UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO POR EL MÉTODO QUÍMICO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) CLON CC-51 EN EL DISTRITO DE IRAZOLA PROVINCIA DE PADRE ABAD.

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

KEVIN LAREDO ALFARO

Pucallpa – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis, presentado por **KEVIN LAREDO ALFARO,** denominada: **"OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO POR EL MÉTODO QUÍMICO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO L.) CLON CCN-51 EN EL DISTRITO DE IRAZOLA PROVINCIA DE PADRE ABAD*"** para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **TÍTULO PROFESIONAL.**

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos: **APROBADO POR UNANIMIDAD** con el calificativo (17).

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el: (Título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL**), de conformidad con lo estipulado en los Art. 3 y 6 del reglamento para el otorgamiento del título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 26 de mayo del 2022.

Ing. MSc. Giraldo Almeida Villanueva
Presidente

Dr. Edgardo García Saavedra
Secretario

Ing. Mg. Alex Rengifo Zumaeta
Miembro

Ing. MSc. Glendy Sanchez Sunción
Asesor

Ing. MSc. Carlos Ruiz Padilla
Co - Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Ing. Giraldo Almeida Villanueva, M.Sc.

Presidente

Dr. Edgardo García Saavedra.

Secretario

Ing. Alex Rengifo Zumaeta, M.Sc.

Miembro

Ing. Glendy Sánchez Sunción, M.Sc.

Asesor

Ing. Carlos Ruiz Padilla, M.Sc.

Co - Asesor

Bach. Kevin Laredo Alfaro

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°0415-2021

La **Dirección de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el **Informe Final de Tesis, titulado:**

"OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO POR EL MÉTODO QUÍMICO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) CLON CCN-51 EN EL DISTRITO DE IRAZOLA PROVINCIA DE PADRE ABAD".

Cuyo(s) autor (es)	:	**LAREDO ALFARO, KEVIN**
Facultad	:	CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela Profesional	:	INGENIERIA AGROINDUSTRIAL.
Asesor(a)	:	Mg. GLENDY SANCHEZ SUNCIÓN

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 3%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 01/10/2021

Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON
Dirección de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Kevin Lavado Alfaro

Autor de la tesis titulada: "Obtención de carbón activado por el método químico a partir de la cascara de cacao (Theobroma cacao L.) clon CCN-51, en el Distrito de Irazola, provincia de Padre Abad"

Sustentada el año: 2022

Asesor(a): Glendy Sanchez Sumaran

Facultad: Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional: Ingeniería Agroindustrial

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 19 / 01 / 2026

Email: lavadounu@gmail.com Firma:

Teléfono: 921854304 DNI: 47694359

DEDICATORIA.

A mi amado padre celestial, Jehová Todo poderoso, por llenarme de fuerzas, inteligencia y bendecirme día a día con salud y amor, para hacer llevar a cabo con esta meta, que sin tu palabra mi señor nada hubiera sido viable.

A mis queridos padres Hugo y María pues ellos han dado razón a mi vida, todo lo cual hoy soy y seré es debido a ellos, agradezco la confianza que depositaron hacia mí.

A mí amada esposa Jakeline y a mi hijo Bedirjhan, por sus valiosos consejos, su paciencia y su apoyo incondicional no solo moral sino además económico.

AGRADECIMIENTO.

A Dios por haberme dado la fuerza necesaria para concluir con el trabajo de investigación de manera exitosa.

A mi prestigiosa y amada Universidad Nacional de Ucayali por darme los conocimientos necesarios, por las enseñanzas de sus docentes de la escuela profesional de ingeniería agroindustria, facultad de ciencias agropecuarias.

A mi asesor la Ing. Glendy Sánchez Sunción M.Sc. por haberme apoyado durante todo el proceso de investigación, ejecución y corrección del trabajo de investigación final.

Al Ing. Carlos Ruiz Padilla M.Sc. por haber impartido sus conocimientos en el presente trabajo que se desarrolló, por haber estado durante todo proceso de ejecución y corrección del trabajo.

A todos y cada uno de mis amigos de la escuela profesional de ingeniería agroindustrial, quienes en todo momento me dieron su apoyo emocional para poder culminar con la investigación.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN. xii

ABSTRACT. xiv

ÍNDICE DE TABLAS. xvi

ÍNDICE DE FIGURAS. xvii

INTRODUCCION. 1

CAPÍTULO I 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1. Descripción y fundamentación del problema. 2

1.2. Formulación del problema. 2

1.3. Objetivos de la investigación. 3

1.3.1. Objetivo general. 3

1.3.2. Objetivos específicos. 3

1.4. Hipótesis variables y operacionalización de las variables. 3

1.4.1. Hipótesis. 3

1.4.2. Variables. 3

1.5. Justificación de la investigación. 4

CAPÍTULO II 5

MARCO TEÓRICO 5

2.1. Antecedentes. 5

2.2. Carbon activo. 7

2.2.1. El carbón en la historia. 7

2.2.2. Generalidades. 8

2.3. Tipos de activantes. 8

2.3.1. Activación química. 8

2.3.2. Activación física. 8

2.4. Agentes activantes químicos. 8

2.4.1. Activación química con cloruro de sodio ($ZnCl_2$). 9

2.4.2. Activación química con (H_3PO_4.) 9
2.4.3. Activación química con (KOH.) 9
2.5. Parámetros físicos del carbón activo. 10
2.5.1. pH…. 10
2.5.2. Humedad. 10
2.5.3. Densidad aparente. 11
2.5.4. Cenizas en carbón activado. 11
2.5.5. Capacidad de adsorción. 11
2.5.6. Rendimiento del carbono activado. 12
2.6. Cacao (*Theobroma cacao* L.). 12
2.6.1. Generalidades. 12
2.6.2. Origen del cacao CCN-51. 12
2.6.3. Distribución geográfica del cacao. 13
2.6.4. Taxonomía del cacao. 13
2.6.5. Morfología. 14
CAPITULO III 15
MATERIALES Y MÉTODOS. 15
3.1. Lugar de ejecución. 15
3.2. Materia prima. 15
3.3. Reactivos, materiales y equipo de trabajo. 16
3.3.1. Reactivos. 16
3.3.2. Materiales de laboratorio. 16
3.3.3. Equipos de planta y laboratorio. 16
3.4. Metodología experimental. 17
3.4.1. Recepción. 18
3.4.2. Reducción de tamaño. 18
3.4.3. Secado en cabina. 18
3.4.4. Molienda y pesado. 18
3.4.5. Activación química. 18
3.4.6. Carbonización. 19
3.4.7. Refinado. 19
3.4.8. Secado 19

3.4.9. Molienda y tamizado. 19
3.4.10. Activación granular. 20
3.4.11. Almacenado. 20
3.5. Métodos de análisis. 20
3.6. Diseño estadístico a emplear. 20
3.6.1. Tratamientos en estudio. 21
3.6.2. Herramientas estadísticas. 21
3.6.3. Nivel de la investigación. 22
3.6.4. Población y muestra. 22
3.7. Variables de estudio. 22
3.7.1. Variables independientes. 22
3.7.2. Variables dependientes. 23
CAPÍTULO IV 24
RESULTADOS 24
4.1. Resultados de las propiedades fisicoquímicas del carbón activo. 24
4.1.1. Resultados de humedad. 24
4.1.2. Resultados de densidad aparente. 25
4.1.3. Resultados de pH. 26
4.1.4. Resultados de cenizas. 27
4.1.5. Resultados de CAAM en (%). 28
4.1.6. Resultados de rendimiento. 29
CAPÍTULO V 30
DISCUSIONES 30
5.1. Análisis fisicoquímicos del carbón activo de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.). 30
5.1.1. Humedad expresada en (%). 30
5.1.2. Densidad aparente expresada en (g/cm^3). 31
5.1.3. pH… 31
5.1.4. Cenizas expresado en (%). 32
5.1.5. CAAM expresado en (%). 33
5.1.6. Redimiendo expresado en (%). 34

5.1.7. Comparativo del carbón obtenido / carbón comercial Megapol E.. 34
CAPÍTULO VI 36
CONCLUSIONES 36
CAPÍTULO VII 37
RECOMENDACIONES 37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 38
ANEXO……..... 44

RESUMEN.

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Ucayali, ubicada en la Carretera Federico Basadre (CFB) Km 6.200 margen derecho. La recolección de los residuos (cáscara) de cacao (*Theobroma cacao L*.) que deja la cosecha del mencionado cultivo, se llevó a cabo en el Provincia de Padre Abad, cuya parcela le pertenece al Sr. Joel Espinoza Ambrosio que se sitúa en el distrito de San Alejandro Carretera Federico Basadre (CFB) Km 130 interior derecho 4.5 Km en el Fundo Santander, el presente trabajo tuvo como objetivo principal la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao clon CCN-51. Para la obtención y activación del carbón se utilizó los ambientes del laboratorio de química y el laboratorio de suelos, la activación se realizó bajo el método químico aplicando tres agentes activantes como; Ácido fosfórico (H_3PO_4), Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) e Hidróxido de Potasio (KOH) a concentración de (50% y 60%) y tres temperaturas (500 º, 600º y 700 ºC) para su activación. Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencia Forestales. El diseño estadístico empleado para la presente investigación fue un DCA (diseño completamente aleatorizado) con arreglo factorial 3x2x3 con un nivel de confianza del 95% y a Pv de ≤ 0.05 y la comparación múltiple de Tukey para el análisis de las diferencias entre uno y otro tratamiento. Los factores de estudio fueron FA: corresponde a los agentes activantes químicos, FB: corresponde a las concentraciones químicas empleadas y FC: a las temperaturas de carbonización. Las variables respuestas fueron; rendimiento, humedad, densidad aparente, cenizas, pH y capacidad de absorción. Los resultados responden: En la variable respuesta de humedad existe diferencias en cuanto a los factores ABC, valores de 11.890% para el Zn Cl2, con una desviación estándar (SD) de ± 0.45 entre tratamientos, a una concentración del 50% y a temperatura de carbonización de 700 ºC con valores de 11.94% de humedad. Los resultados de densidad aparente, el FA: agentes químicos activantes quien posee mejor atributo es el ácido fosfórico con valores de 0.51 con respecto a los demás agentes, en la variable de pH las diferencias marcan al FA y FB siendo el cloruro de zinc quien presento mejores características a concentración del 60% con 6.90%, en cenizas se reportó diferencias entre los FA y FC, teniendo como mejor valor al cloruro de zinc a

temperatura de 700 ºC con media de 22.54%, el rendimiento solo se encuentran diferencias en el FA: dando al cloruro de zinc valores de 4.60% y por último la capacidad de absorción de azul de metileno el que presento mejor características fue el cloruro de zinc con media de 52.83 y a temperatura de carbonización de 500 ºC valores de 48.69. Después de los análisis correspondientes se logró obtener carbón a partir de la cascara de cacao La comparativa entre el carbón obtenido y el carbón comercial Megapol E, indican que el carbón comercial posee mejor la capacidad de adsorción.

Palabras claves: cacao, activación química, agentes activantes, carbón activo, fisicoquímicos.

ABSTRACT.

The research was carried out at the National University of Ucayali, located on the Federico Basadre Highway (CFB) Km 6.200 right margin. The collection of cocoa (Theobroma cacao L.) residues (shells) left by the harvest of the mentioned crop was carried out in the Province of Padre Abad, whose plot belongs to Mr. Joel Espinoza Ambrosio, located in the district of San Alejandro, Federico Basadre Highway (CFB) Km 130 right interior 4.5 Km. The main objective was to obtain activated charcoal from cocoa shell clone CCN-51. To obtain and activate the charcoal, the environments of the chemistry laboratory and the soil laboratory were used, the activation was carried out under the chemical method applying three activating agents such as; Phosphoric acid (H_3PO_4), Zinc Chloride ($ZnCl_2$) and Potassium Hydroxide (KOH) at a concentration of (50% and 60%) and three temperatures (500 º, 600º and 700 ºC) for its activation. The physicochemical analyses were carried out in the soil laboratory of the Faculty of Forestry Science. The statistical design used for the present investigation was a DCA (completely randomized design) with a 3x2x3 factorial arrangement with a confidence level of 95% and a Pv of ≤ 0.05 and Tukey's multiple comparison for the analysis of the differences between one treatment and the other. The study factors were FA: corresponds to the chemical activating agents, FB: corresponds to the chemical concentrations used and FC: to the carbonization temperatures. The response variables were; yield, moisture, bulk density, ash, pH and absorption capacity. The results are as follows: In the moisture response variable there are differences in terms of ABC factors, values of 11.890% for Zn Cl_2, with a standard deviation (SD) of ± 0.45 between treatments, at a concentration of 50% and at carbonization temperature of 700 ºC with values of 11.94% moisture. The results of bulk density, the FA: chemical activating agents who has the best attribute is phosphoric acid with values of 0.51 with respect to the other agents, in the variable of pH the differences mark the FA and FB being the zinc chloride who presented better characteristics at a concentration of 60% with 6.90%, in ashes differences were reported between the FA and FC, having as best value the zinc chloride at a temperature of 700 ºC with a mean of 22.54%, the The only differences found were in the FA: giving the zinc chloride values of 4.60% and finally the absorption capacity of methylene blue, the one with the best characteristics was the zinc

chloride with an average of 52.83 and at a carbonization temperature of 500 ºC values of 48.69. After the corresponding analyses, it was possible to obtain charcoal from cocoa husk. The comparison between the charcoal obtained and the commercial charcoal Megapol E, indicates that the commercial charcoal has a better absorption capacity.

Keywords: cocoa, chemical activation, activating agents, activated carbon, physicochemicals.

ÍNDICE DE TABLAS.

En el texto.

Tabla 1. Descripción taxonómica del cacao (*Theobroma cacao* L.). 13
Tabla 2. Características morfologías del cacao CCN-51. 14
Tabla 3. Tratamiento es estudio. 21
Tabla 4. Humedad del carbón en (%). 25
Tabla 5. Densidad aparente del carbón en (g/cm^3). 26
Tabla 6. pH del carbón. 27
Tabla 7. Cenizas del carbón en (%)..... 28
Tabla 8. CAAM del carbón en (%). 29
Tabla 9. Rendimiento del carbón en (%). 29
Tabla 10. Comparativo del carbón activo de la cascara de cacao *(Teobroma cacao* L.) CCN51 frente al carbón comercial Megapol E..... 35

En el anexo

Tabla 11A. Valores promedios de rendimiento. 49
Tabla 12A. Valores promedios de humedad. 50
Tabla 13A. Valores promedios de densidad aparente. 51
Tabla 14A. Valores promedios de pH. 52
Tabla 15A. Valores promedios de cenizas. 53
Tabla 16A. Valores promedios de cenizas. 54
Tabla 17A. Análisis de varianza para la variable respuesta rendimiento..... 55
Tabla 18A. Análisis de varianza para la variable respuesta humedad. 57
Tabla 19A. Análisis de varianza para la variable respuesta densidad aparente. 59
Tabla 20A. Análisis de varianza para la variable respuesta pH. 61
Tabla 21A. Análisis de varianza para la variable respuesta cenizas. 63
Tabla 22A. Análisis de varianza para la variable respuesta capacidad de absorción en azul de metileno..... 65

ÍNDICE DE FIGURAS.

En el texto.

Figura 1. Cacao CCN-51. 14
Figura 2. Mapa de ubicación del fundo. 15
Figura 3. Diagrama de bloques para la obtención de carbón. 17

En el anexo.

Figura 4A. Interacción de factores AB para rendimiento. 55
Figura 5A. Interacción de factores AC para rendimiento. 56
Figura 6A. Interacción de factores BC para rendimiento. 56
Figura 7A. Interacción de factores AB para humedad. 57
Figura 8A. Interacción de factores AC para humedad. 58
Figura 9A. Interacción de factores BC para humedad. 58
Figura 10A. Interacción de factores AB para densidad aparente. 59
Figura 11A. Interacción de factores AC para densidad aparente. 60
Figura 12A. Interacción de factores BC para densidad aparente. 60
Figura 13A. Interacción de factores AB para pH. 61
Figura 14A. Interacción de factores AB para pH. 62
Figura 15A. Interacción de factores BC para pH. 62
Figura 16A. Interacción de factores AB para cenizas. 63
Figura 17A. Interacción de factores AC para cenizas. 64
Figura 18A. Interacción de factores BC para cenizas. 64
Figura 19A. Interacción de factores AB para CAAM. 65
Figura 20A. Interacción de factores AC para CAAM. 66
Figura 21A. Interacción de factores BC para CAAM. 66

INTRODUCCION.

El desarrollo de la agroindustria en la zona Ucayali, nos posibilita crecer en innovación de productos de calidad teniendo en importancia que se tiene una extensa variedad de recursos agrícolas. Al aumentar la demanda de un producto crea el alza de desperdicios o residuos que producen las agroindustrias, provocando de esta forma inconvenientes medioambientales.

La diferencia con otros países es que ellos usan los residuos que deja la agricultura para desarrollar nuevos productos y de esta forma mejorar así sea sus parcelas de trabajo y en otro tipo de industrias no alimentarias. La región Ucayali carece de tácticas para el desarrollo de subproductos a partir de los desperdicios o residuos que deja la agroindustria siendo uno de los desafíos más relevantes para los profesionales qué la Ucayali posee (Vargas y Pérez, 2018).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los primordiales productos que más se cultiva nuestra región, siendo su principal transformación en chocolate y derivadas. Los residuos que se crean son de importancia y su aprovechamiento es poco, por lo que el residuo del cacao se puede se pueden desarrollar una investigación en la obtención de carbón activo.

El presente Trabajo de investigación pretende realizar un carbón activo a partir de los residuos del cultivo de cacao haciendo el trabajo con el clon CCN-51, el fin es obtener un su producto de buena calidad con propiedades fisicoquímicas aceptables en comparación con los productos clásicos y comerciales que podrían ser muy bien utilizados para la eliminación de olores y decoloración de todo tipo de líquidos o aguas residuales. Para obtener el carbón intervienen activantes físicos como es la temperatura (500º, 600º y 700 ºC) y agentes activantes químicos (cloruro de Zinc, ácido Fosfórico e hidróxido de Potasio), de esta manera se obtendrá parámetros óptimos de acuerdo con el porcentaje de absorción del producto final.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y fundamentación del problema.

Existen diversos residuos producidos por la actividad Agroindustrial en la región de Ucayali, uno de los más representativos son los del sector cacaotero, entre los cuales se encuentra la cascara de cacao. Este residuo representa el 79% de cascara (Mejia.et al, 2000). Es decir que en la región de Ucayali se produjo 52,961.6 toneladas de cascara aproximadamente en el 2015. Los productores de cacao luego del partido del fruto tienden a formar rumas con las cascara y la abandonan en la áreas de sembrío esperando que esta se descomponga o en otras circunstancias la trasladan a otra área para que la cascara se convierta en compost, pero este residuo posee un riesgos para las plantas de cacao, ya que puede ser focos de contaminación y por lo tanto la proliferación de enfermedades fitopatológicas (escoba de bruja y monoliasis), de uno u otra forma este residuo representa un problemas el sector cacaotero.

Se ha tratado de dar una utilidad a este residuo agroindustrial de diferentes maneras, se realizaron trabajos para emplearlo como adsorbente e incluso como carbón activado pero el conocimiento es aún muy escaso especialmente en las técnicas de producción de carbón activado a partir de cascara de cacao, la química del carbón, que tipo de activación química es la mejor, por ejemplo. Es por ello que el presente trabajo de investigación busca obtener carbón activado a partir de la cascara de cacao y determinar la mejor forma de activación química (empleando diferentes reactivos), y así solucionar en parte este problema de desechos en el sector cacaotero

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál de los métodos de activación química de carbón le conferirá mejor capacidad de adsorción al carbón activado producido a partir de cascará de cacao (Theobroma cacao L.) clon CCN – 51?

1.3. Objetivos de la investigación.

1.3.1. Objetivo general.

- Obtener el carbón activado por el método químico a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) Clon CCN-51 en el distrito de Irazola Provincia De Padre Abad.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Obtener carbón activado de cascara de cacao (Theobroma cacao L.) clon CCN-51 utilizando los métodos de activación química con: ácido fosfórico (H3PO4), hidróxido de potasio (KOH) y cloruro de zinc (ZnCl2).
- Comparar la capacidad de adsorción del carbón activado químicamente a partir de la cascara de cacao (Theobroma cacao L.) (Megapol E).

1.4. Hipótesis variables y operacionalización de las variables.

1.4.1. Hipótesis.

- La activación química del carbón vegetal a base de cascara de cacao clon CCN-51 presentara mayor capacidad de adsorción que el carbón activado comercial" (Megapol E).

1.4.2. Variables.

- Variables independientes:

  - Activación de química
  - Activación con ácido fosfórico (H3PO4)
  - Activación con hidróxido de potasio (KOH)
  - Activación con cloruro de zinc (ZnCl2).

- **Variables dependientes.**

    - Capacidad de adsorción: cantidad de adsorbato que logra retener un tipo de carbón activado.

1.5. Justificación de la investigación.

Según INEI en el región de Ucayali en el año 2016 la producción de cacao fue de 6,704 toneladas con una variación anual de 130.82% con respecto al año 2014 (INEI, 2016), ahora considerando que la cáscara representa aproximadamente el 79% de todo el fruto se asume que la cascara de cacao que no se aprovecha, podría ser empleado para la elaboración de carbón activado es de 52,961.6 toneladas aproximadamente una cantidad significativa para la posible industrialización de este residuo además se estima que la producción de cacao se elevara para el 2020 en un 27%. Lo cual no se trabajó con el cacao silvestre por la producción no es rentable teniendo un porcentaje de 10% (AGRARIA, 2015) y por tanto justifica la investigación en el desarrollo de estos trabajos de investigación.

Las características físico-químicas de la cáscara de cacao CCN - 51 son idóneas para la elaboración de adsorbentes ya que es rico en material celulósico como lo demuestra literatura científica, (AGRARIA, 2015) es decir que es una fuente opcional de carbón vegetal y por consiguiente también de carbón activado. Este trabajo pretende demostrar el uso de este adsorbente en la provincia de padre abad.

La ejecución de este trabajo fomentara la realización de trabajos semejantes, para así aprovechar los residuos agroindustriales, específicamente los del sector cacaotero de la provincia de padre abad. Se plantea una alternativa de aprovechamiento de este residuo orgánico que puede generar de esta forma un ingreso económico adicional al productor de esta fruta, a la vez se mitigaría en parte la contaminación ambiental que causa este sub producto al ser desechado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

Burgos y Jaramillo (2015), en el trabajo de investigación: Aprovechamiento de los residuos de Cacao y Coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas – Guayaquil – Ecuador. Se estudiaron el comportamiento de la temperatura (150, 200 y 250 °C) y tiempo (90, 120 y 150 minutos) en la calidad de adsorción del carbón activado de ambas materias primas. Partiendo desde 500 g en peso seco, se obtuvo un rendimiento de carbón activado de 36,8% a partir de las cascara de coco y de 30% a partir de la cascara de cacao. En función a los análisis de humedad, cenizas totales y densidad aparente, se obtuvo los siguientes resultados: coco 9,84%, 12,75 % y 0,40 g/ml respectivamente, cacao 15,41%, 27,12% y 0,23 g/ml y en carbón activado comercial 19,2%, 12,3% y 0,29 g/ml. En la prueba de adsorción con azul de metileno, la concentración del carbón activado de coco va disminuyendo conforme avanza el tiempo, mientras que en el carbón activado de cacao no hay mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas. Finalmente observamos que con el carbón activado comercial la concentración del azul de metileno disminuye considerablemente entre 1, 3 y 6 horas. Con los resultados de este trabajo se concluye que para ambas materias primas las mejores condiciones de tratamiento fueron a 200°C por 120 minutos; asimismo el carbón activado a partir de la cáscara de coco es mejor que el de cacao, presentando un mayor rendimiento y cumpliendo los requisitos de la Norma INEN 1991:24.

Grisales y Rojas (2016), en el trabajo de investigación: Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales. El carbón activado se obtuvo en un intervalo de 400 a 500 °C durante un tiempo de 60 minutos. Posteriormente secado en un horno a una temperatura constante de 110 °C por 24 horas. Posteriormente se obtuvo un rendimiento de 6.66% de carbón activado a partir de la pulpa de café. Se estudió el proceso de activación química con

ácido fosfórico (H_3PO_4), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e hidróxido de sodio (NaOH) al 40 y 20 % respectivamente. En función a los resultados obtenidos, expresados en porcentaje de remoción de carbón activado obtenido a partir de la pulpa de café: ácido fosfórico (H_3PO_4) al 40% (64,88 – 98,44) y 20% (54.96 – 97.95), ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 40% (55,82 – 83,27) y 20% (55,82 – 83,27) e Hidróxido de sodio (NaOH) al 40% (55,82 – 99.81) y 20% (59,15 – 98.58); comparado con el carbón comercial (71.32 – 99.7). Así mismo el mayor contenido de cenizas lo presento el carbón activado usando como activador NaOH 40% (17.98%), seguido por el NaOH 20% (15,978%), H_3PO_4 20% (14,28%), H3PO4 40% (13,99%) y carbón activado comercial (Aquakoal-k 70) (13,56%). El porcentaje de humedad fue mayor para el carbón activado mediante el uso de H_3PO_4 40% (3,96), NaOH 40% (2,75), NaOH 20% (2,34), H_3PO_4 20% (1,68) y carbón activado comercial (Aquakoal-k 70) (0,79). Se concluye que el carbón activado obtenido mediante de activación química de pulpa de café utilizando el ácido fosfórico al 40% como activador presenta los mejores porcentajes de remoción al alcanzar la condición de equilibrio estos valores son similares a los obtenidos en el tratamiento con carbón activado comercial, en estas condiciones de tratamiento el carbón activado obtenido usando ácido fosfórico 40% como activador nuevamente presenta los mejores porcentajes de remoción.

Cárdenas (2015) en el trabajo de investigación: Evaluación del Carbón Activado por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba). Se estudió la evaluación de carbón activado a partir del aserrín de copaiba; utilizando el método químico con ácido fosfórico y cloruro de Zinc al 85 % de concentración con un tiempo de activación constante de 240 minutos. Se evaluaron los carbones activados obtenidos, de acuerdo con las normas vigentes y la capacidad de adsorción con azul de metileno. En función a los resultados el carbón activado de mejor calidad de acuerdo con la evaluación es del cloruro de zinc, presentando las siguientes características fisicoquímicas: Humedad 5,97 %; Material volátil 20.52 %; Cenizas 0,20 %; Carbono fijo 74.53 %; pH 7,23; Densidad aparente 0, 15 g/cm3. Se concluye de acuerdo con los resultados obtenidos que se puede obtener carbón activado de buena calidad a partir del aserrín Copaiba y utilizando como

agente activante el cloruro de zinc, asimismo tiene la ventaja de poseer una capacidad de adsorción excepcional.

Arévalo y Reátegui (2019) en el trabajo de investigación: Calidad y rendimiento del carbón activado de la cáscara del fruto de calabaza *(Cucúrbita ficifolia)* obtenido por método químico. Se obtuvo carbón activado (CA) a partir de la cáscara de la calabaza *(Cucúrbita ficifolia Bouchë)* por activación química, usando ácido fosfórico (H_3PO_4 al 30 y 60%) y cloruro de zinc ($ZnCl_2$ al 1%) como agentes activantes. Estos tres grupos fueron sometidos a tres distintos tiempos de activación (45, 60 y 75 minutos) para obtener nueve tratamientos. Cada tratamiento se repitió por triplicado. Se halló el rendimiento, humedad y cenizas de los nueves tratamientos. Asimismo, se evaluó la capacidad de adsorción de azul de metileno. Se concluye en función a los resultados que el agente activante influye en la capacidad de adsorción del colorante. Los carbones activados obtenidos con ácido fosfórico adsorbieron alrededor del 95%; mientras que los otros alrededor del 90%. Los mejores resultados se consiguieron con el CA AF30-60, con un rendimiento de 42%, humedad 7,73% y cenizas 4,59%. Estos resultados sugieren que se podría promover el cultivo intensivo de la calabaza y el aprovechamiento integral de esta Cucurbitaceae, ya que su cáscara es un buen precursor para la obtención de carbón activado con un alto nivel de adsorción y, por lo tanto, un carbón activado de buena calidad.

2.2. Carbon activo.

2.2.1. El carbón en la historia.

El carbón activo fue utilizado en Inglaterra por primera vez en los años 1794, fue aplicada en la industria azucarera como blanqueador. Después de 60 años, se utilizaron los carbones como filtros de múltiples usos. Unos años más cerca de 1872, el carbón surge como un filtro para las máscaras que son usados en las industrias que evitan respirar compuestos tóxicos como el mercurio, el cual es usado en muchos procesos químicos en las industrias (León, 2012).

2.2.2. Generalidades.

Es conocido con muchos nombres, uno de ello es el carbón activado, el cual se refiere a una terminología muy común para describir a productos filtrantes y adsorbentes, estos materiales son cristalinos y con una porosidad significativa de acorde al trabajó a emplear. El carbón activo es un material muy común ya que posee micro poros de entre 2mm de radio, alta capacidad de adsorción de diversos materiales tóxicos, además de ser un excelente filtro para metales pesados, es un agente decolorante de aguas residuales, quita olores y turbidez (Reátegui, 2017).

2.3. Tipos de activantes.

2.3.1. Activación química.

Este tipo de activación química intervienen agentes como el cloruro de zinc, ácido fosfórico e hidróxidos de potasio, para que estos sean mezclados con el material que será el medio adsorbente, este tipo de activación se realiza por medio de la desecación del material, por lo general son vegetales, luego son impregnados con el agente químico a temperaturas de carbonización de entre 400 y 600 ºC, donde el agente químico se activara con la temperatura empleada (Obregón, 2012).

2.3.2. Activación física.

Este tipo de activación se realiza con gases de vapor de agua, oxígeno y el más usado el dióxido de carbono, también el que se usa con mayor frecuencia es el cloro, azufre, y amonio. Además de otras sustancias que tiene el mismo efecto, pero no son tan usados (Sánchez, 2018).

2.4. Agentes activantes químicos.

La activación química del carbón se desarrolla en una sola etapa, el cual consiste en someter a temperatura a atmosfera inerte una mezcla de dos

componentes, el material químico y el agente que será usado como adsorbente (material a carbonizar). Las sustancias más comunes en este tipo de activación son el cloruro de zinc, ácidos sulfúricos, fosfórico (Gullón, 1995).

2.4.1. Activación química con cloruro de sodio ($ZnCl_2$).

Durante los años 70 el cloruro de sodio fue el agente químico más empleado para la activación del carbón, para ello fue empleados compuestos ricos en materia celulósica. Hoy en día el uso de este agente es restringido por las emisiones que se generan al medio ambiente. En algunas partes del mundo aún está permitido el uso de este agente químico para la activación del carbón (Ledezma, 2013).

2.4.2. Activación química con (H_3PO_4.)

Este agente químico que se emplea para la activación del carbón entra en contacto con el material a mezclarse, este proceso se hidroliza los enlaces de glicolisis de los biopolímeros (celulosa, lignina y hemicelulosa) de esta manera es más fácil la deshidratación del material que será el adsorbente. El ácido que se menciona actúa como un medio catalizador que ayudara a romper los enlaces, formación de enlaces en el proceso de ciclación (1565 cm – 1 de los enlaces C=C lo evidencia) y procesos de condensación (Paredes, 2011).

2.4.3. Activación química con (KOH.)

Este método el cual se utiliza el hidróxido de potasio se desarrolló entre los años 70 para producir carbón es súper activos con algunas especificaciones técnicas de orden de 3,00 metros cuadrados sobre gramos a comparación con otro tipo de agente químico, fue uno de los agentes activantes más utilizados debido a su bajo costo y su bajo contenido en compuestos volátiles y a su gran contenido de carbono en comparación con otros minerales que se pueden obtener en el medio y que son de alto Rango. La activación del carbono con hidróxido de sodio se mezcla con el material a carbonizar en solución acuosa O mediante la remoción física las proporciones pueden estar

dispuestas entre 2:1 y 4:1. Cuando el medio es acuoso la activación se lleva a cabo en dos procedimientos las cuales son en atmósferas controladas e inertes al medio en primera instancia se expone a Baja temperatura como primer proceso hasta llegar a una temperatura de entre 800 a 900 ºC (Martínez, 1990).

2.5. Parámetros físicos del carbón activo.

2.5.1. pH.

Los carbones activados químicamente pueden poseer pH es de 5.5 hasta la neutralidad Qué es 8. Si el pH del Carbón es similar al del agua el cual se va a tratar no tendrá ningún efecto significativo utilizar este tipo de método para la purificación o clarificación del agua ya que el pH es similar. Pero cuándo es diferente el pH tendrá un papel importante para la clarificación y purificación de aguas residuales u otro tipo de materia líquido. En la industria hay diferentes tipos de carbonos activados Qué son para un trabajo en específico según el material que se va a trabajar (Villegas, 2015).

2.5.2. Humedad.

La humedad en el carbón activado es no tiene incidencia o no afecta en nada el poder de la absorción que puede llegar a poseer este tipo de materiales, pero si pueden dañar esta propiedad y las condiciones en las cuales se almacena no son las adecuadas y gana más humedad de lo que es permisible por normativa. Los carbones activos al estar en contacto con la humedad pueden absorber de hasta 25 a 30% en un periodo aproximado de 3 a 6 meses para ello se recomienda almacenar carbones activos en óptimas condiciones baja incidencia de humedad buen contenido de luz y en envases adecuados inertes (impermeables), un adecuado carbón puede llegar a tener hasta 8% de humedad (Niño y Ortiz, 2008).

2.5.3. Densidad aparente.

Una de las propiedades más importantes en cuanto a carbón activo se refriere es la característica física de densidad aparente de este componente, el tamaño de partícula y porosidad, el área superficial, y la pureza. La densidad indica la calidad del carbón, esto quiere decir que cuanto menos denso se el material tiene una mejor capacidad de adsorción, si esta estructura es porosa o similar a su densidad (Pineda, 2015).

2.5.4. Cenizas en carbón activado.

Es el residuo de materia mineral que queda después de la incineración de carbón inorgánico, bajo condiciones específicas. También puede aplicarse al residuo de la combustión, los materiales más utilízalos para la obtención de este tipo de productos en la agroindustria se usan los residuos de la materia prima inicial después de los procesos de transformación (Barrera, 2017).

2.5.5. Capacidad de adsorción.

La propiedad de adsorción de los carbones activados está delimitada por su naturaleza química y por su estructura porosa, ya que aquella estructura ostenta mínimas cantidades de heteroátomos como nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. Esto permite que el carbón activado conserva las sustancias polares sobre la superficie, ya que los átomos de carbono situados en los bordes de los planos muestran una gran actividad disponible (Parejo *et al.,* 2015), citado por (Reyes, 2021).

Según ITINTEC (1982), menciona que la capacidad de absorción del carbón activado para mover moléculas de una solución o un gas se cuantifica mediante pruebas de decoloración prescritas, entre las cuales tenemos como las más importantes a: prueba de azul de metileno, prueba de iodo, prueba de permanganato, adsorción de ácido (isoterma de freundlich) citado por (Alvarado y Alvarado, 2016).

El carbón activado es considerado un buen adsorbente en el control de contaminantes, tanto en fase acuosa como gaseosa, debido a su alta capacidad de adsorción, la que está relacionada con su bien desarrollada estructura porosa, área superficial específica y la presencia de un amplio espectro de grupos funcionales en su superficie. Para cumplir con este objetivo, los adsorbentes deben tener propiedades químicas específicas (Méndez, 2017).

2.5.6. Rendimiento del carbono activado.

El rendimiento de carbón activado es un parámetro muy importante debido a que nos permite conocer si el precursor y el método usado resultan económicos, dado que es deseable un proceso en que se obtenga la máxima cantidad de carbón activado por masa de precursor (Delgadillo, 2011), citado por (Manosalva, 2019).

2.6. Cacao (*Theobroma cacao* L.).

2.6.1. Generalidades.

El cacao es un árbol que posiblemente se originó en la Amazonía y que con el pasar de los años se extendió por toda América Central, así llego como el caso de México, las diferentes culturas predominantes en esa región cómo los Olmecas y los mayas empleaban el cacao como consumo y era denominado alimento de los dioses (Guaramán, 2007).

2.6.2. Origen del cacao CCN-51.

El clon de cacao CCN-51 fue desarrollado por el agrónomo Homero Castro tras aproximadamente treinta años de investigación en los cultivos de cacao del Alto Amazonas. Su trabajo se enfocó en la evaluación y el cruzamiento de diversos materiales genéticos, principalmente variedades trinitarias, con el objetivo de obtener un clon altamente productivo y con mayor resistencia a enfermedades como la escoba de bruja, la Ceratocystis y la moniliasis. Como resultado de numerosos ensayos experimentales, este clon fue identificado en la

localidad de Naranjal, en la hacienda Sofía, dando origen a la denominación Colección Castro Naranjal 51 CCN-51 (Crespo del Campo, 1997).

El clon de cacao CCN-51 es de origen ecuatoriano, el cual pertenece al grupo genético de varios cruces genéticos entre forasteros de las amazonas (IMC-67 Perú) y el trinitario (ICS-95 Trinidad y Tobago), además el cruce con una variedad forastera que se desconoce (Guamán, 2007).

2.6.3. Distribución geográfica del cacao.

Según se las literaturas geográficamente el cultivo de cacao está distribuido por toda América del Sur, entre las zonas trópicas y bosques húmedos del alto Amazonas, ubicadas al este de la cordillera de los Andes, en territorios pertenecientes a Colombia, Ecuador, Perú, Brasil y Venezuela. Se conoce en la actualidad que se extiende por todo el territorio de Brasil hasta México en zonas tropicales (Adriazola, 2003) (Citado por Vidal, 2013).

2.6.4. Taxonomía del cacao.

Según Enríquez (2003), el cultivo de cacao ha sido clasificado según se muestra en el siguiente Tabla de clasificación taxonómica:

Tabla 1. Descripción taxonómica del cacao (*Theobroma cacao* L.).

Reino	Plantae
División	Fanerógamas
Clase	Angiospermas
Subclase	Dicotiledóneas
Orden	Malvales
Familia	Esterculáceae
Genero	Theobroma
Sección	Eutheobroma
Especie	*Theobroma cacao L.*

Fuente: Enríquez (2003).

2.6.5. Morfología.

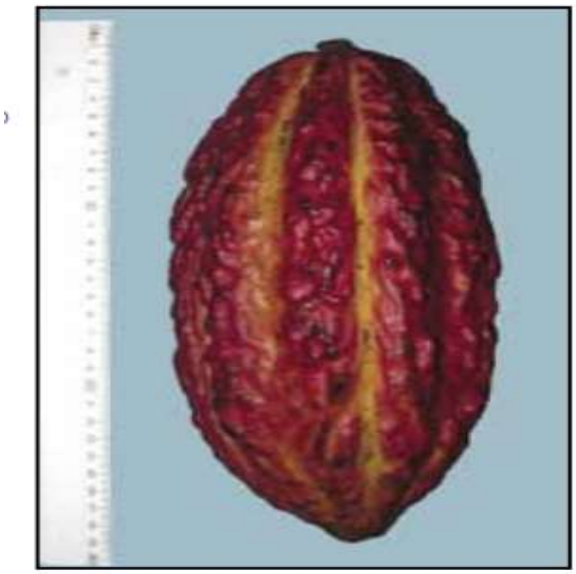
Según García (2010), indica que la clasificación morfología para el clon de cacao CCN-51 es la que se muestra a continuación:

Tabla 2. Características morfologías del cacao CCN-51.

Color en estado inmaduro	Rojo
Forma básica	Oblongo
Rugosidad	Fuerte
Grosor de la cascara	Intermedio
Separación de un par de lomos	Intermedio
Profundidad de surcos	Profundo
Tamaño del fruto	Grande

Fuente: García (2010).

Figura 1. Cacao CCN-51.



Fuente: García (2010).

CAPITULO III

METODOLOGÍA.

3.1. Lugar de ejecución.

El desarrollo de la presente investigación de realizó en los ambientes de la Universidad Nacional de Ucayali, el cual se ubica en la Carretera Federico Basadre Km 6.200 margen la izquierdo. Utilizando los laboratorios de Química y el laboratorio de Suelos de la facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Los análisis de laboratorio se desarrollaron en los ambientes de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.2. Materia prima.

Las cáscaras de cacao clon CCN-51 con el que se desarrolló el presente trabajo de investigación se obtuvo del fundo del Sr. Joel Espinoza Ambrosio, el cual se ubica en el distrito de San Alejandro Carretera Federico Basadre Km 130 margen derecho interior Km 4.3.

Figura 2. Mapa de ubicación del fundo.



Fuente: Captura de Google Earth (2022).

3.3. Reactivos, materiales y equipo de trabajo.

3.3.1. Reactivos.

Durante el presente trabajo de investigación se necesitaron los siguientes reactivos: ácido fosfórico al 85% de pureza, n-Hexano, solución de NaOH al 10%, ácido sulfúrico concentrado, ácido clorhídrico 0.1 N estandarizado, ácido bórico al 4%, cloruro de hierro, sulfato de níquel, dicromato de potasio, solución de NaOH 0.3 N, NaCl y sulfato de cobre.

3.3.2. Materiales de laboratorio.

Durante la extracción y análisis de trabajo se necesitaron los siguientes materiales: crisol de porcelana, pesetas, cuchillas, condensador para reflujo con sus mangueras, beaker 100 y 250 ml, balón de 250 ml y tapones, pinzas para crisol, espátula, cápsulas de porcelana, mortero y pilón, cajas Petri, tubos de ensayos, pipetas de 10 ml, pipetas de 1 ml y bureta de 25 ml.

3.3.3. Equipos de planta y laboratorio.

Los equipos necesarios en planta y el laboratorio durante el presente trabajo de investigación fueron: molino de martillo, horno vertical, espectrofotómetro, cocina eléctrica, balanza, termómetro, balanza electrónica y analítica.

3.4. Metodología experimental.

Para lograr la obtención del carbón activo a partir de la cáscara de cacao, se desarrolló en base al diagrama de bloques que a continuación se muestra (figura 3), el cual fue corregido mediante pruebas preliminares para obtener un óptimo proceso.

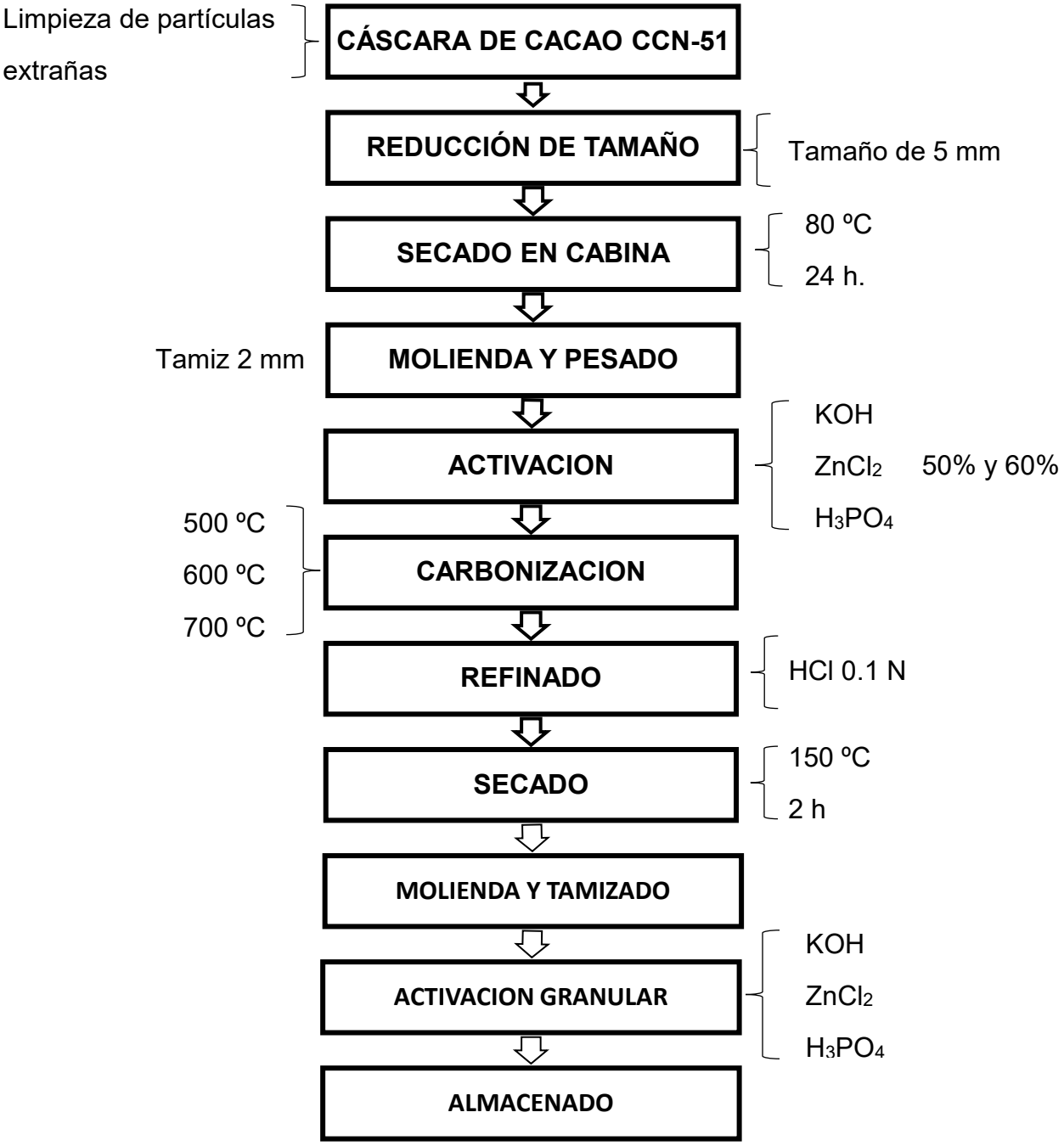


Figura 3. Diagrama de bloques para la obtención de carbón.

3.4.1. Recepción.

La cascara procedente del cultivo de cacao fueron trasladados en sacos directamente al área de trabajo para sus respectivos procesos.

3.4.2. Reducción de tamaño.

Con la ayuda de un cuchillo se procedió a una reducción de tamaño de la cascara de cacao para un mejor manejo durante su transformación. Esto con la finalidad de que obtenga un tamaño de 5mm.

3.4.3. Secado en cabina.

En este proceso la cascara fue sometido a temperatura de 80 ºC por un periodo de 24 h, con la finalidad de reducir al máximo el contenido de agua presente en la cascara. Se utilizo una cabina de secado para esta operación.

3.4.4. Molienda y pesado.

Luego de haber obtenido una cascara seca procedente del secador en cabina, se procede a la molienda para que de esta manera se obtenga partículas más pequeñas y así poder ser más eficaz al momento de pasar a través del tamiz. Se control el peso inicial para los cálculos próximos como rendimiento.

3.4.5. Activación química.

En este proceso se utilizó capsulas de porcelana que contenían las muestras de cacao y fueron llevadas a una mufla a temperaturas de 500, 600 y 700 ºC. se registraron cada dos horas, el proceso consiste en sacar cuidadosamente las capsulas y llevarlas a un desecador para que las muestras no ganen humedad del ambiente. Luego fueron llevadas a una estufa a temperatura de 100 ºC por un periodo de 1 h. Este proceso fue continuo hasta

que las muestras tengan un peso constante entre muestras. Este paso se realizó con la ayuda de los agentes activantes ya mencionados en el trabajo.

3.4.6. Carbonización.

Este proceso consiste en carbonización por pirolisis de las muestras obtenidas del proceso anterior las cuales son llevadas a temperaturas de 500, 600 y 700 ºC por 1h, el tiempo se controla a partir de la temperatura de pirolisis. Pasado el tiempo se esperará que la muestra llegue a una temperatura manipulable para ser llevada estufa con temperatura de 150 ºC durante 20 minutos.

3.4.7. Refinado.

Son adicionado agentes químicos como el ácido clorhídrico 0.1 N cuando los agentes activantes químicos son el cloruro de Zinc, hidróxido de potasio y ácido fosfórico. Luego se realiza el lavado de las muestras con la misma solución de ácido clorhídrico, luego enjuaga con abundante agua destilada.

3.4.8. Secado.

Este proceso consiste en llevar la muestra previamente lavada a un horno el cual está a una temperatura de 150 ºC por un periodo de 2 h para ser secado, de esta manera obtener un producto seco y absorbente.

3.4.9. Molienda y tamizado.

Con la ayuda de un mortero la muestra fue pulverizada empleando de esta manera un tamiz de 2 mm.

3.4.10. Activación granular.

El presente trabajo de investigación realizo medidas de 2 mm para el carbón granulado.

3.4.11. Almacenado.

Para este procedo se utilizó bolas de polietileno de alta densidad a una temperatura de 25 ºC para evitar que el producto contenido gane humedad del medio.

3.5. Métodos de análisis.

Las metodologías de análisis fisicoquímicos para el carbón activo obtenidos a partir del residuo de la cosecha del cacao fueron llevadas a cabo en los ambientes de la Universidad Nacional de Ucayali y la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Las metodologías de los análisis de humedad, cenizas, rendimiento y otros están descritos en los anexos.

3.6. Diseño estadístico a emplear.

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó el diseño estadístico completamente aleatorizado (DCA) con arreglo con tres factores de estudio, el cual se muestra a continuación:

$$Yijk = \mu + Pi + Mj + Yk\ (P \times M \times Y)\ ijk + Eijk$$

Dónde:

Yijk	:	Observaciones (variable dependiente)
μ	:	Efecto de la media general
Pi	:	Efecto de los activantes químicos
Mj	:	Efecto de las concentraciones de los activantes
Yk	:	Efecto de las temperaturas de activación
(P x M) ijk	:	Efecto de la interacción de los efectos principales
Eijk	:	Error experimental

3.6.1. Tratamientos en estudio.

A continuación, se muestra la distribución de los tratamientos en estudio, las cuales fueron tres activantes químicos, dos concentraciones de pureza y tres temperaturas de carbonización.

Tabla 3. Tratamiento es estudio.

Factor A (AQ)	Factor B (Conc.)	Factor C (ºC)	Repeticiones		
A_1 (H_3PO_4)	50%	500	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		600	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		700	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
	60%	500	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		600	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		700	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
A_2 ($ZnCl_2$)	50%	500	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		600	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		700	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
	60%	500	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		600	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		700	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
A_3 (KOH)	50%	500	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		600	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		700	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
	60%	500	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		600	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$
		700	$FA_1FB_1FC_1$	$FA_2FB_2FC_2$	$FA_3FB_3FC_3$

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.6.2. Herramientas estadísticas.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del carbón activo fueron analizados estadísticamente bajo el software STATGRAPHICS

CENTURION XVI.I. Las diferencias entre los tratamientos en estudio fueron comparados a través de las pruebas de varianzas, y la prueba de comparación múltiple de Tukey, a un nivel de confianza de 95% y a un Pv de ≥ 0.05.

3.6.3. Nivel de la investigación.

Esta es una investigación experimental aplicada, porque se pone en estudio múltiples variables por parte del investigador. Además, intervienen variables respuestas que serán analizadas para responder a las hipótesis según se plantea la investigación.

3.6.4. Población y muestra.

Población.

Las cascaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad clon CCN-51 con la que se trabajó la investigación se obtuvo del distrito de San Alejandro ubicado en el Km 130 de la carretera Federico Basadre.

Muestra.

Se obtuvo un total de 50 k de cascara procedente del fundo del Sr. Joel Espinoza Ambrosio que se ubica en el distrito de San Alejando interior km 4.300, este fundo cuenta con más de 15 ha de cacao.

3.7. Variables de estudio.

3.7.1. Variables independientes.

La presente investigación se muestra tres variables de estudio como se muestras en la siguiente;

F_1: diferentes agentes activantes químicos (KOH, $ZnCl_2$ y H_3PO_4).

F_2: diferentes concentraciones de aplicación (50% y 60%).

F_3: diferentes temperaturas de activación (500, 600 y 700 ºC).

3.7.2. Variables dependientes.

Están sujetas a los análisis fisicoquímicos del carbón activo, estos análisis o variables respuestas son: pH, cenizas, capacidad de absorción, densidad aparente, humedad y rendimiento).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados de las propiedades fisicoquímicas del carbón activo.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del carbón activo obtenido a partir de la cascara de cacao variedad CCN-51, con tres agentes activantes químicos como el ácido fosfórico (H_3PO_4), cloruro de zinc ($ZnCl_2$) e hidróxido de potasio (KOH), dos concentraciones de los activantes (50% y 60%) y tres temperaturas de carbonización (500º, 600º y 700 ºC), sobre las propiedades fisicoquímicas de cenizas, CAAM, densidad aparente, humedad y otros. Según los resultados de varianza indican que existen diferencias entre los tratamientos en estudio, por lo que se realiza la prueba de comparación múltiple de Tukey.

4.1.1. Resultados de humedad.

Los resultados que se obtuvieron para la variable respuesta de humedad del carbón activo con diferentes tipos de activantes químicos, diferentes concentraciones y tres temperaturas de carbonización, se pasó a través del estadístico el cual se empleó en diseño completamente aleatorizado con arreglo de tres factores. El Tabla de análisis de varianza se puede apreciar en el anexo (23A) donde indican que existen diferencias significativas entre los tres factores de estudio FA, FB y FC. Pero en la interacción de estos factores no se encontraron diferencia alguna a Pv de < 0.05, por ende, se aplica una prueba de comparación múltiple de Tukey para los efectos principales.

En Tabla 4, se observa que al utilizar como medio activante diferentes agentes químicos para la obtención de carbón activado a partir de la cascara de Cacao (*Theobroma cacao* L), la humedad expresada en porcentaje (%) varía entre ellas en un rango aproximado de +/- 0.84 (%); asimismo al emplear $ZnCl_2$ (Cloruro de Zinc) a una concentración de 50% y a una temperatura de carbonización de 700 °C, se reportan los valores más bajos, considerando un criterio estadísti . . es reportados de KOH (Hidróxido

de Potasio) y H_3PO_4 (Ácido Fosfórico) en función a los efectos principales, son los más altos con una variación de +/- 0.11 (%) entre las dos mencionadas.

Tabla 4. Humedad del carbón en (%).

Efectos Principales (*)					
Agente Activante		**Concentración**		**Temperatura (°C)**	
$ZnCl_2$	11.890 [a]	50%	12.324 [a]	700 ºC	11.948 [a]
KOH	12.620 [b]	60%	12.503 [b]	600 ºC	12.252 [b]
H_3PO_4	12.730 [b]			500 ºC	13.041 [c]

(*): Valor promedio de repeticiones de la variable humedad en (%).
[a,b,c]: letras diferentes indican diferencias a $p<0.05$.

4.1.2. Resultados de densidad aparente.

Los resultados que se obtuvieron para la variable respuesta densidad aparente del carbón activo se analizaron a través del estadístico, el cual se empleó en diseño completamente aleatorizado con arreglo de tres factores. El Tabla de análisis de varianza se puede apreciar en el anexo (24A) donde indican que existen diferencias significativas en un solo factores de estudio FA. Tampoco se encontraron diferencias en la interacción de estos factores, por ende, se aplica una prueba de comparación múltiple de Tukey solo para el FA.

En el Tabla 5, se puede apreciar que al utilizar diferentes activantes químicos en la obtención de carbón activo, la densidad aparente del carbón el cual se expresa en (g/cm^3), varían con una desviación de media entre los diferentes activantes de +/- 0.04. Teniendo como menor valor al KOH (Hidróxido de Potasio) con valores de media de 0.483, seguido de $ZnCl_2$ (Cloruro de Zinc) con 0.534 y como valores máximos al H_3PO_4 (Ácido Fosfórico) con valores repostados de 0.551. Solo se encuentran diferencias en el factor agente activante más no en los demás factores como son; diferentes concentraciones y diferentes temperaturas empleadas.

Tabla 5. Densidad aparente del carbón en (g/cm^3).

Efectos principales		
Agente activante	**Repeticiones**	**Media (*)**
KOH	3	0.483 [a]
$ZnCl_2$	3	0.534 [b]
H_3PO_4	3	0.551 [b]

(*): Valores promedio de repeticiones de la variable densidad aparente en (g/cm^3).
[a,b,c]: Las letras diferentes indican diferencias a $p<0.05$.

4.1.3. Resultados de pH.

Los resultados que se obtuvieron para la variable respuesta pH del carbón activo se analizaron a través del estadístico, el cual se empleó en diseño completamente aleatorizado con arreglo de tres factores. El Tabla de análisis de varianza se puede apreciar en el anexo (25A) donde indican que existen diferencias significativas solo entre los factores de estudio FA y FB. Así mismo se encontraron diferencias en la interacción de estos dos factores, por ende, se aplica una prueba de comparación múltiple de Tukey.

En el Tabla 6, se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre los factores de agente activante y las concentraciones a emplear para la obtención del carbón activo a partir de la cascara de Cacao *(Theobroma cacao L),* la cantidad de pH presente posee una desviación de media de +/- 0.73 entre los agentes activantes a emplear, reportándose los valore para el H_3PO_4 (Ácido Fosfórico) con media de 6.46 y a concentración de 60% con 6.907 siendo estos dos los valores más bajo. Seguido del KOH (Hidróxido de Potasio) y el $ZnCl_2$ (Cloruro de Zinc) con valores de 6.838 y 7.508 respectivamente, así mismo al emplear estos agentes activantes a una concentración de 50% se obtendrá valores de 6.97.

Tabla 6. pH del carbón.

Efectos Principales (*)			
Agente Activante		**Concentración**	
H_3PO_4	6.469 [a]	60%	6.907 [a]
KOH	6.838 [b]	50%	6.971 [b]
$ZnCl_2$	7.508 [c]		

(*): Valores promedio de repeticiones de la variable pH.
[a,b,c]: Las letras diferentes indican diferencias a $p<0.05$.

4.1.4. Resultados de cenizas.

Los resultados que se obtuvieron para la variable respuesta ceniza del carbón activo se analizaron a través del estadístico, el cual se empleó en diseño completamente aleatorizado con arreglo de tres factores. El Tabla de análisis de varianza se puede apreciar en el anexo (26A) donde indican que existen diferencias significativas entre los factores de estudio FA y FC. Así mismo se encontraron diferencias en la interacción de estos factores FAB, FAC y FABC, por ende, se aplica una prueba de comparación múltiple de Tukey.

En el Tabla 7, se aprecia que solo existen diferencias entre dos factores como los agentes activantes y las diferentes temperaturas empleadas. Obteniéndose valores más bajos para el $ZnCl_2$ (Cloruro de Zinc) con medias de 21.575 y a una temperatura de 700 ºC con medias de 22.651, seguido del KOH (hidróxido de Potasio) con una media de 23.645 a una temperatura de 600 ºC con media de 23.102 y por último el H_3PO_4 (Ácido Fosfórico) con medias superiores a 24.804 y a una temperatura de 500 ºC con medias de 24.271. Estos valores para la variable respuesta de cenizas para la obtención de carbón activo de cacao están expresadas en (%).

Tabla 7. Cenizas del carbón en (%).

Efectos principales (*)			
Agente Activante		**Temperatura**	
$ZnCl_2$	21.575 [a]	700 ºC	22.651 [a]
KOH	23.645 [b]	600 ºC	23.102 [b]
H_3PO_4	24.804 [c]	500 ºC	24.271 [c]

(*): Valores promedio de repeticiones de la variable cenizas en (%).
[a,b,c]: Las letras diferentes indican diferencias a $p<0.05$.

4.1.5. Resultados de CAAM en (%).

Los resultados que se obtuvieron para la variable respuesta CAAM del carbón activo se analizaron a través del estadístico, el cual se empleó en diseño completamente aleatorizado con arreglo de tres factores. El Tabla de análisis de varianza se puede apreciar en el anexo (27A) donde indican que existen diferencias significativas entre los factores de estudio FA y FC. Así mismo se encontraron diferencias en la interacción de estos factores FAC, por ende, se aplica una prueba de comparación múltiple de Tukey.

En el Tabla 8, se observa que al utilizar como medio para la activación del carbón activo de cacao (Theobroma cacao L), con diferentes agentes químicos, la capacidad de absorción por azul de metileno el cual se expresa en (%) varían de acuerdo con la desviación de media de +/- 4.32, indicando de esta manera que existen diferencias estadísticamente significativas entre los agentes químicos de activación. De esta manera se obtuvo los valores más bajo para H_3PO_4 (Ácido Fosfórico) con media de 44.197 a temperatura de 600 ºC con valores de 48.464. Seguido de KOH (hidróxido de Potasio) con medias de 48.691 y a temperatura de 700 ºC con media de 48.556. Por último, $ZnCl_2$ (Cloruro de Zinc) con medias mayores a 52.828 y a temperatura de 500 ºC con media de 48.695.

Tabla 8. CAAM del carbón en (%).

Efectos principales (*)			
Agente Activante		**Temperatura**	
H_3PO_4	44.197 [a]	600 ºC	48.464 [a]
KOH	48.691 [b]	700 ºC	48.556 [ab]
$ZnCl_2$	52.828 [c]	500 ºC	48.695 [b]

(*): Valores promedio de repeticiones de la variable CAAM en (%).
[a,b,c]: Las letras diferentes indican diferencias a p<0.05.

4.1.6. Resultados de rendimiento.

Los resultados que se obtuvieron para la variable respuesta rendimiento del carbón activo. El Tabla de análisis de varianza se puede apreciar en el anexo (28A) donde indican que existen diferencias significativas en un solo factor de estudio FA. Así mismo se encontraron diferencias en la interacción del factor FAC, por ende, se aplica una prueba de comparación múltiple de Tukey.

En el Tabla 9, se puede apreciar que solo existen diferencias estadísticamente significativas para los activantes y no en los demás factores de estudio. Siendo valores más bajos para el carbón activo el H_3PO_4 (Ácido Fosfórico) con media de 4.586, seguido de $ZnCl_2$ (Cloruro de Zinc) con media de 4.604 y por último KOH (hidróxido de Potasio) con media de 4.726.

Tabla 9. Rendimiento del carbón en (%).

Tratamientos	Repeticiones	Media *
H_3PO_4	3	4.586 [a]
$ZnCl_2$	3	4.604 [a]
KOH	3	4.726 [b]

(*): Valores promedio de repeticiones de la variable rendimiento.
[a,b,c]: Las letras diferentes indican diferencias a p<0.05.

CAPÍTULO V

DISCUSIONES

5.1. Análisis fisicoquímicos del carbón activo de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Se utilizó diferentes agentes químicos, diferentes concentraciones de aplicación y tres temperaturas para la carbonización. Con la finalidad de apreciar si estos factores de estudios tienen alguna incidencia directa sobre las posibles variables respuestas.

5.1.1. Humedad expresada en (%).

Los valores promedios en cuanto a la variable humedad la cual se expresa en porcentajes (%) de carbón activo a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo las normativas correspondientes de especificaciones de calidad y reactivación del carbón activo. En este sentido los valores correspondientes se encuentran dentro de los parámetros indicados por ASTM (2017) H% 2 A 15, INEN (1995) H% 2 A 15, ASTM (2013) H% 2 A 15, NTP 311.331:1998 (2018) H% 2 A 15, AWWA (2018) H% 2 A 15.

Así mismo Burgos y Jaramillo (2015), reportan valores de 15.41% de humedad; resultados que aun considerando el .41% están dentro de las especificaciones de calidad de acuerdo con la normativa vigente; sin embargo, difieren de los valores reportados en el presente trabajo de investigación, los cuales se encuentran dentro de los rangos de acuerdo a normativa. Por su parte Grisales y Rojas (2016), reportan valores de 3.96% de humedad, esta razón se puede estar justificado por el uso de tecnologías mucho más variables que asocian los parámetros de calidad y las buenas prácticas de proceso. También Cárdenas (2015), reportó valores de 5.97% en este sentido los valores están dentro de los parámetros específicos de calidad de carbón activo. En base a estos resultados también se puede afirmar que el agente activante influye la

concentración y la temperatura de carbonización influyen en la humedad expresada en porcentaje.

5.1.2. Densidad aparente expresada en (g/cm^3).

Según ASTM D2854-09 (2019), norma internacional que regula parámetros y especificaciones que deben cumplir los carbones activados dependiendo el uso a emplear o la aplicación que se le dé a estos, esta normativa indica que para los parámetros de densidad aparente para carbón activo debe tener rangos de 0.25 a 0.63 expresados en g/cm^3. Lazo (2015), hace mención en su trabajo de investigación valores para la densidad aparente del carbón activado a partir de la corteza del coco reportando 0.48 g/cm^3 estando estos valores dentro de la normativa internacional.

En el presente Trabajo de investigación se obtuvo carbón activo a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), obteniendo valores en cuanto a los activantes químicos para el hidróxido de potasio, cloruro de zinc y ácido fosfórico, reportándose los siguientes valores 0.48 3 0.53 4 y 0.551 respectivamente. Estos valores son expresados en g/cm^3. Con los mencionados por los autores y las normas técnicas empleadas se puede afirmar que los agentes activantes químicos influyen de manera directa sobre las variables respuestas de densidad aparente.

5.1.3. pH.

Según ASTM D3838-05 (2017), norma internacional qué regula estándares de calidad y parámetros para carbón activo granulado indica que se deben encontrar en rango de 5 a 8. Por su parte Coronado *et al.,* (2016), en su trabajo de investigación obtuvo carbón activo a partir del endocarpio de la shapaja *(Attalea phalerata)* reportando valores de neutralidad para el pH siendo el carbón activo en forma granular y en polvo.

Norma Técnica Peruana (2017), indica que los carbones obtenidos a partir de las cortezas sólidas deben poseer un pH entre 5.5 a 8, corroborando

así lo mencionado por la norma técnica internacional ASTM D3838-05. En el presente trabajo de investigación se reportó valores para los siguientes agentes activantes químicos; ácido fosfórico 6.469, hidróxido de potasio 6.838 y cloruro de zinc valores de 7.508. Todos estos datos se trabajaron a concentración de 50% y 60% con desviación de media ± 0.05. Con los datos obtenidos en el presente Trabajo de investigación indican que los datos para la variable respuesta de pH están dentro de los rangos permitidos por las normas para la obtención y uso de Carbón activo.

5.1.4. Cenizas expresado en (%).

Los valores promedios de ceniza expresadas en porcentaje de carbón activo a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo las normativas correspondientes de especificaciones de calidad y reactivación del carbón activo. En ese sentido los valores correspondientes de contenido de cenizas encuentran por encima del rango establecido para carbones activos comerciales es decir por encima de 15% como lo indica la ASTM (2017) 3 a 15%, ASTM (2013) 2 a 15%, E ITINTEC (1982) 2 a 15%.

Así mismo Burgos y Jaramillo (2015), reportan valores de la cáscara de cacao 21.12% y cáscara de coco 12.75%, a esto se suma Arévalo y Reátegui (2019), reportan valores de ceniza de la cáscara de calabaza 4.59% estos resultados difieren de los encontrados en el presente trabajo de investigación, al respecto Coronado *et al.,* (2016), indica que dichas causas podrían estar relacionadas probablemente a diversas reacciones químicas favorecidas con el tiempo de contacto entre el material carbonoso y el contenido de volátiles retenidos. En ese mismo contexto Carrillo (2015), señala que la presencia de ceniza significa que existen impurezas. Mientras mayor es su porcentaje, menor es la efectividad de adsorción del carbón activo. Igualmente, Gratuito *et al.,* (2008), indica que, a mayor contenido de cenizas, la capacidad de absorción del carbón activo suele disminuir por lo tanto se recomienda usar carbón activo con bajo contenido de cenizas.

5.1.5. CAAM expresado en (%).

Así mismo en el Tabla 13, Arévalo y Reátegui (2009), reportan una capacidad de absorción de azul de metileno expresado en porcentajes (ADS%) activado de la cáscara de calabaza 95% para el ácido fosfórico y cloruro de zinc 90%, por su parte Sánchez (2018), en reporta valores para el ácido fosfórico de 95%, sin embargo, los valores reportados en el presente trabajo de investigación difieren a los resultados a los reportados por los dos primeros autores. Analizando los resultados de absorción de azul de metileno, los valores son cercanos. Por otra parte, se puede señalar que, las capacidades de absorción de los CA con ácido fosfórico son bajos y en cloruro de zinc son altas, estadísticamente hablando, lo que pone en manifiesto según lo indica Solís Fuentes *et al.,* (2012), quienes concluyeron que la gente activante influye significativamente en la capacidad de absorción de azul de metileno. Así mismo los porcentajes obtenidos en el presente trabajo de investigación discrepan de lo mencionado por Moreno y Piraján (2007) quienes señalan que los CA menos ácido o ligeramente básicos, tendrán a absorber compuestos ácidos, como el azul de metileno debido a la atracción de cargas opuestas, no obstante, los CA obtenidos con ácido fosfórico presentan un mayor porcentaje de absorción que los obtenidos con el cloruro de zinc.

Al respecto Solís Fuentes *et al.,* (2012), indica que los CA obtenidos con ácido fosfórico presenta una mayor capacidad de mesoporos que los CA obtenidos con cloruro de zinc, por lo que la absorción del azul de metileno se debería principalmente a los mesoporos más que al PH. Bajo este concepto Tan *et al.,* (2008), pone en manifiesto que la absorción de azul de metileno es un indicador de la capacidad de adsorción de azul de metileno de gran tamaño que permite determinar si el carbón activo obtenido es adecuado para la eliminación de contaminantes orgánicos y colorantes; en consecuencia, para un tiempo de absorción de 80 minutos, se puede afirmar que utilizando como agente químico del cloruro de zinc podría ser utilizados, debido a su capacidad de adsorción superior al 50% para el azul de metileno.

5.1.6. Redimiendo expresado en (%).

Así mismo Burgos y Jaramillo (2015), reportan valores de la cáscara de cacao 30% y la cáscara de coco 36.8%, a esto se suma Arévalo y Reátegui (2019), reportan rendimiento del carbón activo de la cáscara de calabaza 36.58%, por su parte Sánchez (2018), reporta valores de 52.43%, indicándose que los mismos fueron trabajados bajó 500 g de muestra, al realizar semejanzas de este peso en porcentaje, los valores reportados en la presente investigación son similares a los reportados por los dos primeros autores más no así en el último. Al respecto a la FAO (1983), señala que un buen carbón vegetal puede presentar un valor de rendimiento aproximado en funciona una temperatura de carbonización a 500 ºC, se encuentra alrededor del 30%. Por su parte hasta Azañero (1988) señala que el rendimiento decrece con el incremento de la temperatura y el tiempo de activación; por ellos Zamora (2010), confirma que los reactivos químicos utilizados influyen significativamente en el rendimiento.

5.1.7. Comparativo del carbón obtenido / carbón comercial Megapol E.

En el Tabla 15, se puede observar que el uso de carbón activo Megapol E, son más eficientes con intervalos de 37.70% y 48.51% más, con respecto a los valores reportados con los agentes activantes químicos utilizados. En el presente trabajo de manera estadística quién presenta mejor capacidad de absorción de azul de metileno (ADS%) fue el cloruro de zinc en concentración de 60% y sometido a una temperatura de 500 ºC de carbonización con valor promedio 52.83%. De todo lo mencionado se desprende, de acuerdo con Ramírez (2009), que indica que las distintas propiedades del carbón activo son evaluadas a través de métodos analíticos normalizados por diversas asociaciones, aplicados para estandarizar y permitir al usuario comparar las especificaciones de diversos carbones. Sin embargo, Schaeffer (2003), pone de manifiesto que se debe de tener en cuenta que no hay un solo tipo de carbón activo que sea el mejor para todas las aplicaciones.

Tabla 10. Comparativo del carbón activo de la cascara de cacao *(Teobroma cacao* L.) CCN51 frente al carbón comercial Megapol E.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable Respuesta - Capacidad de Absorción AM (%)	Megapol E - Capacidad de Absorción AM (%)	Diferencias (%)
A_1 H_3PO_4	B_1 50	C_1 500	44.60	91.56	46.96
		C_2 600	43.94	92.45	48.51
		C_3 700	44.25	92.44	48.19
	B_2 60	C_1 500	44.66	90.45	45.79
		C_2 600	43.83	91.25	47.42
		C_3 700	43.92	92.45	48.53
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_1 500	52.39	90.77	38.38
		C_2 600	52.56	90.26	37.70
		C_3 700	53.06	90.47	37.41
	B_2 60	C_1 500	53.24	91.66	38.42
		C_2 600	52.71	92.54	39.83
		C_3 700	53.01	93.45	40.44
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	48.66	92.15	43.49
		C_2 600	48.88	91.11	42.23
		C_3 700	48.80	90.09	41.29
	B_2 60	C_1 500	48.63	92.18	43.55
		C_2 600	48.87	91.46	42.59
		C_3 700	48.30	91.32	43.02

H_3PO_4 = ácido fosfórico.
$ZnCl_2$ = cloruro de zinc.
KOH = hidróxido de potasio.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se logró llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se logró la obtención de carbón activo con medidas granuladas de 2 mm por método químico, con tres agentes activantes como: ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de sodio (KOH) y cloruro de zinc ($ZnCl_2$) al 50% y 60% de concentración, a temperaturas de carbonización de 500, 600 y 700 ºC, a partir de la cascara de cacao *(Theobroma cacao* L.*)* clon CCN51.

2. El mejor tratamiento para la obtención de carbón a partir de la cascara de cacao *(Theobroma cacao* L.*)* clon CCN51 fue el agente químico cloruro de zinc ($ZnCl_2$) al 50% de concentración y a temperatura de carbonización de 500 ºC; debido a que presenta una buena capacidad de adsorción de azul de metileno (ADS%) y cumple en características de humedad, densidad aparente según la normativa ASTM (Amerian Society for Testing and Materials).

3. La comparativa con respecto al carbón activo obtenido de la cascara de cacao y el carbón comercial Megapol E, el carbón comercial presenta una mejor capacidad de adsorción de azul de metileno (ADS%) con un promedio de 90.77%, con respecto al mejor tratamiento, cloruro de zinc ($ZnCl_2$) con 53.24% bajo condiciones planteadas en el presente trabajo.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

De acuerdo con el presente trabajo de investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda la elaboración de Carbón activado por el método químico con el agente activante cloruro de zinc al 50% de concentración y a una temperatura de carbonización de 500 grados centígrados a partir de la cáscara de cacao *(Theobroma cacao* L.*)* ya que presenta mejores características fisicoquímicas.

2. Realizar trabajos de investigación en carbón activo con otras materias primas como residuos ya que son sub productos que serán de utilidad.

3. Realizar análisis fisicoquímico de la materia prima inicial en materia seca, así mismo se recomienda utilizar concentraciones más elevadas de los agentes químicos para mejores resultados.

4. Se recomienda realizar trabajos de investigación con dos métodos de activación del carbón activo (físico y químico) para realizar una comparativa entre ambos métodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Adriazola, J. 2003. Producción det atimento de tos dioses. Tesis Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tingo maria, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 1–81.

Arévalo, F. H; Reátegui, K. 2019. Calidad y rendimiento del carbón activado de la cáscara del fruto de calabaza *(Cucurbita ficifolia)* obtenido por método químico. Revista forestal del perú, 35(1), 21–30.

Alvarado Obeso y Alvarado Alvarado. 2016. Influencia de la temperatura de impregnación del azufre elemental sobre carbón activado, en la absorción del Mercurio (II). Tesis en Ingeniería Química. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo.

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2017. D2867-17. Métodos de prueba estándar para la humedad en carbón activado. Astm international, west conshohocken, Pa. H

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2013. Standard test method for chemical analysis of wood charcoal. Astm d1762- 84. West conshohocken, EEUU. 2 p.

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2019. Standard test method for apparent density of activated carbon, astm international, West Conshohocken, Pa.

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2017. Standard test method for ph of activated carbon, astm international, West Conshohocken, Pa.

AWWA (American Water Works Association). 2018. Carbón activado granular. Denver, Co 80235 EE.UU.

Azañero, I. 1988. Obtención de carbón a partir de la madera de algarrobo *(Prosopis pallida)* mediante método físico. Tesis de Ingeniero en Industrias

Alimentarias. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Barrera. 2017. Determinación y análisis del efecto de los diferentes tipos de Oxidación sobre las propiedades plásticas del carbón. Tesis en ingeniería metalúrgica. Tunja, Colombia. Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Burgos, G,Ee.; Jaramillo,J, l. 2015. Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón milagro, provincia del guayas. Trabajo de grado. Guayaquil, Ecuador. Química y farmacéuticas. Facultad de ciencias químicas. Universidad de guayaquil.. 1–78.

Cárdenas, H. 2015. Evaluación del carbón activado por el método químico con cloruro de zinc y acido fosfórico a partir del aserrín de *Copaifera reticulata* (Copaiba). Tesis de grado. Pucallpa, Perú. Ingeniería forestal. Facultad de ciencias forestales y ambientales. Universidad Nacional de Ucayali. 1–129.

Carrilo, J. 2015. Carbón activado. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de carbonectia: http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-elcarbon-activado/.

Coronado, M. Del C., Cueva, G., Gonzales, H., Carrasco, P. (2016). Obtención de carbón activado del endocarpio de shapaja *(Attalea phalerata)* procedente de la región san martín, empleando un método físico. Revista forestal del Perú. 31 (2).90-103.

Crespo del campo, E. 1997. Cultivo y beneficio del cacao CCN51. 1 ed. Quito, Ecuador. El conejo.

Daniel, O. 2012. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna. Tesis lic. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 1–109.

Enrríquez, A. 2003. Curtívo rímpío (ecorógíco) Cfer cacao, con míras a ra certificación. Guía para productores ecuatorianos. Quito, Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1–244.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio fao: montes 41.

García, I. 2010. Catálogo de cultivares de cacao del perú. Ministerio de agricultura. Direccion general de competitividad agraria. 1 ed. Lima, Perú. 57–112.

Gratuito, M, K; Panyathanmaporn, T; Chumnanklang, R, A; Sirinuntawittaya, N; Dutta, A. 2008. A production of activated carbon from coconut shell: optimization using response surface methodology. Journal of bioresource technology, 99(11):488.

Grisales, A, I., Rojas, W. 2016. Obtención de carbon activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales. Trabajo de grado. Pereira, Colombia. Programa de tecnologia química. Facultad de tecnología. Universidad Tecnologica de Pereira. 1–113.

Guamán, C. 2007. Estudio de factibilidad para el cultivo de cacao 51 en la parroquia cristóbal colón de la ciudad de santo domingo de los colorados y su comercialización. Tesis Ingeniria. Quito, Ecuador. Escuela Politecnica Nacional. 1–205.

Gullon, I. 1995. Diseño, construcción y operación de una planta piloto para la obtención de carbones activados. Tesis Doctorado. Alicante, España. Universidad de Alicante. 1–185.

INEN (NORMA ECUATORIANA NTE). 1995. NTE INEN 1991:94. Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial.

ITINTEC (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA Y NORMAS TÉCNICAS). 1982. Patente no 207.024. Peru.

Kevin, R. 2017. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza (Curcubita ficifolia bouchë). Tesis Ingenieria. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 1–91.

Lazo, R. 2015. Operaciones y procesos para la producción de carbdn activado a partir de la cáscara de coco. Tesis Ingenieria. Lima, Perú. Universidad Nacional del Callao. 1–126.

Ledezma, B. 2013. Regeneración de carbones activados mediante tratamientos térmico / gasificación y oxidación húmeda. Aplicación en ciclos de adsorción. Tesis Doctorado. Badajoz, España. Universidad de Extremadura. 1–178.

Manosalva, f. 2019. Determinación de las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido de la cascara y semilla de moringa *(Moringa oleífera).* Tesis en Ingeniería Química. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Marcelo, l. 2012. Planta de producción de carbón activado de cáscaras de nueces, para aplicaciones en hidrometalurgia del oro. Tesis Ingeniria. Valparaiso, Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 1–578.

Martínez, J. 1990. Adsorción física de gases y vapores por carbones. Alicante, España. Universidad de Alicante. 1–116.

Méndez p. 2017. Desarrollo y caracterización analítica de un material con propiedades adsorbentes a partir de carbón mineral de las minas de Lebu: Capacidad de adsorción de Trimetilamina en matrices acuosas y comportamiento electroquímico. Tesis Doctorado en Tecnología analítica. Concepción, Chile. Universidad de Concepción.

Moreno piraján, JC; Navarrete, IF; Giraldo, I; García, V. 2007. Adsorción de fenol y 3-cloro fenol sobre carbones activados mediante calorimetría de inmersión. Revista de información tecnológica 18(3):71- 80.

Niño, I. Ortíz, D. 2008. Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones. Tesis Ingeniria. Bogotá, Colombia. Universidad de la Salle. 1–130.

NORMA TÉCNICA PERUANA. 2017. NTP 207.024:1982, carbón activado usado en la industria azucarera y otros productos edulcorantes - requisitos generales.

NORMA TECNICA PERUANA. 2018. NTP 311.332:1998. Carbonato de sodio para tratamiento de agua para consumo humano. Requisitos. 1ra ed.. Reemplaza a la ntp 311.332:1998.

Paredes, A. 2016. Estudio de la adsorción de compuestos aromáticos mediante carbón activado preparada a partir de la cáscara de castaña. Tesis Licenciatura. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 1–118.

Pineda, M. 2015. Diseño de una planta para desorción de carbón activado por el método zadra, en sominur cía. Ltda. Ubicada en el distrito minero bella rica. Tesis Ingeniria. Machala, Ecuador. Universidad Técnica de Machala. 1–75.

Ramírez, C. 2009. El carbón activado para el tratamiento del agua. Tesis Ingeniria. Químico. Hermosillo, México, universidad de Sonora.

Sánchez, C. 2018. Caracterización de carbon activado a partir de bambú “guadua angustifolia kunth” utlizando el método químico. Trabajo de grado. Ingeniería forestal. Lima, Perú. Facultad de ciencias forestales. Universidad Nacional Agraria la Molina.. P. 1 -97.

Schaeffer, K. 2003. Carbón activado: magia negra para tratamiento de agua. Agua latinoamérica 3 (5). Consultado enero 2012. Disponible en: http:/

www.agualatinoamerica. Com/docs/pdf intermedio.pdf.

Solís fuentes, J; Morales Téllez, M; Ayala Tirado, R; Durán de bazúa, M. 2012. Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. Revista de tecnología, ciencia, educación 27(1):36-48.

Tan, IA; Ahmad, AL; Hameed, B. 2008. Adsorption of basic dye on high surface area activated carbon prepared from coconut husk: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Journal of hazardous materials 154(1- 3):337-346.

Vargas, Y., Pérez, I. 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. Revista facultad de ciencias básicas. 14(1), 59.72.

Vidal, J. 2013. Efecto del aromatizado con hierba luisa (cymbopogon citratus staph) y cáscara de naranja (Citnls sinensis l) durante el fermentado y secado de cacao (Theobroma cacao l) CCN-51 en industrias mayo s.a. Tarapoto. Tesis Ingeniria. Tingo Maria, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva . 1–117.

Villegas, A. 2015. Optimizacion del tratamiento de minerales auriferos por el metodo de carbon en pulpa (CIP) en la planta de beneficio doble “d” minera colibri. Tesis Ingenieria. Arequipa, Perú. Universidad Nacional de San Agustin. 1–100.

Zamora, G. 2010. Obtención de carbón activado a partir de semillas de dos palmeras de la amazonia peruana shabaja (Attalca phaleratal) y aguaje (Mauritia flexiosa). Tesis Licenciatura. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 88 p.

ANEXOS.

Anexo 01.

Metodologías para determinación fisicoquímica.

Tabla 1A. Metodología para la determinación de humedad.

Del material en estudio se realizará mediante el procedimiento detallado a continuación:

- Efectuar el análisis en duplicado.
- Colocar la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.
- Empleando pinzas, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg. Registrar (m1).
- Pesar 5 g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m2).
- Colocar la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 ºC x 5 horas.
- Tapar la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.
- Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m3).

La humedad del producto expresada en porcentaje es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Donde:

- m_1: masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos.
- m_2: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos.
- m_3: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos.

Tabla 2A. Metodología para la determinación de cenizas.

- Realizar la prueba por duplicado.

- Secar en la estufa a 100ºC por 30 minutos un crisol de porcelana limpio con tapa y posteriormente enfriarlo dentro de un desecador y pesarlo exactamente.

- Pesar con la mayor precisión posible una muestra de 1.0 g. del alimento preparado en el crisol de porcelana con tapa.

- Colocar el crisol con la muestra y su tapa en un horno o mufla y llevarlo progresivamente a una temperatura que no exceda los 425ºC, con el fin de lograr la incineración y liberación de los compuestos gaseosos sin formación de llamas.

- Aumentar la temperatura gradualmente hasta llegar a un máximo de 550ºC y mantenerla a este nivel durante el tiempo necesario (~2h) para obtener unas cenizas blancas o grisáceas.

Tabla 3A. Metodología para la determinación de pH.

La metodología empleada para la determinación de pH es necesario pulverizar la materia contenida, en este caso el carbón granulado.

Procedimiento.

- Pesar 4 g de carbón en un beaker de 250 mL,

- Añadir 100 mL de agua destilada libre de dióxido de carbono (CO_2), cubrir con una tapa de vidrio y hervir por 5 minutos.

- Insertar un termómetro y poner en reposo la solución para permitir que las partículas se asienten.

- Verter el líquido sobrenadante antes que la temperatura descienda los 60 °C. Enfriar la porción decantada a temperatura ambiente y medir el pH con un valor decimal.

- La determinación del pH se realizó empleando un pH-metro digital.

Anexo 02.

Tablas de valores recolectados en los diferentes días y diferentes días de análisis.

Tabla 11A. Valores promedios de rendimiento.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable respuesta Rendimiento
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_1 500	4.59
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_2 600	4.71
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_3 700	4.49
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_1 500	4.54
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_2 600	4.64
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_3 700	4.55
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_1 500	4.57
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_2 600	4.61
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_3 700	4.62
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_1 500	4.59
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_2 600	4.61
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_3 700	4.62
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	4.69
A_3 KOH	B_1 50	C_2 600	4.70
A_3 KOH	B_1 50	C_3 700	4.75
A_3 KOH	B_2 60	C_1 500	4.76
A_3 KOH	B_2 60	C_2 600	4.71
A_3 KOH	B_2 60	C_3 700	4.76

Tabla 12A. Valores promedios de humedad.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable respuesta Humedad
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_1 500	13.13
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_2 600	12.56
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_3 700	12.31
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_1 500	13.55
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_2 600	12.29
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_3 700	12.54
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_1 500	12.38
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_2 600	11.53
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_3 700	11.24
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_1 500	12.77
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_2 600	12.12
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_3 700	11.31
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	13.26
A_3 KOH	B_1 50	C_2 600	12.53
A_3 KOH	B_1 50	C_3 700	11.98
A_3 KOH	B_2 60	C_1 500	13.16
A_3 KOH	B_2 60	C_2 600	12.49
A_3 KOH	B_2 60	C_3 700	12.31

Tabla 13A. Valores promedios de densidad aparente.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable respuesta Densidad Aparente (g/cm^3)
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_1 500	0.550
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_2 600	0.570
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_3 700	0.513
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_1 500	0.597
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_2 600	0.523
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_3 700	0.553
A_2 ($ZnCl_2$)	B_1 50	C_1 500	0.530
A_2 ($ZnCl_2$)	B_1 50	C_2 600	0.530
A_2 ($ZnCl_2$)	B_1 50	C_3 700	0.507
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_1 500	0.550
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_2 600	0.513
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_3 700	0.573
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	0.453
A_3 KOH	B_1 50	C_2 600	0.477
A_3 KOH	B_1 50	C_3 700	0.517
A_3 KOH	B_2 60	C_1 500	0.513
A_3 KOH	B_2 60	C_2 600	0.467
A_3 KOH	B_2 60	C_3 700	0.473

Tabla 14A. Valores promedios de pH.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable respuesta pH
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_1 500	6.56
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_2 600	6.54
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_3 700	6.56
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_1 500	6.32
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_2 600	6.34
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_3 700	6.49
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_1 500	7.53
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_2 600	7.54
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_3 700	7.43
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_1 500	7.60
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_2 600	7.55
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_3 700	7.40
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	6.89
A_3 KOH	B_1 50	C_2 600	6.85
A_3 KOH	B_1 50	C_3 700	6.84
A_3 KOH	B_2 60	C_1 500	6.83
A_3 KOH	B_2 60	C_2 600	6.81
A_3 KOH	B_2 60	C_3 700	6.81

Tabla 15A. Valores promedios de cenizas.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable respuesta Cenizas (%)
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_1 500	25.65
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_2 600	24.58
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_3 700	24.15
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_1 500	26.01
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_2 600	24.19
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_3 700	24.25
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_1 500	22.44
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_2 600	21.11
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_3 700	20.49
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_1 500	23.02
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_2 600	21.90
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_3 700	20.50
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	24.38
A_3 KOH	B_1 50	C_2 600	23.81
A_3 KOH	B_1 50	C_3 700	23.34
A_3 KOH	B_2 60	C_1 500	24.13
A_3 KOH	B_2 60	C_2 600	23.02
A_3 KOH	B_2 60	C_3 700	23.18

Tabla 16A. Valores promedios de cenizas.

Factor A:	Factor B:	Factor C:	Variable respuesta Capacidad de Absorción AM (%)
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_1 500	68.69
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_2 600	67.58
A_1 (H_3PO_4)	B_1 50	C_3 700	67.19
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_1 500	68.56
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_2 600	67.43
A_1 (H_3PO_4)	B_2 60	C_3 700	67.15
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_1 500	85.25
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_2 600	85.02
A_2 $ZnCl_2$	B_1 50	C_3 700	85.13
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_1 500	85.17
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_2 600	85.18
A_2 $ZnCl_2$	B_2 60	C_3 700	84.98
A_3 KOH	B_1 50	C_1 500	75.42
A_3 KOH	B_1 50	C_2 600	74.45
A_3 KOH	B_1 50	C_3 700	74.51
A_3 KOH	B_2 60	C_1 500	75.11
A_3 KOH	B_2 60	C_2 600	74.62
A_3 KOH	B_2 60	C_3 700	74.19

Anexo 03.

Tablas de análisis de varianza.

Tabla 17A. Análisis de varianza para la variable respuesta rendimiento.

Fuente	S.c	gL	C.M	F.c	P.v
Efectos principales					
A: Activantes	0.209	2	0.104	30.42	0.000
B: Concentraciones	0.002	1	0.002	0.07	0.789
C: Temperatura	0.018	2	0.009	2.62	0.087
Interacciones					
AB	0.006	2	0.003	0.83	0.445
AC	0.072	4	0.018	5.25	0.002
BC	0.004	2	0.002	0.61	0.550
ABC	0.0132	4	0.003	0.96	0.440
RESIDUOS	0.123	36	0.003		
Total (corregido)	0.445	53			

Figura 4A. Interacción de factores AB para rendimiento.

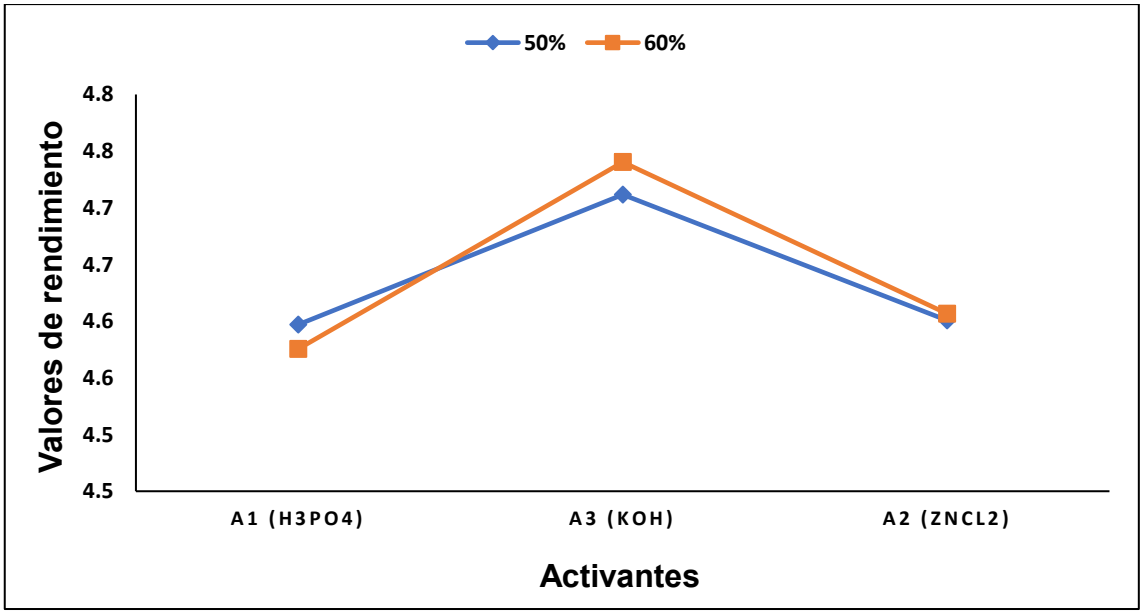


Figura 5A. Interacción de factores AC para rendimiento.

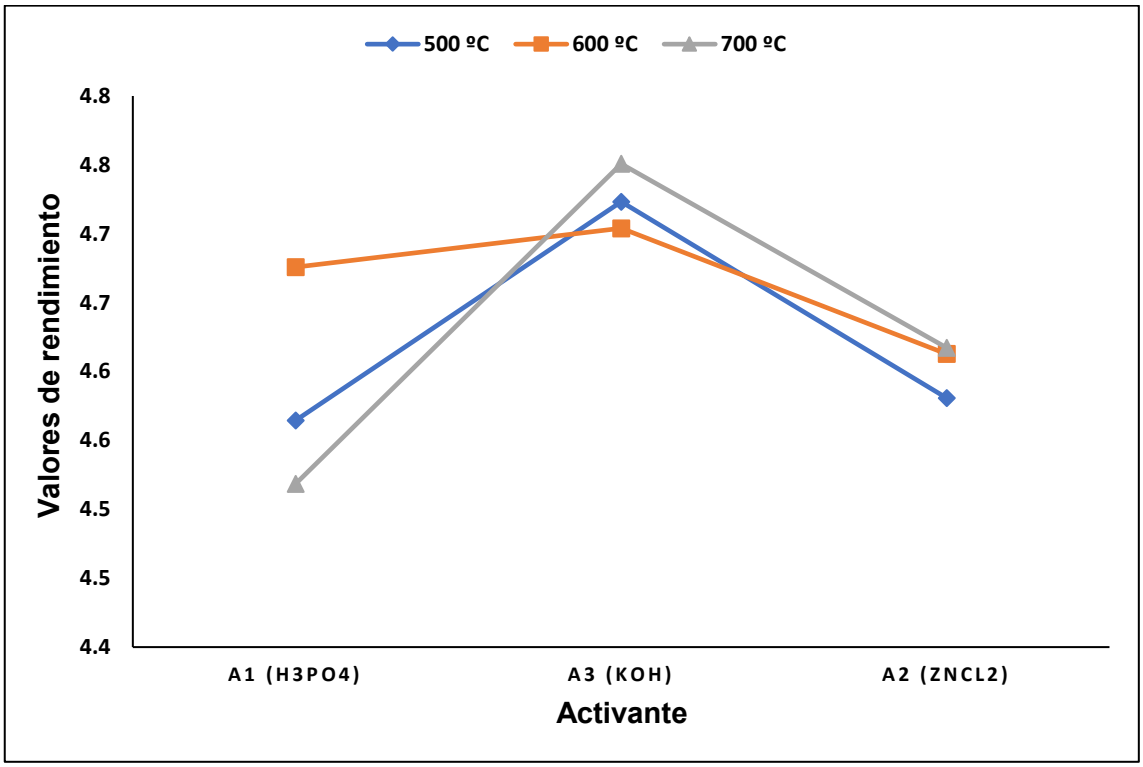


Figura 6A. Interacción de factores BC para rendimiento.

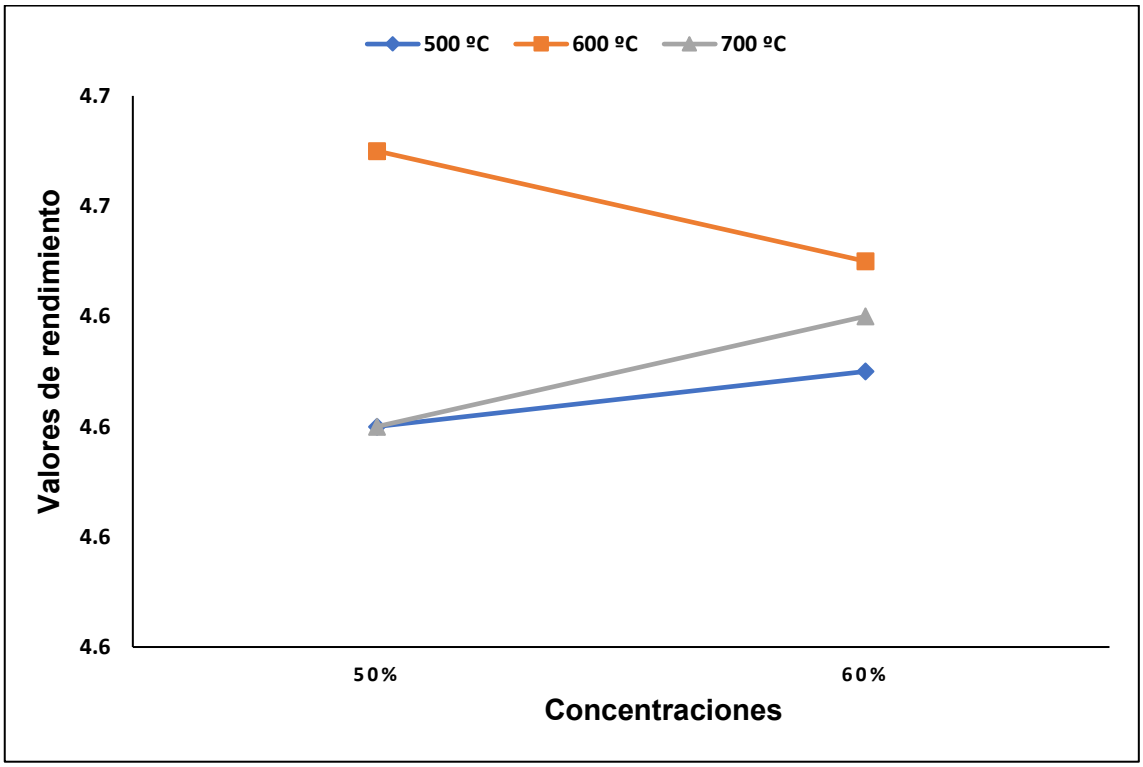


Tabla 18A. Análisis de varianza para la variable respuesta humedad.

Fuente	S.c	gL	C.M	F.c	P.v
Efectos principales					
A: Activantes	7.499	2	3.749	43.61	0.000
B: Concentraciones	0.430	1	0.430	5.00	0.031
C: Temperatura	11.456	2	5.728	66.61	0.000
Interacciones					
AB	0.206	2	0.103	1.20	0.312
AC	0.511	4	0.127	1.49	0.226
BC	0.054	2	0.027	0.32	0.728
ABC	0.705	4	0.176	2.05	0.107
Residuos	3.095	36	0.085		
Total (corregido)	23.959	53			

Figura 7A. Interacción de factores AB para humedad.

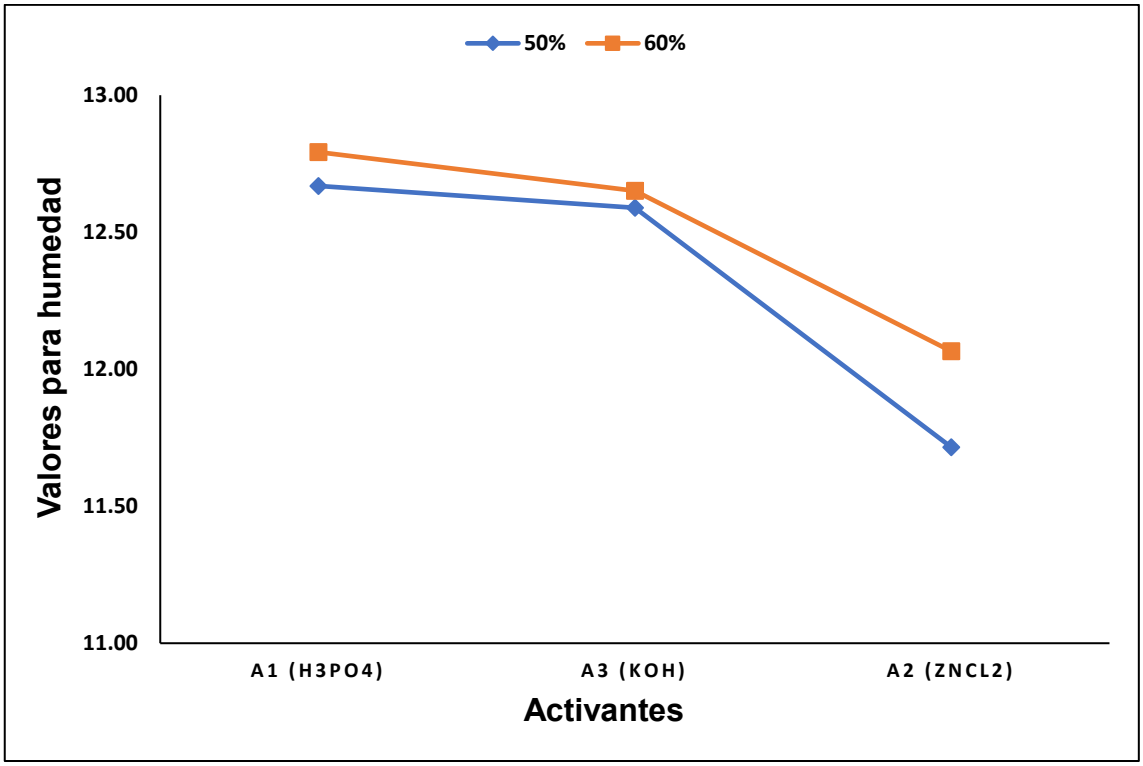


Figura 8A. Interacción de factores AC para humedad.

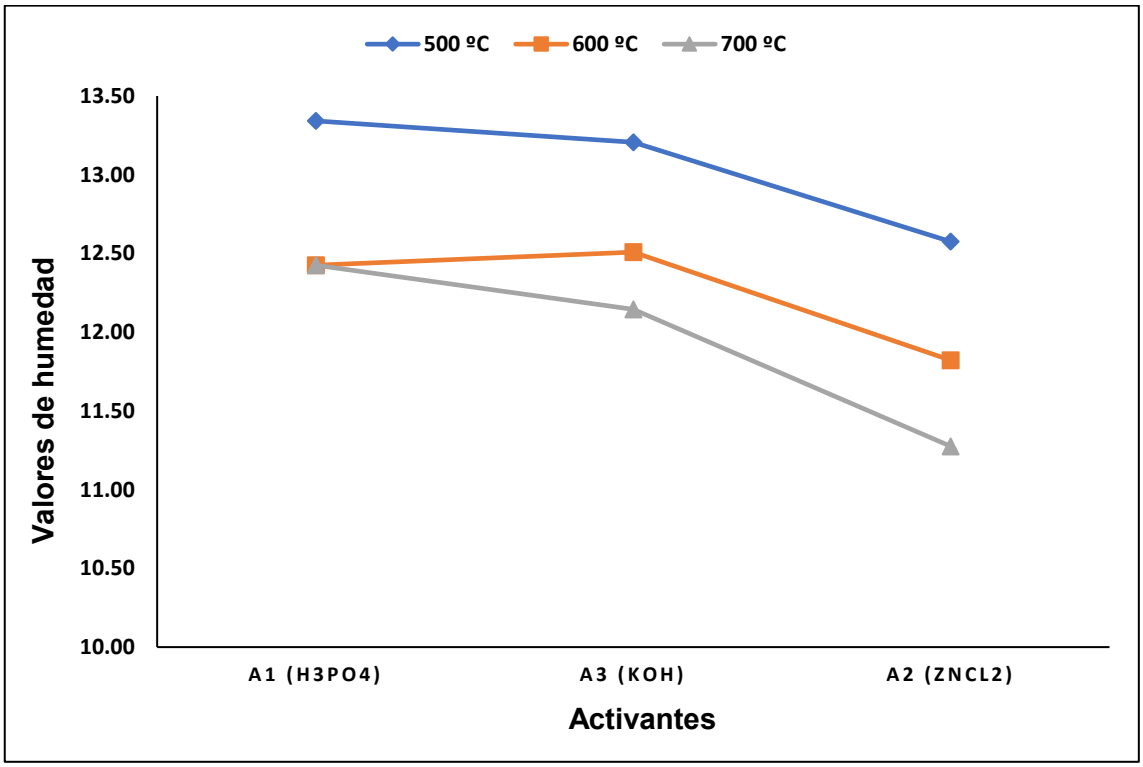


Figura 9A. Interacción de factores BC para humedad.

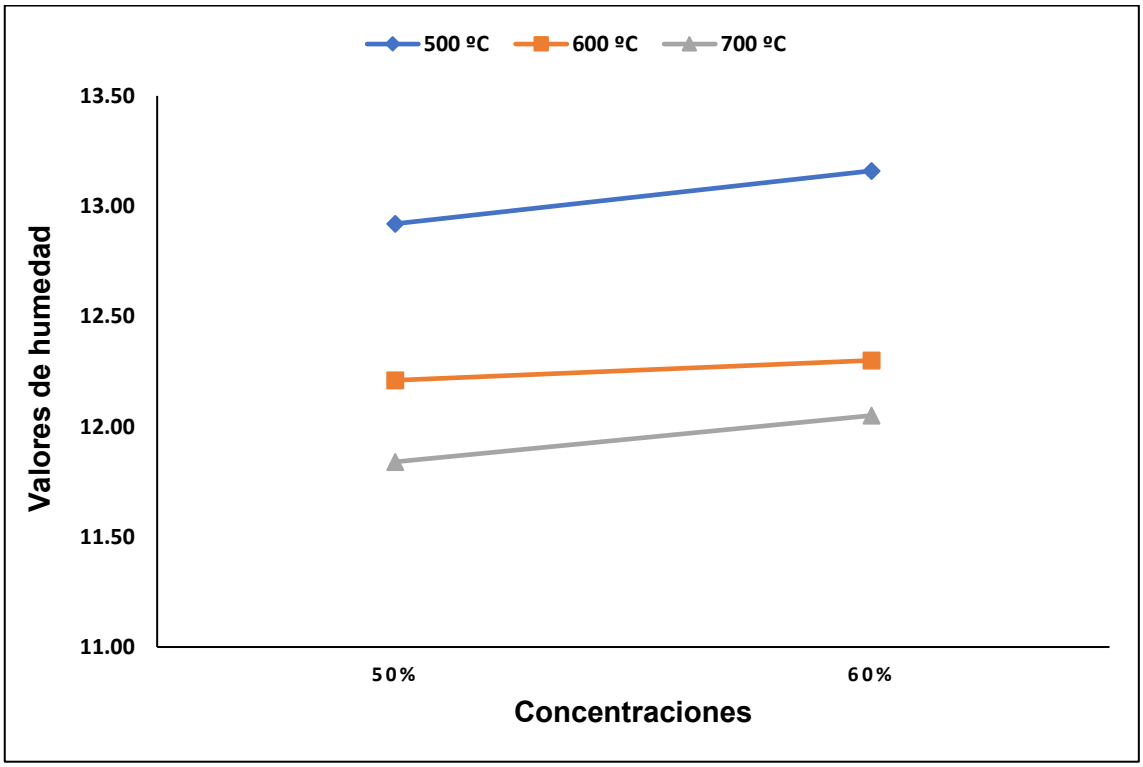


Tabla 19A. Análisis de varianza para la variable respuesta densidad aparente.

Fuente	S.c	gL	C.M	F.c	P.v
Efectos principales					
A: Activantes	0.044	2	0.022	13.26	0.000
B: Concentraciones	0.002	1	0.002	1.35	0.253
C: Temperatura	0.003	2	0.001	0.95	0.395
Interacciones					
AB	0.001	2	0.005	0.30	0.744
AC	0.004	4	0.001	0.70	0.594
BC	0.010	2	0.005	3.10	0.057
ABC	0.011	4	0.002	1.67	0.178
RESIDUOS	0.060	36	0.001		
Total (corregido)	0.138	53			

Figura 10A. Interacción de factores AB para densidad aparente.

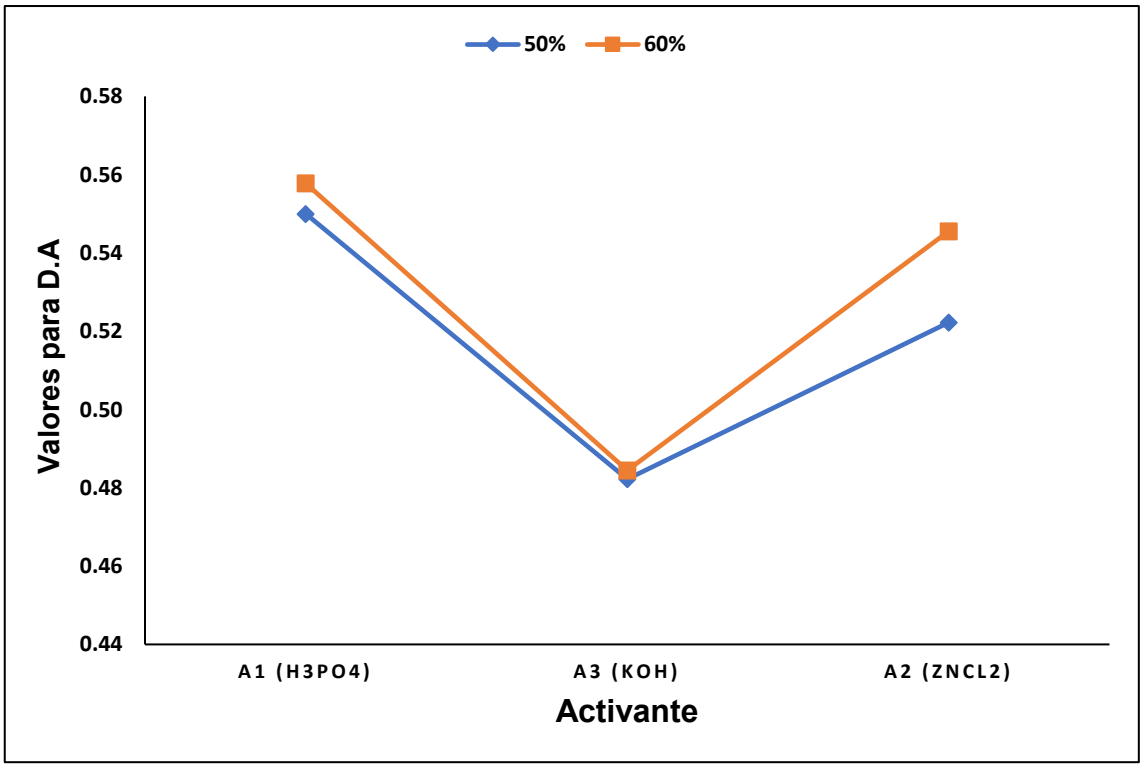


Figura 11A. Interacción de factores AC para densidad aparente.

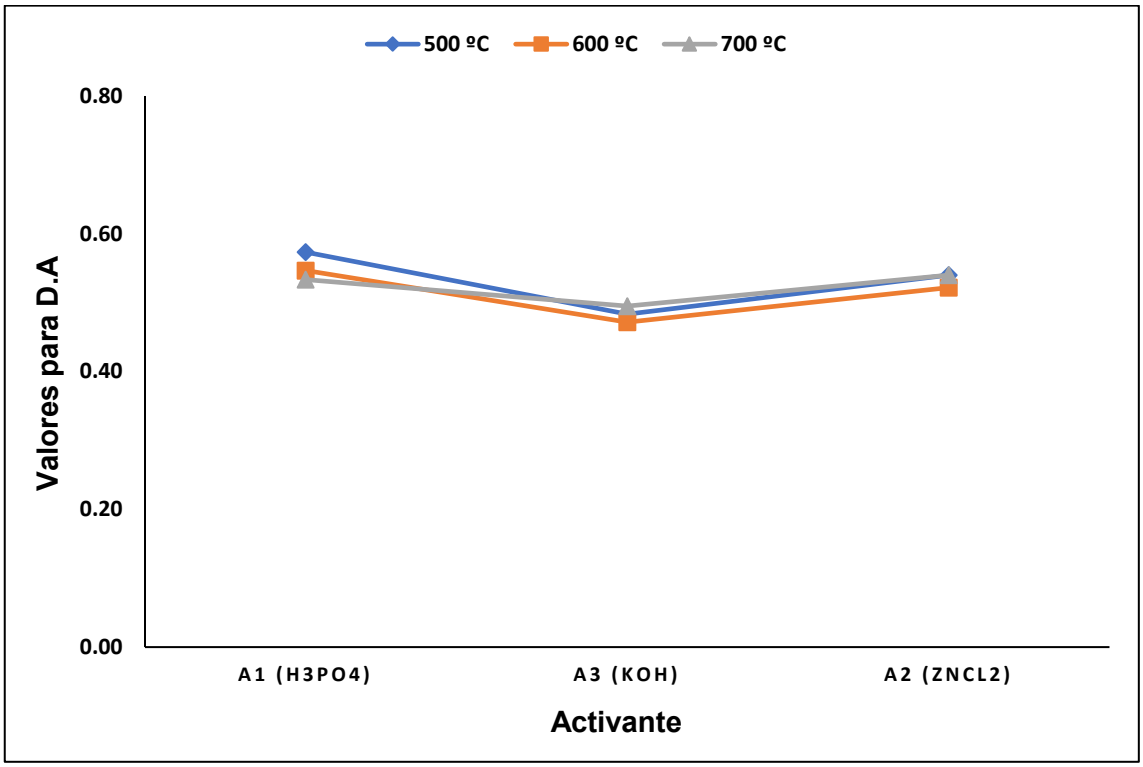


Figura 12A. Interacción de factores BC para densidad aparente.

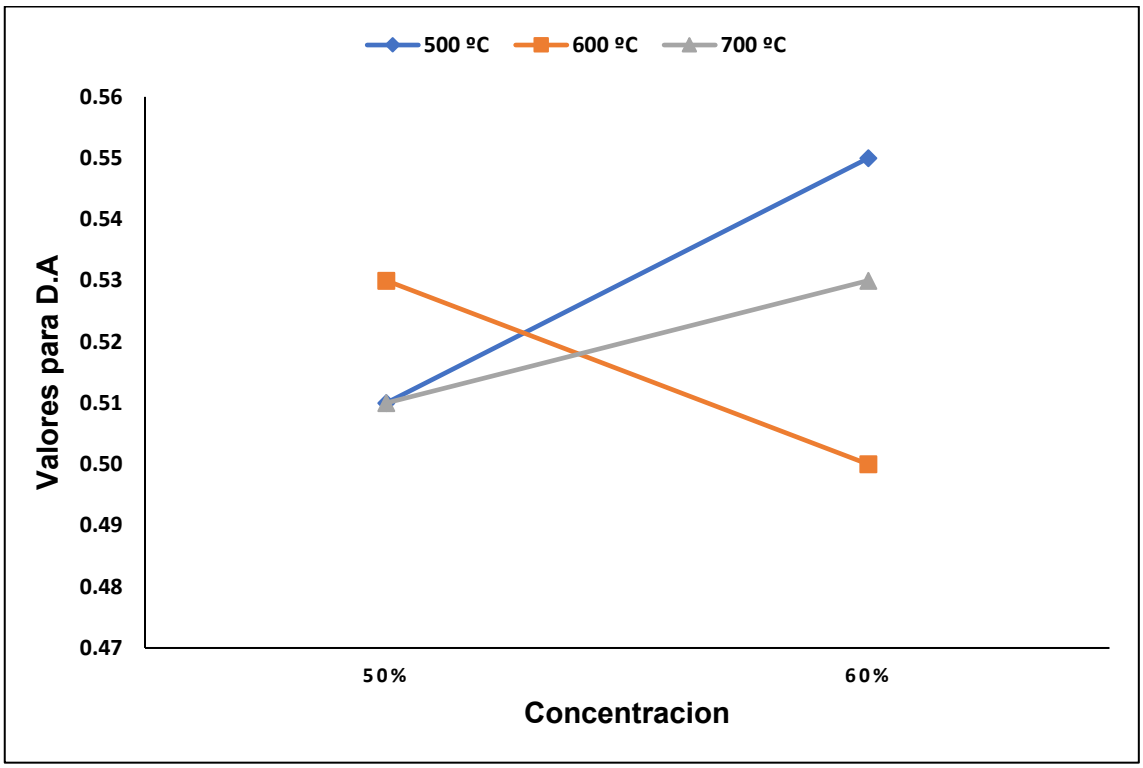


Tabla 20A. Análisis de varianza para la variable respuesta pH.

Fuente	S.c	gL	C.M	F.c	P.v
Efectos principales					
A: Activantes	9.995	2	4.998	464.64	0.000
B: Concentraciones	0.055	1	0.055	5.15	0.029
C: Temperatura	0.009	2	0.005	0.44	0.651
Interacciones					
AB	0.079	2	0.039	3.70	0.035
AC	0.109	4	0.027	2.53	0.058
BC	0.003	2	0.001	0.12	0.886
ABC	0.0295	4	0.007	0.68	0.607
RESIDUOS	0.387	36	0.011		
Total (corregido)	10.667	53			

Figura 13A. Interacción de factores AB para pH.

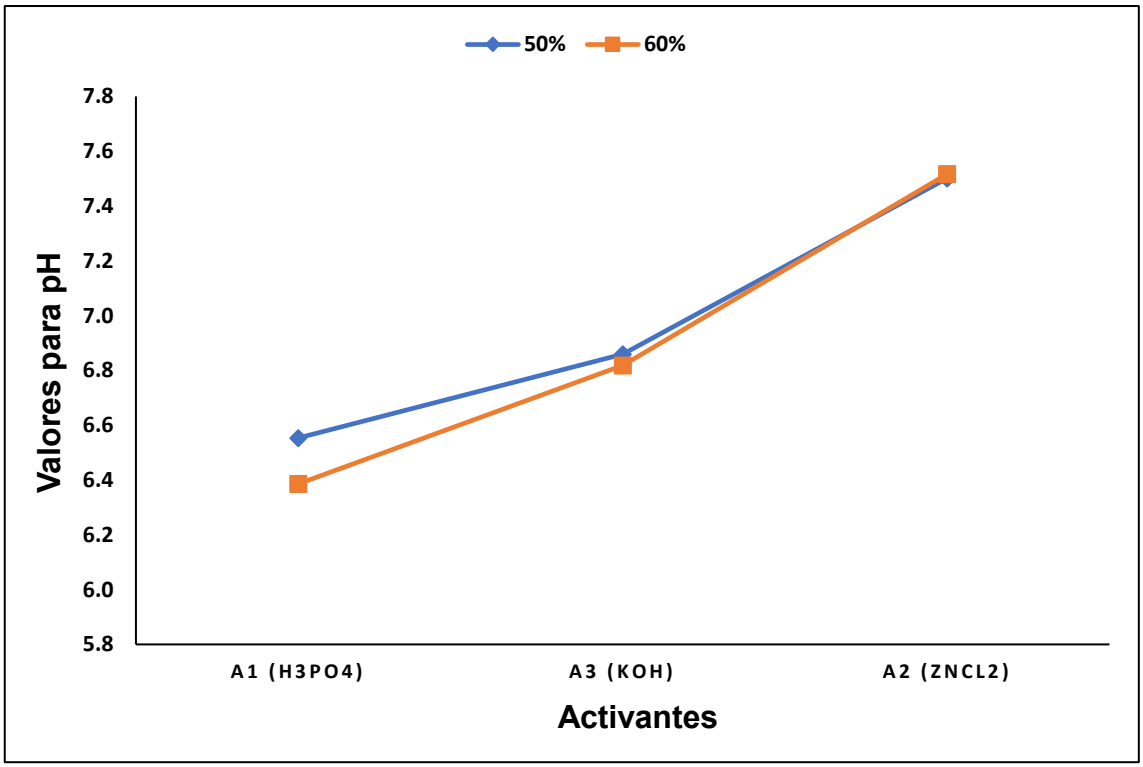


Figura 14A. Interacción de factores AB para pH.

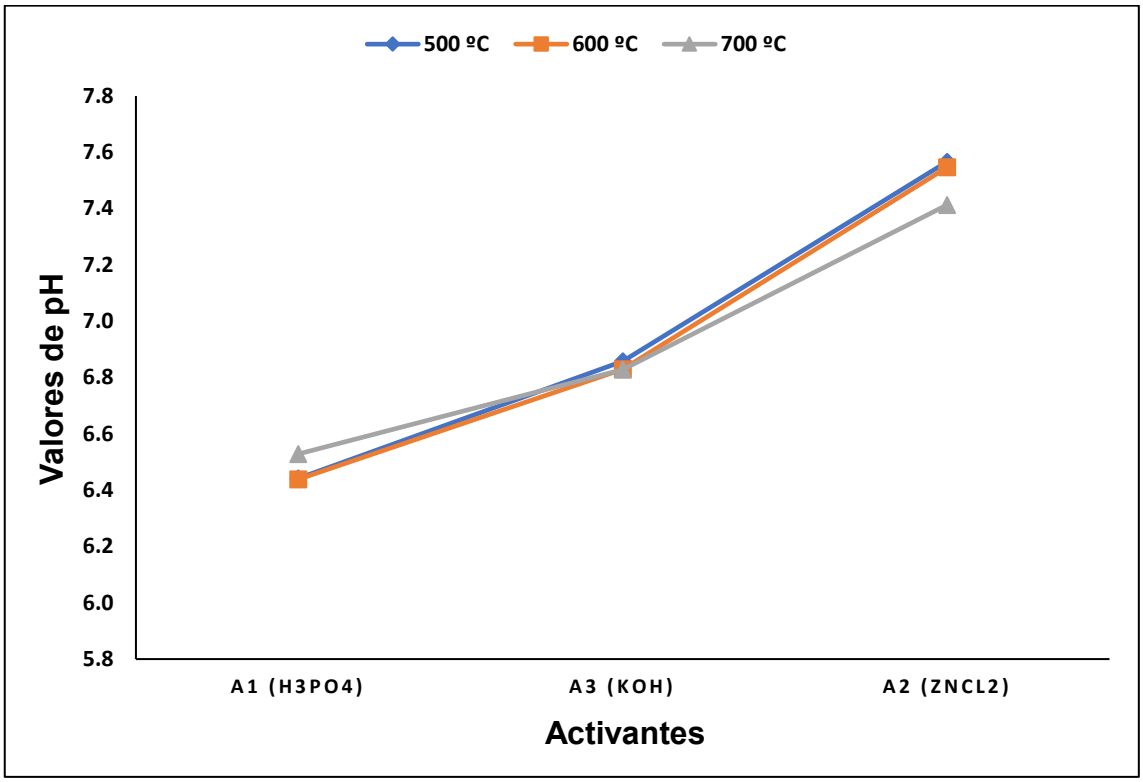


Figura 15A. Interacción de factores BC para pH.

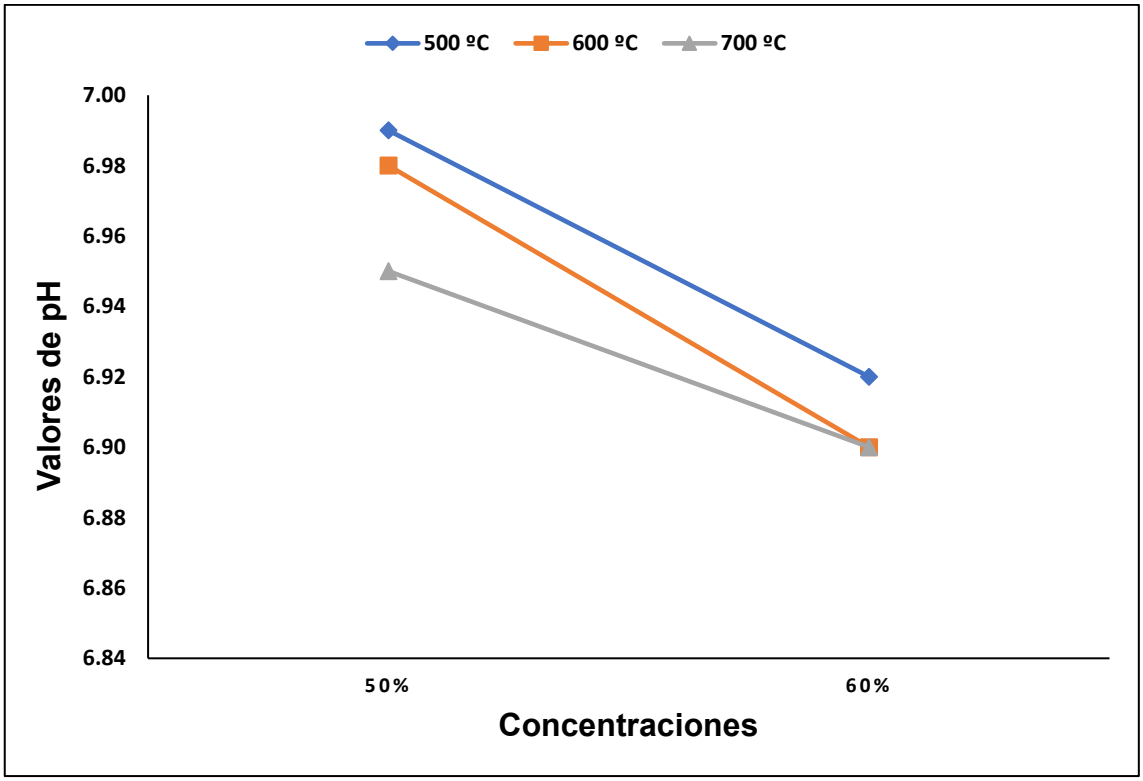


Tabla 21A. Análisis de varianza para la variable respuesta cenizas.

Fuente	S.c	gL	C.M	F.c	P.v
Efectos principales					
A: Activantes	96.322	2	48.161	783.34	0.000
B: Concentraciones	0.010	1	0.010	0.17	0.683
C: Temperatura	25.179	2	12.589	204.77	0.000
Interacciones					
AB	1.656	2	0.828	13.46	0.000
AC	2.804	4	0.701	11.40	0.000
BC	0.301	2	0.151	2.45	0.100
ABC	0.970	4	0.243	3.95	0.009
RESIDUOS	2.213	36	0.061		
Total (corregido)	129.456	53			

Figura 16A. Interacción de factores AB para cenizas.

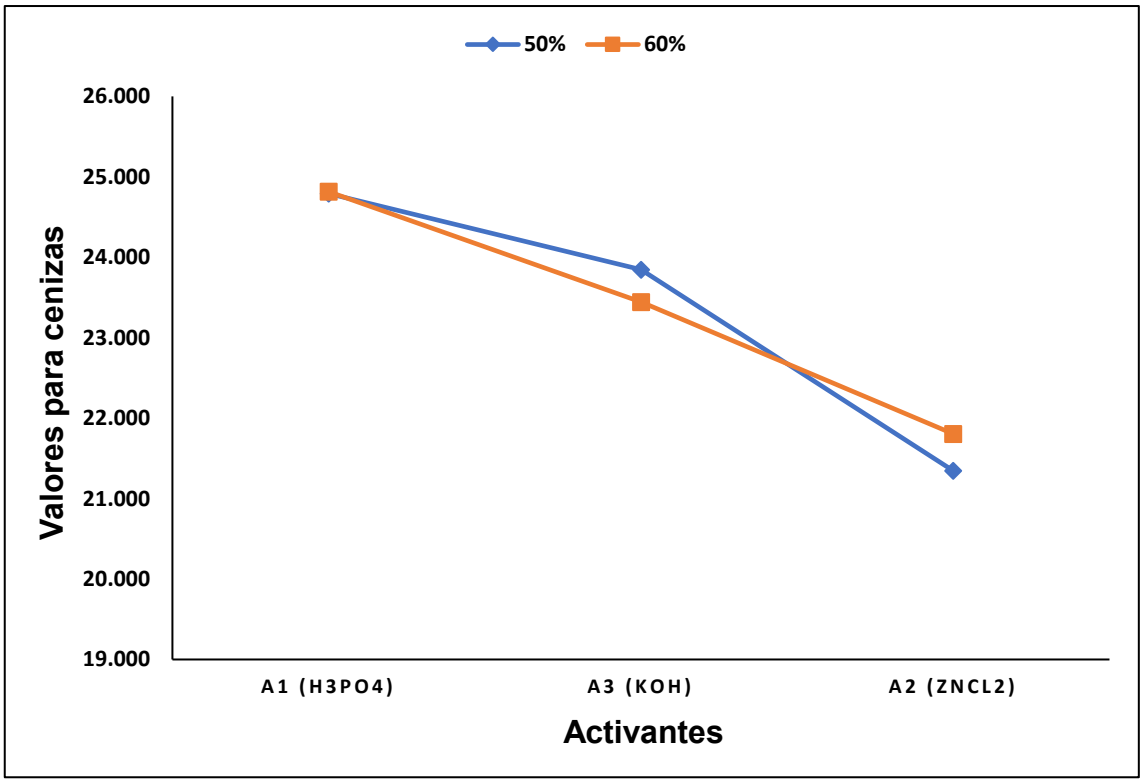


Figura 17A. Interacción de factores AC para cenizas.

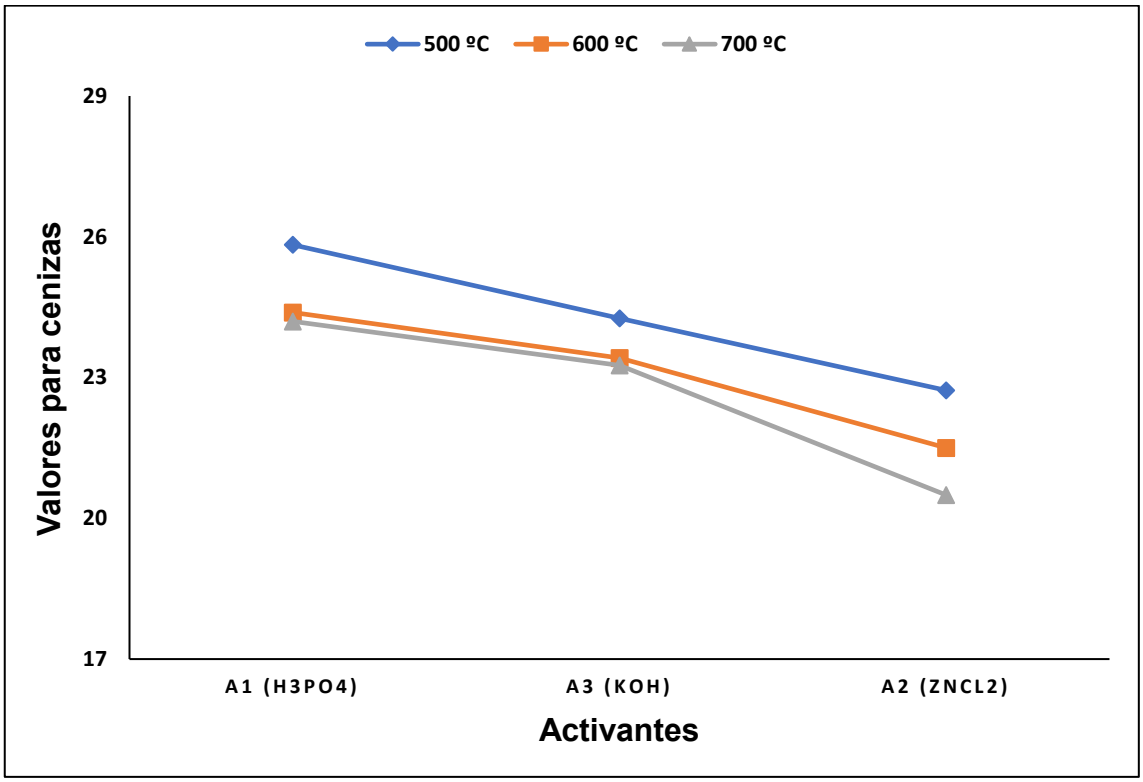


Figura 18A. Interacción de factores BC para cenizas.

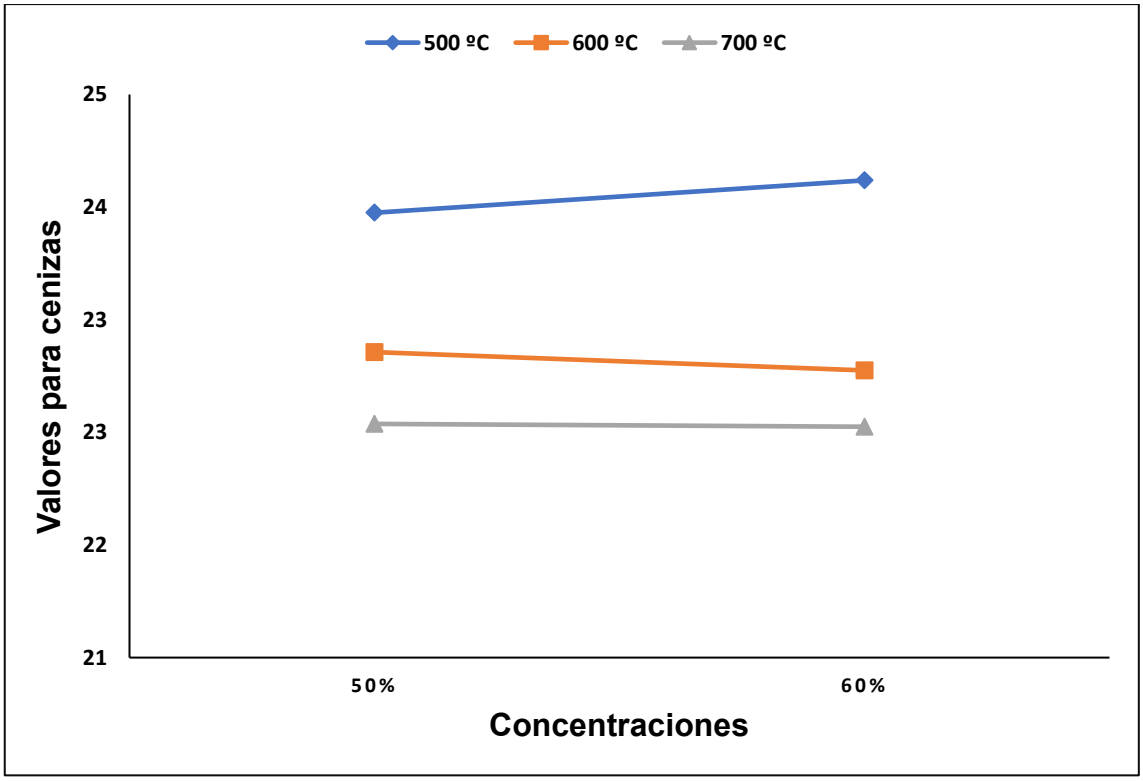


Tabla 22A. Análisis de varianza para la variable respuesta capacidad de absorción en azul de metileno.

Fuente	S.c	gL	C.M	F.c	P.v
Efectos principales					
A: Activantes	670.846	2	335.423	5613.43	0.0000
B: Concentraciones	0.0001	1	0.0001	0.00	0.9647
C: Temperatura	0.487	2	0.244	4.08	0.0253
Interacciones					
AB	0.670	2	0.335	5.61	0.0076
AC	2.113	4	0.528	8.84	0.0000
BC	0.763	2	0.381	6.38	0.0042
ABC	0.239	4	0.059	1.00	0.4188
RESIDUOS	2.151	36	0.059		
Total (corregido)	677.271	53			

Figura 19A. Interacción de factores AB para CAAM.

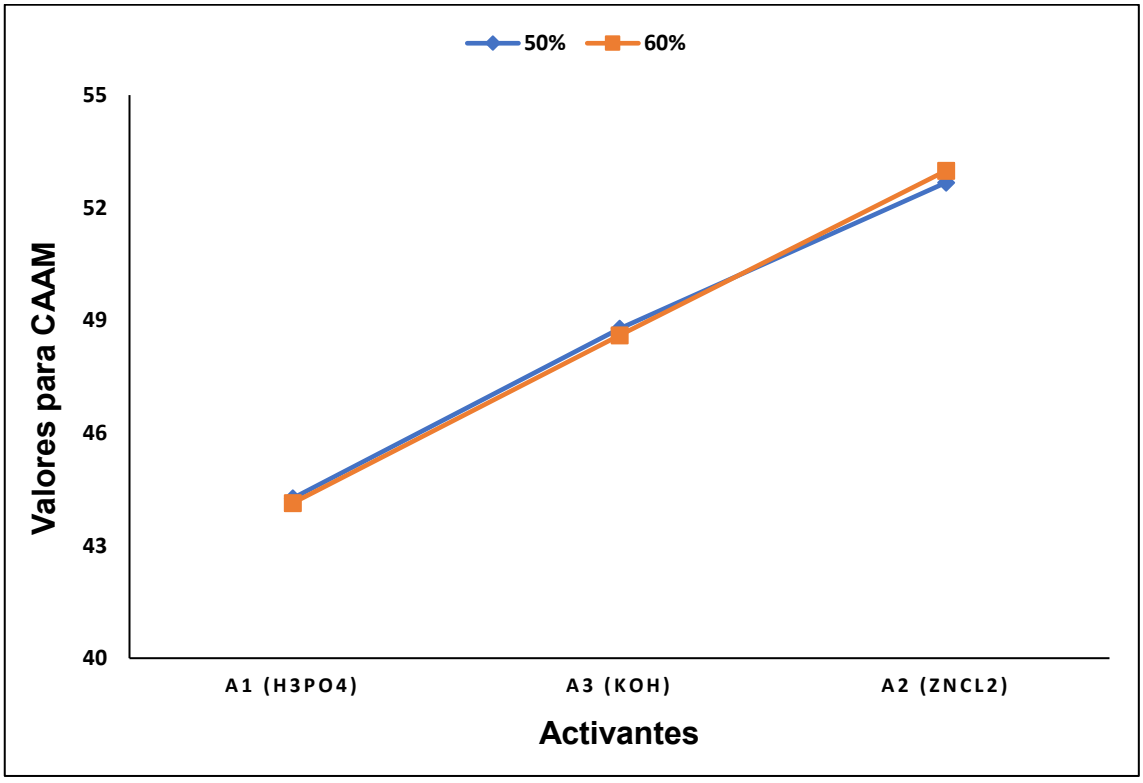


Figura 20A. Interacción de factores AC para CAAM.

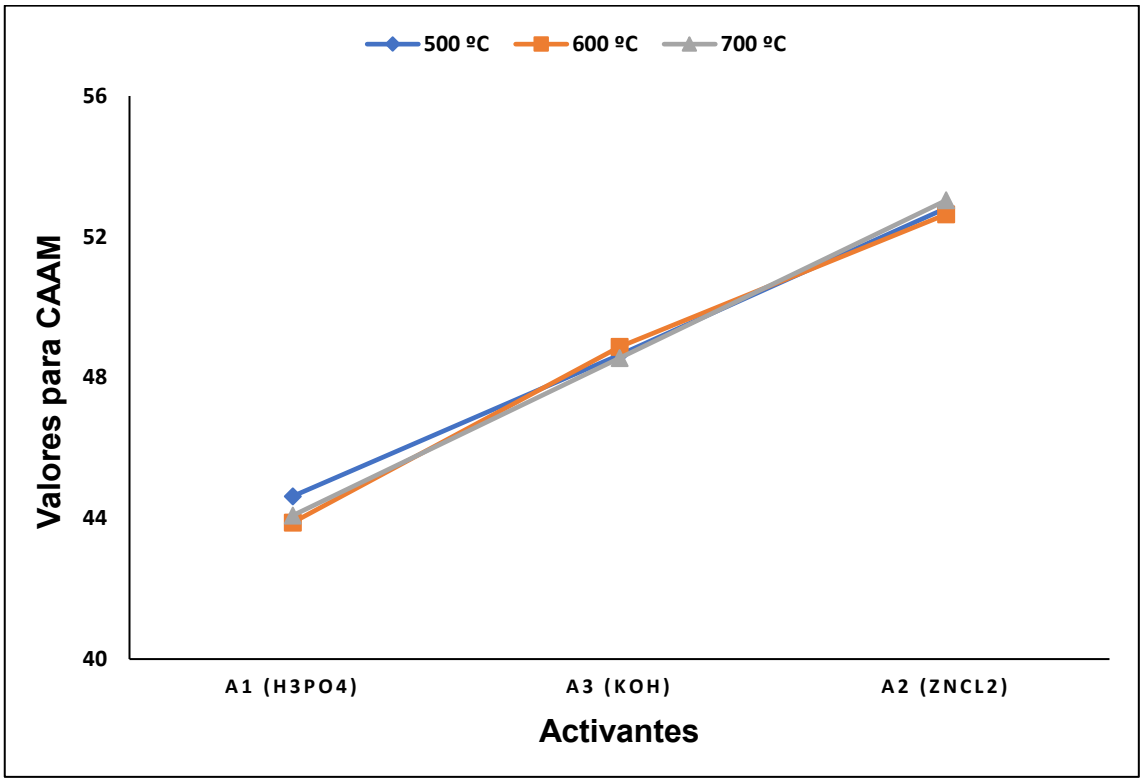
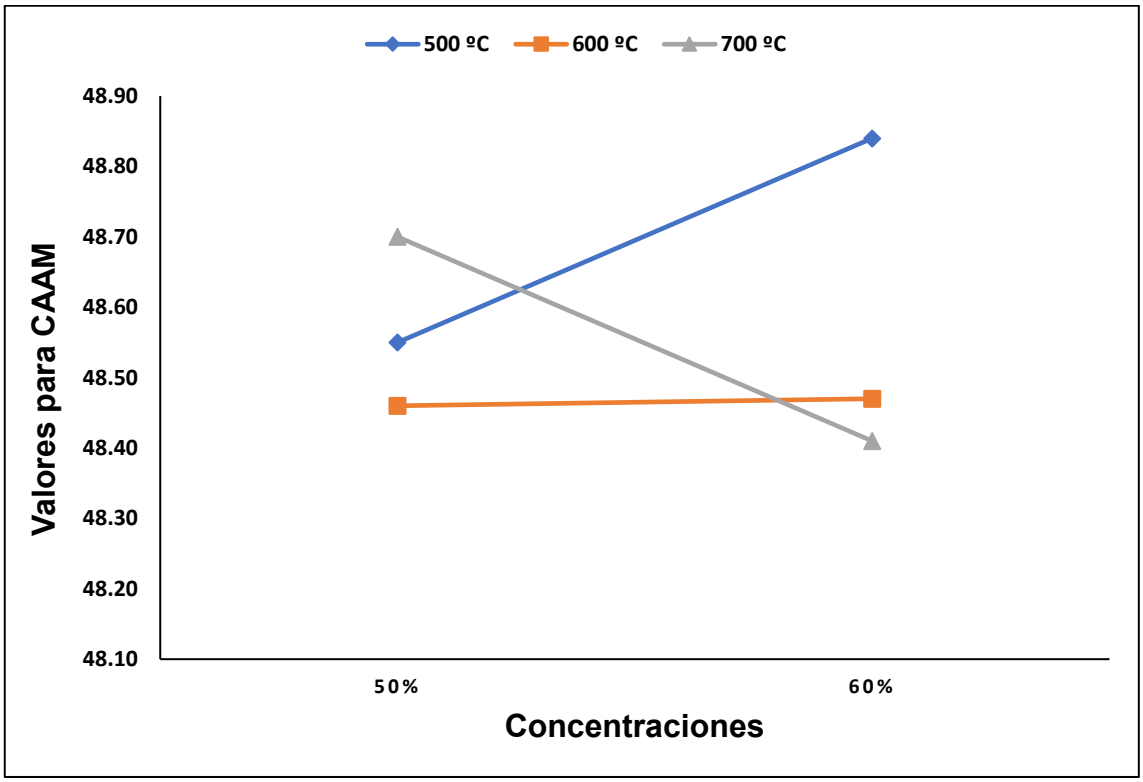


Figura 21A. Interacción de factores BC para CAAM.



Anexo 05.

Evidencias fotográficas de la obtención del carbón activo a partir de Cacao *(Theobroma caca* L*).*



Figura 22A. Corte de la corteza de cacao.



Figura 23A. Cortes homogéneos de la corteza del cacao.



Figura 24A. Pesado de la cascara de cacao.



Figura 25A. Proceso de secado.



Figura 26A. Cascara de cacao secado.



Figura 27A. Envasado de la cáscara seca.



Figura 28A. Trituración de la cáscara de cacao.



Figura 29A. Tamizado de las muestras.



Figura 30. Muestra tamizada listo para su análisis.



Figura 31A. Muestra en Analisis de humedad.



Figura 32A. Estufa para la determinación de humedad.



Figura 33A. Toma de datos finales.