

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE GRADO



**OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE
LAS BORRAS DE CAFÉ**

Por:

MARIA EUGENIA AQUINO PAITA

**Modalidad de Graduación (Investigación Aplicada) presentado a consideración
de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Agosto de 2022

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

DECANO

M.sc. Ing. Marlene B. Simons Sanchez

VICEDECANA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Miguel Vargas Coro

Ing. Karina Cervantes Calbimonte

Ing. Maiza Paz Aldana

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicatoria:

Este proyecto está dedicado primeramente a Dios y a toda mi familia principalmente a mis padres que han sido mi pilar fundamental para seguir adelante, brindándome todo su apoyo incondicional para poder llegar a esta instancia.

A mi tía Gladis, aunque no esté físicamente, sé que desde el cielo siempre me cuida y guía mis pasos para que todo salga bien.

Agradecimientos:

Gracias a Dios por darme el don de la perseverancia para alcanzar mis metas, iluminando mi camino día tras día.

A mi familia principalmente a mis padres Rene Aquino y Eusebia Paita, a mis hermanas Gisela y Tania, y a mi pareja Osmar por apoyarme incondicionalmente en cada decisión y proyecto, se los agradezco y hago presente mi gran amor hacia ustedes mi hermosa familia.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a mi amigo y tutor Ing. Ariel Mamani por brindarme su apoyo durante el desarrollo de este proyecto de tesis.

Gracias a la universidad Juan Misael Saracho por darme la oportunidad de formarme profesionalmente. A mis docentes y demás personas que de una u otra manera aportaron para el desarrollo del presente proyecto.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes a su amor y su apoyo incondicional, lo complicado de lograr esta meta finalmente se ha realizado.

Resumen

El presente trabajo de investigación aplicada “Obtención experimental de carbón activado a partir de las borras de café” se desarrolló en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para el cual se utilizó como materia prima las borras de café considerados desechos proveniente de las cafeterías del departamento de Tarija cuyo proveedor de café de los mismos es la empresa industrial “CAFÉ IDEAL” ubicada en el departamento de Santa Cruz. Esta industria produce un café 100% boliviano, de variedad arábica en la región de Los Yungas, siendo reconocida esta zona como productora de un excelente café.

Obtener carbón activado a partir de las borras de café es una alternativa de utilización del residuo sólido ya que se pretende dar importancia al procesamiento de las borras de café en la elaboración de carbón activado.

El carbón activado es materia carbonizada de origen vegetal o mineral debido a que presenta un elevado y variado grado de porosidad, una considerable superficie interna y un cierto contenido de grupos químicos superficiales principalmente de oxígeno y nitrógeno que lo hacen tener gran capacidad para adsorber ciertas sustancias las cuales se utilizan para la purificación de líquidos y gases.

Para la selección del método de obtención de carbón activado se evaluó el método de activación química y activación física en función de una tabla de calificación en un rango de valores para dichos criterios, donde la calificación asignada se realizó en base a la Escala Likert. Es así como se seleccionó el método de activación química porque obtuvo el puntaje más alto de calificación.

Para obtener el carbón activado de las borras de café se estableció un diseño factorial de 2^3 , es decir de 2 niveles, 3 variables por lo que el número de combinaciones fue de ocho experimentos y ocho repeticiones, las variables del proceso fueron temperatura de (450°C y 550°C), Concentración de ácido fosfórico de (30% y 40%) y un tiempo de carbonización de (2 y 3 horas) cuya relación materia prima/ácido es de 1:3 p/v, obteniendo como

variable respuesta el área superficial en función al índice de yodo y el % de remoción del azul de metileno.

Los resultados obtenidos demuestran que la mejor alternativa de obtención de carbón activado de borras de café es carbonizar la muestra a una temperatura de 450°C por un lapso de tiempo de 2 horas, cuya concentración de ácido fosfórico es al 40% dejando la muestra impregnada por un tiempo de 24 horas ya que a estas condiciones se obtuvo 654,1909 m²/gr de área superficial en función al índice de yodo ya que mientras más alto sea su valor mayor es su porosidad, en cuanto al % de remoción en función al índice de azul de metileno se tiene un 88,859% de remoción por lo tanto el carbón activado obtenido es apto para la remoción de compuestos orgánicos y para el tratamiento de aguas.

El rendimiento en masa promedio de la mejor muestra de carbón activado obtenido a partir de las borras de café es del 56,778 %, considerándose aceptable para la producción del mismo.

ÍNDICE

Advertencia	i
Dedicatoria:	ii
Agradecimientos:	iii
Resumen.....	iv

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
JUSTIFICACION	6
Justificación económica	6
Justificación social.....	6
Justificación tecnológica	7
Justificación ambiental.....	7

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MATERIA PRIMA.....	8
1.1.1. Definición de las borras de café	8
1.1.2. Composición fisicoquímica de las borras de café	10
1.1.3. Usos de la borra de café.....	10
1.1.4. Producción de café en Bolivia	11
1.2. CARBÓN ACTIVADO	12
1.2.1. Características fisicoquímicas del carbón activado.....	14

1.2.1.1. Composición química.....	14
1.2.1.2. Composición física.....	15
1.2.2. Estructura porosa del carbón activado.....	15
1.2.3. Importancia de la química superficial de los carbones	17
1.2.4. Tipos de carbón activado según su forma física	18
1.2.4.1. Carbón Activado en polvo (CAP)	19
1.2.4.2. Carbón activado granular.....	20
1.2.4.3. Carbón activado en pallets.....	21
1.2.4.4. Cintas y telas de carbón activado	21
1.2.5. Métodos de activación del carbón activado	22
1.2.5.1. Activación Física.....	22
1.2.5.2. Activación Química.....	23
1.2.6. Ventajas y desventajas de los métodos de activación	26
1.2.7. Caracterización del carbón activado.....	27
1.2.8. Factores que influyen en el proceso de carbón activado	28
1.3. ADSORCIÓN.....	30
1.3.1. Propiedades y condiciones que afectan la adsorción en carbón activado.....	31
1.3.2. Análisis de adsorción del carbón activado.....	32
1.3.2.1. Índice o número de yodo	32
1.3.2.2. Índice de azul de metileno	33
1.4. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO	34
1.5. APLICACIONES.....	35

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	37
2.1.1. Caracterización de la materia prima	37
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACION	37
2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO.....	41

2.3.1. Diseño experimental.....	41
2.3.1.1. Planteamiento del dominio experimental	41
2.3.1.2. Matriz de experimentos en la etapa de activación del diseño factorial completo 2 ³	42
2.3.1.3. Especificación de las variables del dominio experimental.....	43
2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE CARBÓN ACTIVADO DE BORRAS DE CAFÉ.....	44
2.4.1. Pretratamiento de la materia prima	46
2.4.1.1. Recolección de la materia prima.....	46
2.4.2. Caracterización de la materia prima	46
2.4.2.1. Determinación del porcentaje de humedad de las borras de café	46
2.4.2.2. Determinación de cenizas de las borras de café.....	47
2.4.2.3. Determinación de material volátil de las borras de café	49
2.4.2.4. Determinación de carbón fijo	50
2.4.3. Lavado	50
2.4.4. Secado.....	51
2.4.5. Tamizado	52
2.4.6. Pre carbonización	53
2.4.7. Impregnación	54
2.4.8. Carbonización y Activación.....	56
2.4.9. Lavado	58
2.4.10. Secado.....	61
2.4.11. Caracterización del producto obtenido	62
2.4.11.1. Determinación del índice del yodo	62
2.4.11.2. Determinación del índice del azul de metileno.....	65

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DEL PROCESO.....	69
--	----

3.1.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	69
3.1.2. RESULTADOS DEL PRODUCTO OBTENIDO	70
3.1.2.1. Resultados de análisis del índice de yodo del carbón activado obtenido	70
3.1.2.2. Resultados de análisis del índice de azul de metileno del carbón activado obtenido	77
3.1.3. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	83
3.1.3.1. Balance de materia	83
3.1.3.2. Balance de energía	94
3.1.4. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO	98
3.1.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS VARIABLES RESPUESTAS.....	99
3.1.5.1. Análisis estadístico de la variable respuesta área superficial	100
3.1.5.2. Análisis estadístico de la variable respuesta porcentaje de remoción	106
3.1.6. COMPARACIÓN DE LA MEJOR MUESTRA DE CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO CON UNO COMERCIAL.....	112

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
4.1.2. CONCLUSIONES	115
4.1.3. RECOMENDACIONES	116

CAPÍTULO V

BIBLIOGRAFÍA

5.1. BIBLIOGRAFÍA.....	118
------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Residuos obtenidos en el proceso industrial del café, base 1000 g.	9
Tabla I-2. Composición y propiedades fisicoquímicas de las borras del café.....	10
Tabla I-3. Producción del café en Bolivia.....	11
Tabla I-4. Composición del carbón activado	15
Tabla I-5. Propiedades físicas del carbón activado.....	15
Tabla I-6. Ventajas de los métodos de activación	26
Tabla I-7. Desventajas de los métodos de activación	26
Tabla I-8. Grado de adsorción según el tipo de activador	31
Tabla I-9. Principales parámetros que especifica un carbón activado.....	34
Tabla II-10. Escala de calificación Likert	38
Tabla II-11. Selección del método para la obtención experimental de carbón activado.	38
Tabla II-12. Matriz de Decisión para el Método Experimental de Obtención de Carbón Activado	40
Tabla II-13. Factores y niveles.....	42
Tabla II-14. Matriz de experimentos en el proceso de obtención.	43
Tabla III-15. Resultados del porcentaje de humedad de las borras de café.	69
Tabla III-16. Análisis de la caracterización de la materia prima en base seca	70
Tabla III-17. Resultados del cálculo del índice de yodo.....	73

Tabla III-18. Réplicas de los resultados del cálculo del índice de yodo.....	74
Tabla III-19. Resultados promedio del índice de yodo.....	75
Tabla III-20. Área superficial de los experimentos del carbón activado obtenido.....	76
Tabla III-21. Área superficial de réplicas del carbón activado obtenido.....	76
Tabla III-22. Promedio del área superficial	77
Tabla III-23. Lecturas de absorbancia para la curva patrón con distintas concentraciones de azul de metileno.....	78
Tabla III-24. Lecturas de los experimentos de azul de metileno de las muestras de carbón activado para obtener la masa adsorbida y % de remoción.....	81
Tabla III-25. Lecturas de las réplicas de azul de metileno de las muestras de carbón activado para obtener la masa adsorbida y % de remoción.....	82
Tabla III-26. Promedio del % de remoción del azul de metileno y masa adsorbida.....	82
Tabla III-27. Corrientes del balance de materia para cada experimento y réplica.	84
Tabla III-28. Valores de corrientes cada experimento y replica de la etapa de secado...86	
Tabla III-29. Valores de corrientes de cada experimento y réplica de la etapa de pre carbonización.....	88
Tabla III-30. Valores de corrientes de cada experimento y réplica de la etapa de impregnación.....	90
Tabla III-31. Valores de corrientes de cada experimento y réplica de la etapa de Activación	92

Tabla III-32. Valores de corrientes de cada experimento y réplica de la etapa de lavado y secado	94
Tabla III-33. Rendimiento en masa de los experimentos y réplicas del carbón activado obtenido a partir de las borras de café.....	99
Tabla III-34. Resumen del diseño factorial variable respuesta área superficial.....	100
Tabla III-35. Diseño factorial variable respuesta área superficial.....	100
Tabla III-36. Análisis de varianza (ANOVA) variable respuesta área superficial.....	101
Tabla III-37. Resumen del modelo variable respuesta área superficial.....	101
Tabla III-38. Resumen del diseño factorial variable respuesta % de remoción del azul de metileno	106
Tabla III-39. Diseño factorial variable respuesta % de remoción del azul de metileno	106
Tabla III-40. Análisis de varianza (ANOVA) variable respuesta % de remoción del azul de metileno	107
Tabla IV-41. Resumen del modelo variable respuesta % de remoción del azul de metileno	107
Tabla III-42. Comparación entre Carbones Activados	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración I-1. Borrás de café	9
Ilustración I-2. Carbón activado a partir de borra de café.....	14
Ilustración I-3. Representación esquemática de la estructura de un carbón activado	16
Ilustración I-4. Adsorción de componentes sobre superficie del carbón activado.....	17
Ilustración I-5. Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón.	18
Ilustración I-6. Carbón activado según su forma física.	19
Ilustración I-7. Representación gráfica del carbón activado en polvo	20
Ilustración I-8. Representación gráfica carbón activado granular	20
Ilustración I-9. Representación gráfica carbón activado en pallets	21
Ilustración I-10. Proceso de adsorción.....	30
Ilustración II-11. Recepción de la materia prima.....	46
Ilustración II-12. Secador de infrarrojo.....	47
Ilustración II-13. Peso y secado del crisol	47
Ilustración II-14. mufla a 700°C	48
Ilustración II-15. Muestras en desecador y cenizas obtenidas.....	48
Ilustración II-16. Crisoles en mufla	49
Ilustración II-17. Lavado de materia prima (borra de café).....	51

Ilustración II-18. Proceso de secado de las borras de café.	51
Ilustración II-19. Proceso de tamizado de las borras de café.....	52
Ilustración II-20. Borras de café retenidas en el proceso de tamizado	53
Ilustración II-21. Borras de café pre carbonizada.....	54
Ilustración II-22. Impregnación de las borras de café.....	55
Ilustración II-23. Filtración de la muestra impregnada.....	56
Ilustración II-24. Mufla	56
Ilustración II-25. Retiro de crisoles de la mufla con ayuda de pinzas	57
Ilustración II-26. Carbón activado obtenido	58
Ilustración II-27. Agua destilada caliente.	59
Ilustración II-28. Lavado del carbón activado.	60
Ilustración II-29. Filtración y Ph del carbón activado lavado.....	61
Ilustración II-30. Etapa de secado y pulverizado del carbón activado obtenido	61
Ilustración II-31. Almacenamiento del carbón activado.....	62
Ilustración II-32. Carbón activado pesado.	62
Ilustración II-33. Ebullición del HCl	63
Ilustración II-34. Filtración de la muestra preparada.....	64
Ilustración II-35. Titulación con tiosulfato de sodio de la muestra preparada	65
Ilustración II-36. Soluciones preparadas para la curva de calibración.	66

Ilustración II-37. Muestra de azul de metileno con 2mg/l para análisis.	67
Ilustración II-38. Filtración de la solución decolorada	67
Ilustración II-39. Espectrofotómetro.....	68

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama I-1. Diagrama del proceso en la activación Física o térmica	23
Diagrama I-2. Diagrama de la activación química	24
Diagrama II- 3. Diagrama del proceso tecnológico empleado para la obtención de carbón activado a partir de la borra de café.	45
Diagrama III-4. Diagrama de Flujo General del proceso de obtención de carbón activado de borras de café.....	83

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica III-1 Curva de calibración y ecuación de concentración	78
Gráfica III-2. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el área superficial	102
Gráfica III-3. Efectos principales para el Área Superficial.....	103
Gráfica III-4. Probabilidad normal variable respuesta área superficial	104
Gráfica III-5. Gráfica de cubos (medidas ajustadas) del área superficial.....	105
Gráfica III-6. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el % de remoción del azul de metileno.....	108
Gráfica III-7. Efectos principales del % de remoción del azul de metileno	109
Gráfica III-8. Probabilidad normal variable respuesta para el % de remoción del azul de metileno	110

Gráfica III-9. Residuo vs orden para el % de remoción del azul de metileno111

Gráfica III-10. Gráfica de cubos (medias ajustadas) del % de remoción del azul de metileno111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

ANEXO B: MÉTODO ESTANDAR DE DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE YODO DEL CARBON ACTIVADO (ASTM D-4607)

ANEXO C: TABLA DE FACTOR DE CORRECCIÓN PARA N° DE YODO

ANEXO D: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AZUL DE METILENO

ANEXO E: ESTIMACIÓN DE COSTOS