 15 septiembre 2020] Disponible en: <http://hdl.handle.net/2238/10315>

PANTOJA,V. Comparación de la capacidad de remoción de cromo+6 con carbón activado elaborado a partir de cáscara de papa (solanum tuberosum) activada químicamente con NaOH Y ZnCl₂ en una muestra de agua residual proveniente del río Pasto [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado) Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pasto, Colombia. 2019. pp.1-105. [Consulta: 15 septiembre 2020]. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/30757>

PIEL, A. *Plasma physics: An introduction to laboratory, space, and fusion plasmas* [en línea]. Berlin: Springer, 2010. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en doi:10.1007/978-3-642-10491-6

POZZOBON, V., et al. "Radiative pyrolysis of wet wood under intermediate heat flux: Experiments and modelling". *Fuel Pro. Technology* [en línea], 2014, 128, pp. 319-330. [Consulta: 15 septiembre 2020] ISSN 03783820. Disponible en: [10.1016/j.fuproc.2014.07.007](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.07.007).

RAJAPAKSHA, A. U., et al. "Steam activation of biochars facilitates kinetics and pH-resilience of sulfamethazine sorption". *Journal of Soils and Sediments* [en línea], 2015, 16(3), pp.889–895. [Consulta: 10 enero 2021] Disponible en: [doi:10.1007/s11368-015-1325-x](https://doi.org/10.1007/s11368-015-1325-x)

RAMANI, K., et al. Surface functionalized mesoporous activated carbon for the immobilization of acidic lipase and their application to hydrolysis of waste cooked oil: *Isotherm and kinetic studies*. *Process Biochemistry* [en línea], 2012, 47(3), pp.435–445. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: [doi:10.1016/j.procbio.2011.11.025](https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.11.025)

REHMAN, R.; et al. "Use of Agro-waste *Musa acuminata* and *Solanum tuberosum* peels for economical sorptive removal of Emerald green dye in ecofriendly way". *J. Cleaner Production* [en línea], 2019, 206, pp.819–826. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.226>

RENAU, J., & MAGDALENA, F. *Principios básicos del microscopio electrónico de barrido* [en línea] Coruña: Universidade da Coruña, Servicio de Publicacións, 1994, p. 73-92. ISBN: 84-88301-88-X. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2183/9313>

ROJAS, A.; et al. "Use prospects of some agroindustrial waste". *Revista Cubana de Química* [en línea], , 2018, 31 (1), pp. 31-52. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v31n1/2224-5421-ind-31-01-31.pdf>.

ROSERO, C. Producción y caracterización de biochar a partir de biomasa residual para el cultivo del hongo *Trichoderma harzianum* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías; Quito, Ecuador, 2019. pp.1-68. [Consulta: 25 octubre 2020] Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8548>

SÁNCHEZ, C. "Caracterización de carbón activado a partir de bambú (*Guadua Angustifolia Kunth*) utilizando el método químico". [en línea], 2018, pp. 1-97. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3340>.

SUN, J.; et al. "Effects of pyrolysis temperature and residence time on physicochemical properties of different biochar types. *Acta Agriculturae Scandinavica*", *Section B — Soil & Plant Science* [en línea], 2017, 67(1), pp.12–22. [Consulta: 12 noviembre 2020]. Disponible en: [doi:10.1080/09064710.2016.1214745](https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1214745)

TASKIN, E.; et al. "Multianalytical characterization of biochar and hydrochar produced from waste biomasses for environmental and agricultural applications". *Chemosphere* [en línea], 2019, 233, pp.422-430. [Consulta: 12 noviembre 2020]. Disponible en: doi:10.1016/j.chemosphere.2019.05.204

TITIRICI, M., et al. "Back in the black: Hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO₂ problem". *New J. Chemistry* [en línea], 2007, 31(6), pp. 787-789. [Consulta: 26 noviembre 2020]. ISSN 13699261. Disponible en: 10.1039/b616045j.

TRUJILLO A, et al. "Producción Y Caracterización Química De Biochar a Partir De Residuos Orgánicos Avícolas". *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2019, 85 (4), pp. 489-504. [Consulta: 12 septiembre 2020]. ISSN 1810-634X. Disponible en: 10.37761/rsqp.v85i4.262

VASSILEV, S.; et al. "An overview of the chemical composition of biomass". *Fuel* [en línea], 2010, 89(5), pp. 913–933. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en doi:10.1016/j.fuel.2009.10.022

VITHANAGE, M.; et al "Acid-activated biochar increased sulfamethazine retention in soils. Environmental Science and Pollution". *Research* [en línea], 2014, 22(3), pp. 2175–2186. [Consulta: 15 octubre 2020]. Disponible en: doi:10.1007/s11356-014-3434-2

YANG, E.; et al. "Bamboo-derived porous biochar for efficient adsorption removal of dibenzothiophene from model fuel". *Fuel* [en línea], 2018, 211, pp. 121–129. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: doi:10.1016/j.fuel.2017.07.099

ZHANG, J.; et al. "Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate". *Bioresource Technology* [en línea], 2015, pp. 176, 288–291. [Consulta: 05 octubre 2020]. Disponible en doi:10.1016/j.biortech.2014.11.011

ZHANG, Y., et al. "Microwave - Assisted Pyrolysis of Biomass for Bio - Oil Production". *Intech* [en línea], 2017, pp. 129-166. [Consulta: 13 septiembre 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/67442>

ZHAO, L.; et al. "Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures". *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2013, 256(7), pp.1–9. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en doi:10.1016/j.jhazmat.2013.

ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DEL % CENIZA.

}

<p style="text-align: center;">A</p> 	<p style="text-align: center;">B</p> 	<p style="text-align: center;">C</p> 	
<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>A: Carbonización del yuyo B: Ceniza resultante en mufla C: Pesaje final del crisol con ceniza.</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado </p>	<p style="text-align: center;"> ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Carla Navarrete. </p>	<p style="text-align: center;"> “ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>” </p>

ANEXO B: CARBÓN OBTENIDO ETAPA DE PIRÓLISIS.

A



B



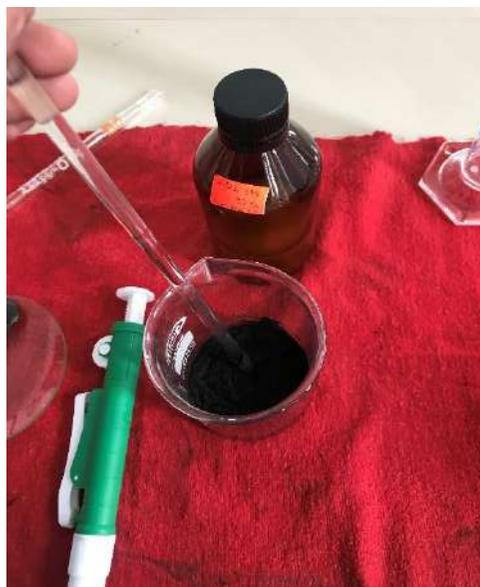
<p>NOTAS A: Alimentación del reactor. B: Carbón obtenido.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado </p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Carla Navarrete.</p>	<p>“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>”</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ANEXO C: PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

A	B	C	D
<p>NOTAS A: KOH. B: ZnCl₂ C: FeCl₃ D: H₃PO₄</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p> <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado </p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Carla Navarrete.</p>	<p>“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>”</p>

ANEXO D: ETAPA DE IMPREGNACIÓN DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES AL CARBÓN

A



B



NOTAS

A: Impregnación al carbón
B: Impregnación al carbón.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Por calificar | <input type="checkbox"/> Para información |
| <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar | <input type="checkbox"/> Por archivar |
| <input type="checkbox"/> Por eliminar | <input type="checkbox"/> Certificado |

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
Realizado por: Carla Navarrete.

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE *solanum tuberosum*”

ANEXO E: ETAPA DE AGITACIÓN

A



NOTAS
A: Agitación.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Por calificar | <input type="checkbox"/> Para información |
| <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar | <input type="checkbox"/> Por archivar |
| <input type="checkbox"/> Por eliminar | <input type="checkbox"/> Certificado |

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
Realizado por: Carla Navarrete.

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE *solanum tuberosum*”

ANEXO F: ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO Y REPOSO

A



<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>A: Acondicionamiento por 24 horas.</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por calificar</td> <td><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/> Por archivar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> <td><input type="checkbox"/> Certificado</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Por archivar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Certificado	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Carla Navarrete.</p>	<p style="text-align: center;">“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>”</p>
<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información								
<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Por archivar								
<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Certificado								

ANEXO G: ETAPA DE CALENTAMIENTO.

A



<p>NOTAS A: Calentamiento en estufa a 100°C-</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado</p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Carla Navarrete.</p>	<p>“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>”</p>
------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ANEXO H: ETAPA DE FILTRACIÓN.

A



<p style="text-align: center;">NOTAS A: Filtrado con bomba al vacío.</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por calificar</td> <td><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/> Por archivar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> <td><input type="checkbox"/> Certificado</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Por archivar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Certificado	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Carla Navarrete.</p>	<p style="text-align: center;">“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>”</p>
<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información								
<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Por archivar								
<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Certificado								

ANEXO I: MEDICIÓN DE pH

A



B



NOTAS
A: pH-metro.
B. Tiras para medir pH

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Por calificar | <input type="checkbox"/> Para información |
| <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar | <input type="checkbox"/> Por archivar |
| <input type="checkbox"/> Por eliminar | <input type="checkbox"/> Certificado |

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
Realizado por: Carla Navarrete.

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE *solanum tuberosum*”

ANEXO J: ETAPA DE SECADO DEL FILTRADO

	<p>A</p> 	<p>B</p> 							
<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>A: Secado en estufa a 100°C. B. Carbón seco.</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por calificar</td> <td><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/> Por archivar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> <td><input type="checkbox"/> Certificado</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Por archivar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Certificado	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Carla Navarrete.</p>	<p style="text-align: center;">“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE <i>solanum tuberosum</i>”</p>
<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información								
<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Por archivar								
<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Certificado								

ANEXO K: ALMACENAMIENTO

A



B



NOTAS
 A: Pesaje final de carbón obtenido para cálculos de rendimiento.
 B: Almacenamiento en recipientes herméticos.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Por calificar | <input type="checkbox"/> Para información |
| <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar | <input type="checkbox"/> Por archivar |
| <input type="checkbox"/> Por eliminar | <input type="checkbox"/> Certificado |

ESPOCH
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 Realizado por: Carla Navarrete.

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO (C.A), ACTIVADO POR DIVERSOS MÉTODOS DE FUNCIONALIZACIÓN, PROVENIENTE DEL RESIDUO DE *solanum tuberosum*”



Contáctanos: 0998580374 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 20 de octubre del 2020

Análisis solicitado por: Srta. Carla Navarrete

Tipo de muestras: Yuyo de papa

Procedencia de la muestra: Riobamba

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Carbono (base seca)	%	Walkley - Black	40.45
Nitrógeno (base seca)	%	Kjeldhal	3.30
Humedad	%	Gravimétrico	9.25

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.





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: 15/04/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Carla Andrea Navarrete Machado
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.

LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS
Firmado digitalmente por LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS
Número de reconocimiento (DN):
c=EC, o=PROBAMBA,
serialNumber=060240970,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.04.15 12:25:40 -05'00'



0830-DBRAI-UPT-2021

