

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Informe final de investigaciones cofinanciadas por Digi 2023

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Evaluación del efecto bioadsorbente de la cascarilla de café modificada químicamente en aguas contaminadas con colorante azul reactivo 19.

nombre del proyecto de investigación

4.8.63.4.71

Partida presupuestaria

Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

**Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
Inga.Qca. Telma Maricela Cano Morales
Ing.Qco. Gerson Joél Ortega Morales
Ing.Mec. Osber Isabel Carías Palencia
Inga.Qca. Claudia Elisa Casellanos Jurado
Br.Melinna Lizeth Beteta Castro
Br. Juan Pablo López Cano
Br. Renato Paolo Cisneros Quiñonez**

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Gautemala 29/02/2024

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Liuba María Cabrera de Villagrán
Coordinadora del Programa de Investigación en Desarrollo Industrial (PUIDI)

Autores

Ing.Qco. Mario José Mérida Meré
Coordinador del proyecto

Inga.Qca. Telma Maricela Cano Morales
Investigadora

Ing.Qco. Gerson Joel Ortega Morales
Investigador

Ing.Mec. Osber Isabel Carías Palencia
Investigador

Inga.Qca. Claudia Elisa Casellanos Jurado

Br. Juan Pablo López Cano
Auxiliar de investigación II

Br. Renato Paolo Cisneros Quiñonez
Auxiliar de Investigación I

Coautores

M.Sc. Victoria Casasola
Investigadora, Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Colaboradores

Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs, PhD. Claudia de León Br, Dr. Ricardo San José, M.Sc. Rebeca Méndez y Melinna Lizeth Beteta Castro.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2023. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.63.4.71 en el Programa Universitario de Investigación En Desarrollo Industrial.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

1 Índice general

1	Índice general.....	4
	Índice de tablas.....	6
	Índice de figuras.....	9
2	Resumen.....	16
3	Introducción.....	18
4	Antecedentes.....	19
5	Planteamiento del problema.....	21
6	Marco teórico.....	22
7	Estado del Arte.....	25
8	Objetivos.....	27
8.1	Objetivo General.....	27
8.2	Objetivos específicos.....	27
9	Hipótesis.....	27
10	Materiales y métodos.....	28
10.2.	Método.....	28
10.3.	Técnicas e instrumentos.....	29
10.4.	Operacionalización de las variables.....	32
10.5.	Procesamiento y Análisis de Información.....	32
11	Resultados y Discusión.....	34
11.1.	Resultados.....	34
11.2.	Discusión de Resultados.....	54
12	Conclusiones.....	58
13	Recomendaciones.....	59
14	Referencias.....	60
15	Apéndice.....	63
16	Vinculación.....	110

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

17	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	110
18	Aporte de la propuesta de investigación a los Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) identificando su meta correspondiente.....	111
19	Orden de pago final.....	112
20	Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación.....	112
21	Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario	113
22	Visado de la Dirección General de Investigación.....	114

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Índice de tablas

Tabla 1	Métodos que se emplearán en la propuesta de investigación	28
Tabla 2	Operacionalización de variables	32
Tabla 3	Tratamientos a realizar con los tres factores.	33
Tabla 4	Caracterización del carbón activado químicamente determinando los grupos funcionales básicos y ácidos utilizando el método Boehm.	34
Tabla 5	Caracterización del carbón activado térmicamente determinando los grupos funcionales básicos y ácidos utilizando el método Boehm	35
Tabla 6	Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones de colorante azul reactivo 19 (adsorbato) después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente (bioadsorbente).	36
Tabla 7	Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones de colorante azul reactivo 19 (adsorbato) después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente (bioadsorbente).	36
Tabla 8	Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones del colorante azul reactivo 19 (adsorbato) a distintos tiempos de contacto con el carbón activado químicamente (bioadsorbente).	37
Tabla 9	Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones del colorante azul reactivo 19 (adsorbato) a distintos tiempos de contacto con el carbón activado térmicamente (bioadsorbente).	38
Tabla 10	Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado térmicamente, corrida 1.....	63
Tabla 11	Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado térmicamente, corrida 2.....	63
Tabla 12	Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado térmicamente, corrida 3.....	64

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 13	Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado químicamente, corrida 1.....	64
Tabla 14	Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado químicamente, corrida 2.....	66
Tabla 15	Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado químicamente, corrida 3.....	67
Tabla 16	Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado químicamente, corrida 1.....	69
Tabla 17	Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado químicamente, corrida 2.....	69
Tabla 18	Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado químicamente, corrida 3.....	69
Tabla 19	Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado térmicamente, corrida 1.....	70
Tabla 20	Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado térmicamente, corrida 2.....	70
Tabla 21	Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado térmicamente, corrida 3.....	71
Tabla 22	Rendimientos de carbonización a diferentes tamaños de partícula de la cascarilla de café	72
Tabla 23	Mediciones de humedad en la cascarilla de café.....	73
Tabla 24	Rendimiento promedio de obtención de cascarilla de café carbonizada con distintos tamaños de partícula a partir de un proceso de molienda industrial	73
Tabla 25	Análisis granulométrico de la cascarilla de café carbonizada	74
Tabla 26	Cuantificación de impregnación de cascarilla de café con ácido fosfórico.....	74
Tabla 27	Análisis granulométrico de la cascarilla de café impregnada con ácido fosfórico sometida a un proceso de deshidratación.	75

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 28	Análisis de varianza unifactorial aplicada a la capacidad de adsorción de los tipos de carbón activados producidos	76
Tabla 29	Análisis de varianza unifactorial aplicada a la caracterización de los dos tipos de carbón activado producidos	76
Tabla 30	Datos calculados para la generación de los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para el carbón activado térmicamente	77
Tabla 31	Datos calculados para la generación de los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para el carbón activado químicamente	78
Tabla 32	Datos calculados para la generación del modelo de difusión intrapartícula para el carbón activado químicamente	79
Tabla 33	Datos calculados para la generación del modelo de difusión intrapartícula para el carbón activado térmicamente	80

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Índice de figuras

Figura 1. Estructura química del colorante azul reactivo 19.....	24
Figura 2. Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) del carbón activado tratado químicamente, obtenido de la cascarilla de café.....	34
Figura 3. Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) del carbón activado tratado térmicamente, obtenido de la cascarilla de café.....	35
Figura 4. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	39
Figura 5. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	39
Figura 6. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	40
Figura 7. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	41
Figura 8. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	41
Figura 9. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	42
Figura 10. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	42
Figura 11. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	43

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 12. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	43
Figura 13. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.....	44
Figura 14. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	44
Figura 15. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	45
Figura 16. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	45
Figura 17. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	46
Figura 18. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	46
Figura 19. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	47
Figura 20. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	47
Figura 21. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	48
Figura 22. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	48

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 23. Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.....	49
Figura 24. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 2 mg/l, en el carbón activado químicamente.....	49
Figura 25. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 6 mg/l, en el carbón activado químicamente.....	50
Figura 26. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 10 mg/l, en el carbón activado químicamente.....	50
Figura 27. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 25 mg/l, en el carbón activado químicamente.....	51
Figura 28. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 35 mg/l, en el carbón activado químicamente.....	51
Figura 29. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 2 mg/l, en el carbón activado térmicamente.....	52
Figura 30. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 6 mg/l, en el carbón activado térmicamente.....	52
Figura 31. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 10 mg/l, en el carbón activado térmicamente.....	53
Figura 32. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 25 mg/l, en el carbón activado térmicamente.....	53
Figura 33. Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 35 mg/l, en el carbón activado térmicamente.....	54
Figura 34. Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 1.....	81
Figura 35. Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 2.....	81
Figura 36. Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 3.....	82

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Figura 37.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 1..... 82
- Figura 38.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 2..... 83
- Figura 39.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 3..... 83
- Figura 40.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de los grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 1..... 84
- Figura 41.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 2..... 84
- Figura 42.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 3..... 85
- Figura 43.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 1..... 85
- Figura 44.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 2..... 86
- Figura 45.** Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 3..... 86
- Figura 46.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 1 87
- Figura 47.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 2 87

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Figura 48.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 3 88
- Figura 49.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 1 88
- Figura 50.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 2 89
- Figura 51.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 3 89
- Figura 52.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 1 90
- Figura 53.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 2 90
- Figura 54.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 3 91
- Figura 55.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 1 91
- Figura 56.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 2 92
- Figura 57.** Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 3 92
- Figura 58.** Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente, corrida 1..... 93

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 59. Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente, corrida 2.....	93
Figura 60. Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente, corrida 3.....	94
Figura 61. Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente, corrida 1	94
Figura 62. Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente, corrida 2	95
Figura 63. Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente, corrida 3	95
Figura 64. Visita técnica a beneficiado de café realizado en la región oriental del país con equipo de investigación	96
Figura 65. Visita técnica a beneficio de café. Visita técnica de beneficio de café ubicado en la finca La Azotea, ubicada en el municipio de Jocotenango, Sacatepéquez.	97
Figura 66. Adquisición de cascarilla de café. Cascarilla de café obtenida del beneficio ubicado en la finca La Azotea, municipio de Jocotenango, Sacatepéquez.	98
Figura 67. Adquisición de Colorante Azul Reactivo 19. Tres kilogramos de Colorante Azul Reactivo 19 (Azul R Especial) adquirido con el proveedor LM Distribuciones Especiales, S.A.....	99
Figura 68. Análisis de granulometría. Análisis granulométrico de cascarilla de café realizado en la Tamizadora en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.....	100
Figura 69. Tamaños de muestras. Distintos tamaños de muestras de cascarilla de café obtenidos del proceso de granulometría, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.....	101
Figura 70. Preparación de muestras. Preparación de muestras de cascarilla de café para realizar el proceso de pirólisis en la Mufla, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.....	102
Figura 71. Obtención del carbón. Muestras de carbón obtenidas del proceso de pirólisis en el equipo Mufla, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.	103

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Figura 72.** Proceso de impregnación. Proceso de impregnación de ácido fosfórico a la cascarilla de café por medio del Baño Ultrasónico, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac..... 104
- Figura 73.** Obtención de carbón tratado químicamente. Proceso de obtención de carbón a partir de la cascarilla de café impregnada con ácido fosfórico utilizando la Mufla, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac. 105
- Figura 74.** Preparación de soluciones. Preparación de soluciones de colorante azul reactivo 19 a distintas concentraciones, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac..... 106
- Figura 75.** Proceso de adsorción. Proceso de adsorción de carbón activado física y químicamente en soluciones de colorante azul reactivo 19 a distintas concentraciones, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac. 107
- Figura 76.** Muestras para análisis. Muestras obtenidas del proceso de adsorción listas para ser enviadas al Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Gálvez para realizar ensayos de Espectro IR. 108
- Figura 77.** Análisis FTR. Ensayos de Espectro IR realizados en el Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Gálvez 109

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

2 Resumen

Este proyecto investigativo se enfoca en evaluar el efecto bioadsorbente de la cascarilla de café modificada químicamente en aguas contaminadas con el colorante azul reactivo 19. Se aplicaron tratamientos químicos y térmicos al carbón activado derivado de la cascarilla de café, siendo caracterizado estructuralmente mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y análisis de grupos funcionales básicos y ácidos.

Los resultados mostraron modificaciones estructurales específicas en los carbones tratados químicamente. El análisis estadístico indicó diferencias significativas en los perfiles espectrométricos, sugiriendo que el tratamiento con ácido fosfórico generó cambios estructurales. La evaluación de grupos funcionales reveló una mayor presencia de grupos ácidos en el carbón activado químicamente, lo cual se vincula con la afinidad hacia el colorante reactivo.

En cuanto a la capacidad de adsorción, se observó que los carbones tratados químicamente superaron en adsorción al tratado térmicamente. Las mediciones espectrofotométricas a 575 nm demostraron que los carbones modificados químicamente mostraron una capacidad de adsorción significativamente superior en comparación con los tratados térmicamente.

En la cinética de adsorción, los modelos de pseudo segundo orden resultaron más adecuados para describir el comportamiento de adsorción. Específicamente, para el carbón activado químicamente, los coeficientes de correlación (R^2) fueron 0.4758, 0.1151, 0.9817, 0.5119 y 0.7711 para concentraciones de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm respectivamente.

Palabras claves

Bioadsorción, Cascarilla de café, Carbón activado, Colorante reactivo 19, Modificación química,, Análisis espectrométrico, Cinética de adsorción, Tratamiento químico, Agua contaminada
Capacidad de adsorción.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Abstract

This research project focuses on evaluating the bioadsorptive effect of chemically modified coffee husk in water contaminated with reactive blue dye 19. Chemical and thermal treatments were applied to the activated carbon derived from coffee husks, characterized structurally using Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR), and analyzed for basic and acidic functional groups.

The results revealed specific structural modifications in chemically treated carbons. Statistical analysis indicated significant differences in spectrometric profiles, suggesting that treatment with phosphoric acid induced structural changes. The assessment of functional groups showed a higher presence of acidic groups in chemically activated carbon, correlating with an affinity towards the reactive dye.

Regarding adsorption capacity, it was observed that chemically treated carbons surpassed thermal treatment in adsorption. Spectrophotometric measurements at 575 nm demonstrated that chemically modified carbons exhibited significantly higher adsorption capacity compared to thermally treated ones.

In adsorption kinetics, pseudo-second-order models proved more suitable to describe the adsorption behavior. Specifically, for chemically activated carbon, the correlation coefficients (R^2) were 0.4758, 0.1151, 0.9817, 0.5119, and 0.7711 for concentrations of 2, 6, 10, 25, and 35 ppm, respectively.

Keyword

Bioadsorption, Coffee husk, Activated carbon, Reactive dye 19, Chemical modification, Spectrometric análisis, Adsorption kinetics, Chemical treatment, Contaminated water, Adsorption capacity

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

3 Introducción

El uso de agua ha incrementado a nivel global alrededor del 1% por año desde los años 80, impulsado por la demanda en naciones en desarrollo. Según el informe del Programa de Evaluación Mundial del Agua de la UNESCO (2021), la distribución del consumo de agua a nivel mundial es la siguiente: la agricultura representa el 69%, seguida de la industria con el 19% y los hogares con el 12%. Aunque el uso per cápita en países en desarrollo es menor que en naciones desarrolladas, se está acercando a medida que experimentan un crecimiento económico. Este aumento se debe al crecimiento demográfico, desarrollo socioeconómico y cambios en los patrones de consumo. Las proyecciones indican que la demanda mundial de agua continuará aumentando a un ritmo similar hasta el año 2050, con un incremento estimado entre el 20% y el 30% por encima del nivel actual de consumo de agua. Se espera que este crecimiento esté impulsado en gran medida por el aumento en la demanda de los sectores industrial y doméstico (Burek et al., 2016).

La producción de prendas de vestir se destaca debido a su significativo consumo de recursos, incluyendo recursos naturales, energéticos y productos químicos. Cada instalación de producción emplea diferentes procesos y productos químicos, además de requerir diversas cantidades de recursos naturales. Según Brañez Sánchez et al. (2018), en el año 2015, la población global alcanzó los 7400 millones de personas, y el consumo individual de artículos textiles llegó a 13,1 kg por persona al año. Se consumen anualmente grandes cantidades de fibras naturales y colorantes en la industria textil.

En Guatemala y toda Centro América, a partir de los años 90's, la conformación del Producto Interno Bruto global en la región ha variado considerablemente; sustituyendo la actividad agrícola por la industrial y el sector de maquila. Como actividad singular, la industria textilera ocupa el segundo lugar en relación al aporte de divisas al Producto Interno Bruto (PIB), superada únicamente por la agricultura nacional, por lo que es evidente su importación en el sector industrial, así como también para la economía guatemalteca. (Guzmán, 2018)

La contaminación ambiental generada por los colorantes representa un desafío crítico a nivel mundial, por lo tanto, es esencial buscar alternativas para abordar esta problemática. Dada su compleja composición química y su origen sintético, los colorantes presentan una resistencia considerable a la decoloración causada por factores como la luz, el calor, los detergentes y varios productos químicos. Según el estudio de Cecilia Castellar-Ortega et al., (2018), el colorante azul 19 se utiliza principalmente en el tinte de pantalones tipo jean. Este colorante se destaca por su alta solubilidad en agua y su dificultad para degradarse en condiciones ambientales normales.

En la investigación científica se han mencionado diversos materiales no convencionales con potencial para eliminar colorantes, incluyendo adsorbentes naturales, materiales industriales y agroindustriales (Kyzas et al., 2012). El café es un cultivo agrícola ampliamente cultivado a nivel mundial, siendo utilizado principalmente para preparar bebidas a partir de granos molidos. La cáscara de café se destaca como el subproducto principal generado por la industria y la actividad comercial

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

asociada. Según los informes de Urribarrí et al. (2014), en 2010, la producción mundial de granos de café superó los 8 millones de toneladas, lo que implica la generación de una gran cantidad de cáscara. Aunque comúnmente se descarta en vertederos, esta cáscara puede ser aprovechada como un material adsorbente.

Guatemala es el noveno productor de café del mundo, debido a esta situación el consumo local también es importante, y los desechos del proceso de percolación son considerables, la presente propuesta busca darles una alternativa a dichos desperdicios y con ello contribuir al saneamiento de aguas que son utilizadas en la industria textil y que se ven afectadas directamente.

4 Antecedentes

La industria textil líder en la región Centroamericana se encuentra ubicada en Guatemala, distinguida por su competitividad, versatilidad y sobre todo por ser un ente generador de empleo de miles de guatemaltecos en toda la República, representando el 19% de la producción nacional de la industria, reflejado en el Producto Interno Bruto industrial (PIB industrial) conformando el 8.9% del PIB nacional según el Instituto Nacional de Estadística (INE) (Vestex, 2015, como se citó en Gálvez-Lucia, 2018, p.4)

La eliminación de contaminantes orgánicos persistentes en aguas residuales, como los colorantes textiles, es un problema ambiental importante (Primera-Pedrozo et al., 2011). Diversos estudios han explorado tecnologías para remover estos contaminantes, siendo la adsorción una de las técnicas más eficientes y viables económicamente (Daniel et al., 2006; Vidal et al., 2018).

El uso de materiales adsorbentes derivados de residuos agrícolas, como cáscaras de frutos secos, astillas de madera o cascarilla de café, ha sido ampliamente estudiado para remover colorantes azoicos (Budinova et al., 2006; Feng et al., 2020; Gallego Ramírez & Rubio-Clemente, 2021). Específicamente, la cascarilla de café es un residuo agroindustrial abundante que puede convertirse en carbón activado de bajo costo.

Algunos estudios han modificado químicamente el carbón activado de cascarilla de café para mejorar su capacidad adsorbente, mediante oxidación, activación ácida o alcalina (Akindolie & Choi, 2022; Lafi & Hafiane, 2016). Otros han utilizado cascarilla de café sin modificaciones químicas, obteniendo buenos resultados de adsorción de colorantes (Kyzas et al., 2014; Pérez Briones, 2017).

Por otro lado, Barón Pacheco (2014) determinó mediante FTIR que los grupos carboxilo y amida son los principales grupos funcionales de la cascarilla de café responsables de la adsorción de

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

contaminantes. Asimismo, estudios previos indicaron que colorantes como el azul reactivo 19 son difíciles de degradar y causan daños ambientales (Al-Robayi et al., 2015).

Sin embargo, no se han encontrado investigaciones sobre la evaluación comparativa del uso de carbón activado de cascarilla de café con y sin modificación química para la adsorción específica del colorante azul reactivo 19 en función del tiempo de contacto y concentración inicial. Este estudio podría impactar positivamente al proponer una alternativa eficiente y amigable con el ambiente para tratar aguas contaminadas con colorantes, aprovechando un residuo agroindustrial.

}

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

5 Planteamiento del problema

Más del 90% de los cuerpos de agua en Guatemala tiene un grado considerable de contaminación, hablando de contaminantes de origen antropogénico, y a su vez peligrosos para el ser humano. De igual forma los ecosistemas acuáticos se han visto altamente degradados no solo por su aprovechamiento sino por los desbalances tanto nutricionales como de disposición de oxígeno y otros elementos vitales para la vida marina, causados por el aporte de cargas contaminantes altas a las mismas. (Guzmán, 2018)

Además de ser una industria económicamente crucial en nuestro país, el sector textil también es conocido por su elevado consumo de agua. Los efluentes generados por esta industria contienen una amplia gama de contaminantes, destacando especialmente los colorantes. Estas sustancias están diseñadas para ser altamente resistentes, incluso a la degradación microbiana.

Según un estudio (Hao et al., 2010), se estima que el colorante azul 19 tiene una vida media de 46 años a 25°C y pH 7.0. Además, los colorantes presentan una fijación deficiente en los tejidos y se pueden encontrar concentraciones de colorante superiores a 1,500 mg/L en los líquidos de desecho. Más del 90% de los colorantes persisten incluso después de los tratamientos con lodos activados, lo que indica su resistencia a los procesos de depuración convencionales (Dias et al., 2009).

La importancia del presente trabajo de investigación se fundamenta en la evaluación de una alternativa viable y efectiva para la remoción del colorante azul número 19, de alto uso en la industria textil, haciendo uso del carbón activado física y químicamente como medio adsorbente del color, utilizando como materia prima la cascarilla de café, transformando este “desecho” en un recurso de aprovechamiento ecológico en la mitigación del problema serio de salud pública por contaminación del agua por colorantes, contribuyendo de esta manera a la disponibilidad de agua, a través de su tratamiento, para su reúso. Puesto que el agua hace la mediación de gran parte de los efectos del cambio climático sobre la agricultura, en muchas regiones del mundo la mayor escasez de agua supone un gran reto de adaptación climática. (Organización para las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, 2020).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

6 Marco teórico

Cascarilla de café

Es un residuo significativo generado durante el procesamiento agroindustrial, compuesto por lignina (18 %), celulosa (45 %) y hemicelulosa (28 %). Las cascarillas de café, que incluyen la piel exterior seca, la pulpa y el pergamino, constituyen la principal forma de desecho resultante de la manipulación y el procesamiento del café, representando aproximadamente el 25,5 % del peso total del café (Ayalew & Aragaw, 2020).

Cascarilla de café como material bioadsorbente

La cascarilla de café ha demostrado ser un material bioadsorbente eficaz en la remoción de contaminantes debido a su alta capacidad de adsorción y su composición rica en compuestos fenólicos. Su estructura porosa proporciona sitios de adsorción activos para la captura de sustancias indeseables en diversos procesos de tratamiento de aguas residuales. Además, su bajo costo, renovabilidad y abundancia lo convierten en una opción prometedora para aplicaciones medioambientales sostenibles (Aranguri-Llerena & Reyes-Lázaro, 2019).

Carbón activado

Se trata de un material poroso con una amplia superficie interna que se utiliza en diversas aplicaciones debido a su capacidad para retener moléculas y sustancias. Su estructura está formada por microcristales de átomos de carbono dispuestos en planos hexagonales superpuestos de manera desordenada, lo que le confiere una alta porosidad y superficie. A pesar de su falta de estructura cristalina ordenada, el carbón activado es altamente efectivo en la captura de una amplia variedad de sustancias (Vidal et al., 2018). Es capaz de atrapar moléculas en su superficie interna y, por lo tanto, actuar como un adsorbente. Las dimensiones de los poros de los carbones generalmente son superior a 0,2 cm³/g, y su área superficial interna normalmente supera los 400 m²/g. La amplitud de los poros varía desde 0,3 hasta varios miles de nanómetros (Aranguri-Llerena & Reyes-Lázaro, 2019)

Tipos de activación

Activación Física

Involucra el procedimiento de pirólisis primaria del material antecedente, seguido de un procedimiento calorífico a altas temperaturas que varían entre 800 y 1000 °C, en presencia de una corriente de gas,

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

como vapor de agua, dióxido de carbono o una mezcla de gases que garanticen una atmósfera ligeramente reactiva (Feng et al., 2020).

Activación Química

Se fundamenta en el procedimiento de impregnación del material antecedente con sustancias deshidratantes, seguido de un tratamiento calorífico a temperaturas que varían entre 400 °C y 900 °C, donde la carbonización y activación suceden de manera prácticamente simultánea. El ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de sodio (NaOH) son agentes químicos empleados para la activación química de materiales lignocelulósicos. La tarea de estos agentes desecantes durante la pirólisis es inhibir la liberación de materia orgánica y aumentar la retención de carbono. Uno de los agentes químicos más usados para la activación química de esos carbones es el ácido fosfórico, debido a que posibilita obtener las propiedades físicas y químicas requeridas para su finalidad (Vidal, 2018).

Adsorción

La adsorción implica transferir materia desde una fase y concentrarla en la superficie de otra, donde se generan interacciones físicas o químicas entre las moléculas del fluido y los átomos del sólido. El tiempo durante el cual una molécula permanece en la superficie antes de liberarse depende de la naturaleza de la superficie, la molécula en cuestión, la temperatura y la energía cinética. Las fuerzas que están involucradas en la adsorción se dividen en intermoleculares o fuerzas de van der Waals (Budinova et al., 2006a, 2006b; Gallego Ramírez & Rubio-Clemente, 2021).

Adsorción física

Este procedimiento se destaca por su baja energía implicada, lo cual resulta en una velocidad de adsorción determinada por la resistencia a la transferencia de masa y una energía de activación prácticamente insignificante. Además, se caracteriza por su falta de especificidad, dado que la adsorción física puede tener lugar en toda la superficie del sólido (Feng et al., 2020; Zhang et al., 2023).

Adsorción química

Se destaca por presentar un alto calor de adsorción. La velocidad de adsorción se ve influenciada por la resistencia en la reacción superficial y posee una energía de activación elevada, propia de una reacción química. Es altamente específica, lo que implica que las moléculas de adsorbato se adhieren a centros activos específicos en la superficie, y esta no se llega a cubrir por completo como ocurre en el caso de la adsorción física (Feng, Fan, Zhu, & Guo, 2018; Kyzas, Lazaridis, & Mitropoulos, 2012; Zhang et al., 2023).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Agua residual de la industria textil

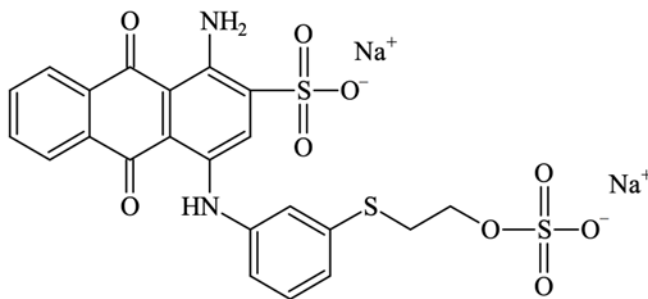
Las aguas residuales de la industria textil tienen características específicas, como su composición, flujo y alta concentración de color. Estos efluentes tienen diferentes niveles de concentración de colorantes, que pueden ser persistentes en las telas y casi imposibles de degradar por procesos biológicos. La producción mundial anual de colorantes sintéticos para textiles es de 700,000 toneladas, y más del 15% de ellos son vertidos a las aguas residuales de la operación de teñido. Estos colorantes no son biodegradables y sus compuestos intermediarios para la degradación son tóxicos. Se requieren otros procesos para su tratamiento (Gallego Ramírez & Rubio-Clemente, 2021).

Colorante Azul reactivo 19

El RBBR (Remazol Blue Brilliant Reactive) es un colorante de antraquinona azul brillante que posee una gran relevancia en la industria textil (Parimelazhagan, Y, 2022). Estudios previos han demostrado que este colorante tiene una carga negativa debido a la presencia de grupos sulfonato en su estructura.

Figura 1.

Estructura química del colorante azul reactivo 19



Nota. Por Al-Robayi, E., Alkaim, A. F., Algubili, A. M., & Alrobayi, M. (2015). Photocatalytic degradation of remazol brilliant blue dye by ZnO/UV process. In Article in International Journal of Chemical Sciences (Vol. 13). Retrieved from www.sadgurupublications.com

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

7 Estado del Arte

La eliminación de contaminantes orgánicos persistentes, como los colorantes de textiles, es un problema ambiental global (Primera-Pedrozo et al., 2011). Aunque se han desarrollado varias tecnologías para eliminar estos contaminantes, como la oxidación química, la fotocatalisis, la electrocoagulación, la biodegradación, la adsorción sigue siendo una de las técnicas más eficientes y económicamente viables (Daniel et al., 2006; Primera-Pedrozo et al., n.d., 2011; Vidal et al., 2018). La adsorción se ha utilizado ampliamente debido a su capacidad para eliminar contaminantes de manera eficiente y económica.

En la literatura científica, se han llevado a cabo varios estudios sobre el uso de carbón activado de diferentes materiales, como cáscaras de coco, cáscaras de nuez, astillas de madera, para la eliminación de colorantes azoicos en aguas residuales (Budinova et al., 2006a, 2006b; Feng et al., 2020; Gallego Ramírez & Rubio-Clemente, 2021).

La cascarilla de café es un residuo agrícola común en muchos países, que se puede convertir en carbón activado, y ha sido objeto de estudios para la eliminación de contaminantes del agua. La modificación química se puede usar para mejorar la capacidad de adsorción del carbón activado de la cascarilla de café (González-García, 2018; Lafi & Hafiane, 2016; Zhang et al., 2023). El proceso de modificación química puede incluir oxidación, activación ácida, modificación alcalina, entre otros (Akindolie & Choi, 2022; Lafi & Hafiane, 2016).

Por otra parte, la adsorción de colorantes ácidos usando residuos agroindustriales como material adsorbente ha sido ampliamente estudiada. Kyzas et al. [9] usaron residuos de café como bioadsorbente para remover el colorante azul remazol obteniendo una capacidad máxima de adsorción de 179 mg/g a pH 2, indicando que los residuos de café no fueron tratados químicamente (Pérez Briones, 2017)

(Barón Pacheco, 2014), refiere que, Se evaluó la cascarilla de café como material adsorbente para la remoción de iones Pb^{2+} presente en soluciones acuosas por medio de ensayos de adsorción en modo discontinuo (Batch). El material fue caracterizado mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), a través del cual se determinó que la cascarilla de café posee en la superficie grupos funcionales que le confieren la habilidad para adsorber contaminantes.

Los estudios de infrarrojo mostraron que los grupos carboxilo y amida son los principales grupos funcionales responsables de la biosorción del colorante (Barreda-Reyes et al., 2015)

En cuanto al colorante azul reactivo 19, también conocido como Remazol Brilliant Blue R, es uno de los colorantes azoicos más utilizados en la industria textil (Al-Robayi et al., 2015). Es difícil de degradar debido a su estructura química compleja y puede causar daño ambiental y de salud si no se trata adecuadamente.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Además, el uso de la cascarilla de café como materia prima es una forma de reutilizar un residuo generado por la industria del café y transformarlo en un material de alta utilidad. En este sentido, también se busca evaluar cómo la cantidad de colorante azul reactivo 19 y el tiempo de contacto afectan el poder de adsorción de los carbones activados, tanto químicos como físicos.

Los resultados de esta investigación podrían tener un impacto significativo en la eliminación de contaminantes en aguas residuales, al desarrollar un método eficiente y económico que aprovecha un residuo agrícola como materia prima. Además, el uso de la cascarilla de café para la producción de carbón activado podría tener un impacto positivo en el medio ambiente y en la economía local, al reducir la cantidad de residuos generados por la industria del café y al generar un producto con alta utilidad y valor agregado.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

8 Objetivos

8.1 Objetivo General

Evaluar el efecto bioadsorbente de la cascarilla de café modificada químicamente en aguas contaminadas con colorante azul reactivo 19.

8.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el carbón activado tratado químicamente con ácido fosfórico.
2. Caracterizar el carbón activado tratado térmicamente a partir de las cascarillas de café.
3. Evaluar el efecto de la concentración del colorante azul reactivo 19 sobre la capacidad de adsorción en los carbones activados.
4. Evaluar el efecto del tiempo de contacto de la solución del colorante azul reactivo 19 sobre la capacidad de adsorción en los carbones activados.

9. Hipótesis

1. El carbón activado de cascarilla de café tratado químicamente tendrá una mayor cantidad de grupos funcionales con carga superficial, lo que mejorará su capacidad de adsorción en comparación con el carbón activado de cascarilla de café sin tratar.
2. El carbón tratado químicamente obtenido de la cascarilla de café aumentará su superficie específica y expondrá más poros mesoporosos, mejorando así su capacidad de adsorción en comparación con el carbón activado de cascarilla de café sin tratar.
3. A medida que se aumenta la concentración del colorante azul reactivo 19 en la solución, se espera que se incremente el % de adsorción del colorante por el carbón activado de cascarilla de café debido a una mayor cantidad de sitios de adsorción disponibles.
4. A medida que se incrementa el tiempo de contacto de la solución del colorante azul reactivo 19 con el carbón activado de cascarilla de café, se espera que aumente el porcentaje de adsorción del colorante debido a una mayor oportunidad para la difusión y adsorción de las moléculas del colorante en la superficie del carbón activado.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10. Materiales y métodos

10.1. Enfoque de la investigación:

Es cuantitativo. El tipo de investigación es experimental porque se controlan las variables independientes.

10.2. Método

Los métodos que se emplearán en la propuesta de investigación se describen a continuación:

Tabla 1

Métodos que se emplearán en la propuesta de investigación

Proceso	Método
Pretratamiento del material vegetal: Cascarilla de café	La preparación del material consiste en la selección, lavado y deshidratación de la cascarilla.
Activación física del material vegetal: Cascarilla de café	El proceso activación física por medio de la carbonización del material.
Activación química del material vegetal: Cascarilla de café	La activación química se lleva a cabo mediante la utilización una sustancia química a diferentes concentraciones.
Objetivo específico 1: Caracterizar el carbón activado tratado químicamente con ácido fosfórico	Se efectuará la caracterización fisicoquímica del carbón activado a través de la técnica de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y el método Boehm.
Objetivo específico 2: Caracterizar el carbón activado tratado físicamente a partir de la cascarilla de café	Se efectuará la caracterización fisicoquímica del carbón activado a través de la técnica de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y el método Boehm.
Objetivo específico 3: Evaluar el efecto de la concentración del colorante azul reactivo 19 sobre la capacidad de adsorción en los carbones activados química y físicamente.	Se seguirá el procedimiento descrito en el estudio publicado por Castellar-Ortega et al., (2020). La concentración se determinará utilizando Espectrofotometría UV-vis.
Objetivo específico 4: Evaluar el efecto del tiempo de contacto de la solución del colorante azul reactivo 19 sobre la capacidad de adsorción en los carbones activados química y físicamente.	Se dispondrán muestras de agua, cada una con igual concentración de colorante, a las cuales se les añadirá un contenido específico de carbón activado y se determinará la concentración del reactivo azul 19 a distintos períodos, utilizando Espectrofotometría UV-vis, siguiendo el protocolo establecido por Castellar-Ortega et al. (2020)

Nota. Elaboración propia 2023.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10.3. Técnicas e instrumentos

- Preparación del material vegetal

Las cascarillas de café recolectadas se someterán a un proceso de lavado con agua desmineralizada (Lafi, ben Fradj, Hafiane, & Hameed, 2014, como se citó en Castellar-Ortega et al., 2020) caliente hasta conseguir un pH constante, el cual será monitoreado con un potenciómetro de mesa marca *Hanna Instruments*, esto permitirá eliminar finos e impurezas presentes. El residuo húmedo se secará en un horno convectivo a una temperatura de 105 °C por 24 horas (Feng, Fan, ZHU, & GUO, 2018, como se citó en Castellar-Ortega et al., 2020).

- Activación física de los carbones

El proceso de carbonización sin tratamiento químico consiste en colocar las muestras secas en cápsulas de porcelana y una mufla a temperatura de 600 °C, con tiempo de tratamiento de 1 minuto por gramo. Luego será sometido a un proceso de pulverizado en mortero, finalmente se depositan en bolsas de polietileno y se almacenan bajo condiciones de refrigeración hasta su análisis y/o uso (Julio Alberto Solís-Fuentes, 2012).

- Activación química de los carbones

El carbón activado se produce mediante un proceso de activación química del precursor utilizando H_3PO_4 , según lo descrito en los estudios de Ma & Ouyang (2013) y Neme et al. (2022), a diversas concentraciones, como 20% (CA20) en relación masa/volumen. El proceso de impregnación implica agregar la solución de ácido fosfórico a una cantidad específica de cascarilla deshidratada en una relación de uno/cuatro (g de cascarilla seca: mL de solución) en un balón con recirculación. Luego, se agita en un equipo ultrasónico a sesenta y cinco grados Celsius (65 °C) durante 7 h y se calcina en un horno mufla a 550 °C durante una hora. Se realizarán lavados con agua destilada para remover el remanente de ácido fosfórico hasta que el potencial de hidrogeno se mantenga constante. Posteriormente, se empleará un tiempo 24 horas y una temperatura de 105 °C para activar los carbones y se almacenan en condiciones adecuadas.

Caracterización fisicoquímica del adsorbente

La caracterización fisicoquímica se realizará utilizando Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) mediante un espectrofotómetro de la marca "*Perkin Elmer/Frontier*". Este análisis identificará los componentes químicos relevantes, siguiendo los métodos descritos por Ahmad & Alrozi (2010) y Ma & Ouyang (2013). Los espectros obtenidos se registrarán a una velocidad de barrido de 20 escaneos/min con una resolución de 2/cm, abarcando el rango de infrarrojo de 4000 a 400 cm^{-1} .

González-García, Kyzas, Lazaridis, y Mitropoulos (2018) indican que:

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

La acidez de las cascarillas de café y los carbones activados se evaluará mediante el método Boehm, siguiendo las referencias de Para la cuantificación, se tomarán 1.0 g de muestras por separado y se mezclarán con 50 cm³ de disoluciones de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃. Luego, se agitarán durante 24 horas a 25 °C en un agitador. Posteriormente, se filtrarán las muestras, se tomará una alícuota y se determinará la concentración final utilizando ftalato ácido de potasio como estándar primario para NaOH y HCl 0.1 M para Na₂CO₃ y NaHCO₃. Este proceso se llevará a cabo en triplicado. (p.5)

Según Boehm (2002), "el NaOH neutraliza los grupos carboxílicos, lactónicos y fenólicos; el Na₂CO₃ neutraliza los grupos carboxílicos y lactónicos, mientras que el NaHCO₃ solo neutraliza los grupos carboxílicos" (p. 6).

- Determinación de la capacidad y porcentaje de adsorción (Variables respuesta)

Para investigar el impacto de la concentración del colorante azul reactivo 19 en las variables respuesta del estudio, se seguirá el procedimiento descrito en el estudio publicado por Castellar-Ortega et al., (2020) donde sugiere:

Se prepara una disolución de 500 mg/dm³ del colorante azul reactivo 19, se disolverá la cantidad en agua destilada. Posteriormente, se realizarán las diluciones de 2, 6, 10, 25 y 35 mg/dm³. A 1 000 mg del adsorbente se le adicionarán 100 cm³ de cada una de las disoluciones, luego se colocarán en un agitador a 120 rpm por ocho horas a 25 °C. Posteriormente, se filtrará y se tomará una alícuota del colorante azul reactivo 19 y se determinará la concentración en un Espectrofotómetro UV-vis a una λ de 575 nm. (p.7)

Para determinar la cinética del proceso, se prepararán diez muestras de 1g de carbón en 100 ml de una solución del azul reactivo 19 con una concentración de 50 mg/dm³. Estas muestras se colocarán en un agitador y se evaluarán en diferentes momentos: 5, 10, 20, 60, 120, 180, 240, 300, 360 y 420 minutos. En cada intervalo de tiempo, se tomará una muestra, se filtrará y se medirá su concentración utilizando un espectrofotómetro UV-vis, siguiendo el protocolo establecido por Castellar-Ortega et al. (2020).

Para determinar la adsorción, se emplearán dos modelos cinéticos: *pseudo*-primer orden y *pseudo*-segundo orden. La ecuación del modelo *pseudo*-primer orden será utilizada, y está expresada como:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_f t \quad (1)$$

Donde:

q_t (mg/g): cantidad de colorante adsorbido a un tiempo t

q_e (mg/g): capacidad de adsorción en el equilibrio

k_f (min⁻¹): constante de velocidad de *pseudo*-primer orden, y

t (min): tiempo de contacto (Aljeboree, Alshirifi, & Alkaim, 2017 como se cit).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Los valores de q_e y k_f se determinarán con las gráficas lineales de $\ln(q_e - q_t)$ en función de t (Konicki et al., 2017).

El modelo de *pseudo*-segundo orden expresada como:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{k_s q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

Donde k_s (g/mgmin) es la constante de pseudo segundo orden. Los valores de k_s y q_e se determinarán a partir de la pendiente e intercepto de la línea recta de la gráfica $\frac{t}{q_t}$ en función t .

Aunado a lo anterior, para explicar el mecanismo de difusión del azul reactivo 19 en los diferentes carbones activados, los valores de la cinética se ajustarán al modelo de difusión intrapartícula:

$$q_t = k_p t^{0.5} + C \quad (3)$$

Donde:

C (mg/g): constante relacionada con el espesor de la capa límite

k_p (mg/gmin^{0.5}): constante de difusión intrapartícula; ambas constantes se determinarán a través de la pendiente e intercepto de la línea recta al graficar q_t en función de $t^{0.5}$ (Konicki et al., 2017).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10.4. Operacionalización de las variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
Caracterizar fisicoquímicamente el carbón activado químicamente obtenido de la cascarilla de café.	Determinación cuantitativa de los grupos funcionales (Acidez total, ácidos carboxílicos, lactonas y fenoles) con carga superficial presente en la cascarilla de café por medio del método Boehm.	% Transmitancia Grupos funcionales (meq/g)
Caracterizar fisicoquímicamente el carbón activado físicamente obtenido de la cascarilla de café.		
Evaluar el efecto de la concentración del colorante azul reactivo 19 sobre la capacidad de adsorción en los carbones activados química y físicamente. Evaluar el efecto del tiempo de contacto de la solución del colorante azul reactivo 19 sobre la capacidad de adsorción en los carbones activados química y físicamente.	Determinación de la presencia de los grupos funcionales a través de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) Capacidad de adsorción, siguiendo la metodología de (Castellar-Ortega et al., 2020).	mg/g min g/mg min

Nota. Elaboración propia, Liexve 2023.

10.5. Procesamiento y Análisis de Información

Se realizará un diseño multiplicativo de (2x5x5), que consiste en 2 tipos de activación, 10 tiempos y 5 concentraciones del colorante, para un total de 50 tratamientos con tres replicas para un total de 150 réplicas.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 3

Tratamientos a realizar con los tres factores.

	T1					T2				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
t1	t1C1T1	t1C2T1	t1C3T1	t1C4T1	t1C5T1	t1C1T2	t1C2T2	t1C3T2	t1C4T2	t1C5T2
	t1C1T1	t1C2T1	t1C3T1	t1C4T1	t1C5T1	t1C1T2	t1C2T2	t1C3T2	t1C4T2	t1C5T2
	t1C1T1	t1C2T1	t1C3T1	t1C4T1	t1C5T1	t1C1T2	t1C2T2	t1C3T2	t1C4T2	t1C5T2
t2	t2C1T1	t2C2T1	t2C3T1	t2C4T1	t2C5T1	t2C1T2	t2C2T2	t2C3T2	t2C4T2	t2C5T2
	t2C1T1	t2C2T1	t2C3T1	t2C4T1	t2C5T1	t2C1T2	t2C2T2	t2C3T2	t2C4T2	t2C5T2
	t2C1T1	t2C2T1	t2C3T1	t2C4T1	t2C5T1	t2C1T2	t2C2T2	t2C3T2	t2C4T2	t2C5T2
t3	t3C1T1	t3C2T1	t3C3T1	t3C4T1	t3C5T1	t3C1T2	t3C2T2	t3C3T2	t3C4T2	t3C5T2
	t3C1T1	t3C2T1	t3C3T1	t3C4T1	t3C5T1	t3C1T2	t3C2T2	t3C3T2	t3C4T2	t3C5T2
	t3C1T1	t3C2T1	t3C3T1	t3C4T1	t3C5T1	t3C1T2	t3C2T2	t3C3T2	t3C4T2	t3C5T2
t4	t4C1T1	t4C2T1	t4C3T1	t4C4T1	t4C5T1	t4C1T2	t4C2T2	t4C3T2	t4C4T2	t4C5T2
	t4C1T1	t4C2T1	t4C3T1	t4C4T1	t4C5T1	t4C1T2	t4C2T2	t4C3T2	t4C4T2	t4C5T2
	t4C1T1	t4C2T1	t4C3T1	t4C4T1	t4C5T1	t4C1T2	t4C2T2	t4C3T2	t4C4T2	t4C5T2
t5	t5C1T1	t5C2T1	t5C3T1	t5C4T1	t5C5T1	t5C1T2	t5C2T2	t5C3T2	t5C4T2	t5C5T2
	t5C1T1	t5C2T1	t5C3T1	t5C4T1	t5C5T1	t5C1T2	t5C2T2	t5C3T2	t5C4T2	t5C5T2
	t5C1T1	t5C2T1	t5C3T1	t5C4T1	t5C5T1	t5C1T2	t5C2T2	t5C3T2	t5C4T2	t5C5T2

Nota. T=tipo de activación del carbón, C=concentración del colorante, t=variación de tiempo

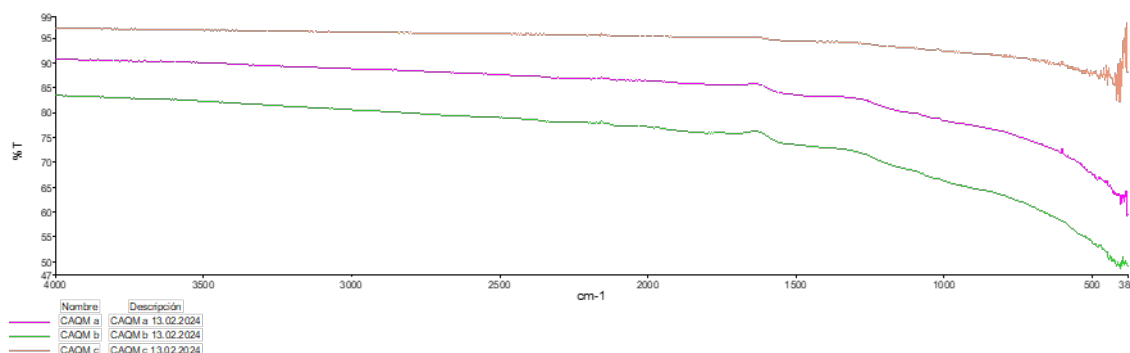
Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

11. Resultados y Discusión

11.1. Resultados

Figura 2.

Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) del carbón activado tratado químicamente, obtenido de la cascarilla de café.



Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez.

Tabla 4

Caracterización del carbón activado químicamente determinando los grupos funcionales básicos y ácidos utilizando el método Boehm.

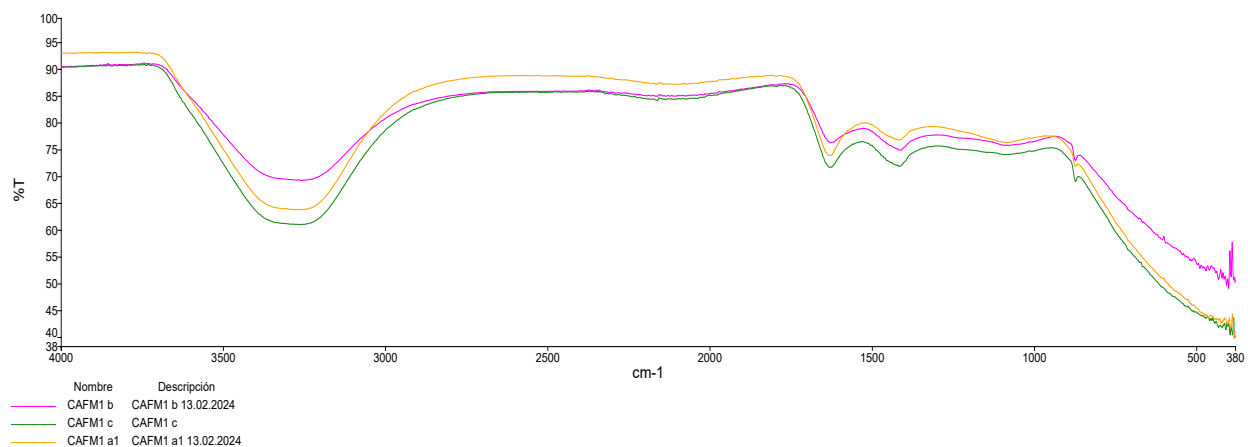
Corrida No.	Moles grupos básicos (mequiv-g/g)	Conformación grupos básicos (%)	Desviación	Moles grupos ácidos (mequiv-g/g)	Conformación grupos ácidos (%)	Desviación
1	0.95	44.28		1.20	55.72	
2	1	45.54	0.73	1.20	54.46	0.73
3	1	45.54		1.20	54.46	

Nota. Liexve 2024

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 3.

Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) del carbón activado tratado térmicamente, obtenido de la cascarilla de café.



Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 5

Caracterización del carbón activado térmicamente determinando los grupos funcionales básicos y ácidos utilizando el método Boehm

Corrida No.	Moles grupos básicos (mequiv-g/g)	Conformación grupos básicos (%)	Desviación	Moles grupos ácidos (mequiv-g/g)	Conformación grupos ácidos (%)	Desviación
1	0.95	68.24		1.20	31.76	
2	1	65.28	1.48	1.20	34.72	1.48
3	1	66.82		1.20	33.18	

Nota. Liexve 2024

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 6

Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones de colorante azul reactivo 19 (adsorbato) después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente (bioadsorbente).

Muestra No.	Concentración de colorante (mg/L)	Absorbancia			Desviación
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
1	2	0.001	0.001	0.000	0.001
2	6	0.007	0.007	0.007	0.000
3	10	0.010	0.012	0.010	0.001
4	25	0.075	0.076	0.076	0.001
5	35	0.110	0.110	0.110	0.000

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 7

Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones de colorante azul reactivo 19 (adsorbato) después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente (bioadsorbente).

Muestra No.	Concentración de colorante (mg/L)	Absorbancia			Desviación
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
1	2	0.004	0.000	0.000	0.0000
2	6	0.000	0.000	0.000	0.0000
3	10	0.001	0.000	0.001	0.0006
4	25	0.003	0.002	0.004	0.0010
5	35	0.004	0.002	0.004	0.0012

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 8

Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones del colorante azul reactivo 19 (adsorbato) a distintos tiempos de contacto con el carbón activado químicamente (bioadsorbente).

Muestra No.	Concentración de colorante (mg/l)	Tiempo de contacto (min)	Absorbancia			Desviación
			Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
1	2	5	0.023	0.024	0.024	0.0006
2	6	10	0.008	0.007	0.008	0.0006
3	10	20	0.003	0.003	0.004	0.0006
4	25	60	0.006	0.007	0.008	0.0010
5	35	120	0.008	0.008	0.008	0.0000
6	2	5	0.011	0.012	0.012	0.0006
7	6	10	0.008	0.008	0.009	0.0006
8	10	20	0.008	0.008	0.008	0.0000
9	25	60	0.016	0.016	0.016	0.0000
10	35	120	0.017	0.017	0.016	0.0006
11	2	5	0.014	0.014	0.014	0.0000
12	6	10	0.011	0.010	0.010	0.0006
13	10	20	0.014	0.01	0.011	0.0021
14	25	60	0.008	0.008	0.008	0.0000
15	35	120	0.008	0.007	0.007	0.0006
16	2	5	0.018	0.018	0.02	0.0012
17	6	10	0.036	0.037	0.037	0.0006
18	10	20	0.022	0.023	0.023	0.0006
19	25	60	0.017	0.016	0.015	0.0010
20	35	120	0.034	0.034	0.034	0.0000
21	2	5	0.113	0.112	0.113	0.0006
22	6	10	0.039	0.039	0.039	0.0000
23	10	20	0.014	0.014	0.015	0.0006
24	25	60	0.011	0.012	0.012	0.0006
25	35	120	0.068	0.066	0.067	0.0010

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 9

Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones del colorante azul reactivo 19 (adsorbato) a distintos tiempos de contacto con el carbón activado térmicamente (bioadsorbente).

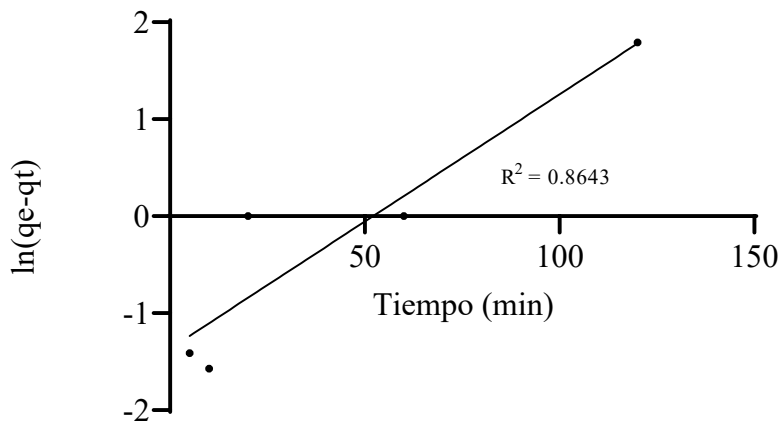
Muestra No.	Concentración de colorante (mg/l)	Tiempo de contacto (min)	Absorbancia			Desviación
			Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
1	2	5	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	6	10	0.000	0.000	0.000	0.0000
3	10	20	0.000	0.000	0.000	0.0000
4	25	60	0.000	0.000	0.000	0.0000
5	35	120	0.000	0.000	0.000	0.0000
6	2	5	0.004	0.003	0.004	0.0006
7	6	10	0.004	0.005	0.006	0.0010
8	10	20	0.000	0.000	0.000	0.0000
9	25	60	0.000	0.000	0.000	0.0000
10	35	120	0.000	0.000	0.000	0.0000
11	2	5	0.014	0.012	0.012	0.0012
12	6	10	0.000	0.000	0.000	0.0000
13	10	20	0.006	0.007	0.006	0.0006
14	25	60	0.000	0.000	0.000	0.0000
15	35	120	0.000	0.000	0.000	0.0000
16	2	5	0.055	0.054	0.055	0.0006
17	6	10	0.042	0.041	0.044	0.0015
18	10	20	0.023	0.020	0.019	0.0021
19	25	60	0.009	0.008	0.009	0.0006
20	35	120	0.000	0.000	0.000	0.0000
21	2	5	0.055	0.055	0.056	0.0006
22	6	10	0.045	0.045	0.045	0.0000
23	10	20	0.038	0.038	0.038	0.0000
24	25	60	0.005	0.004	0.003	0.0010
25	35	120	0.000	0.000	0.000	0.0000

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 4.

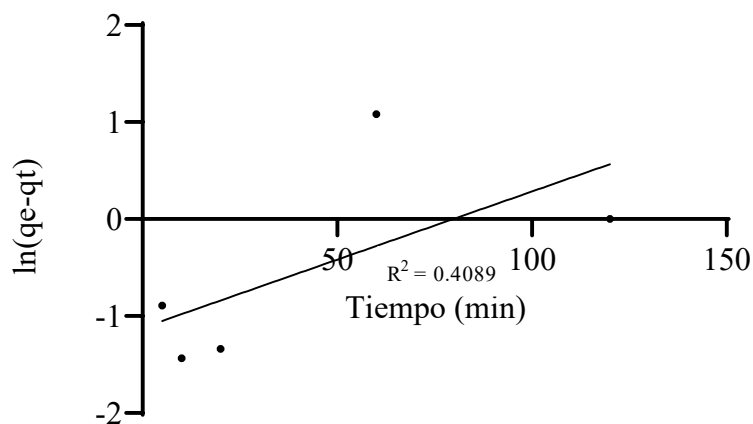
Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 5.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.

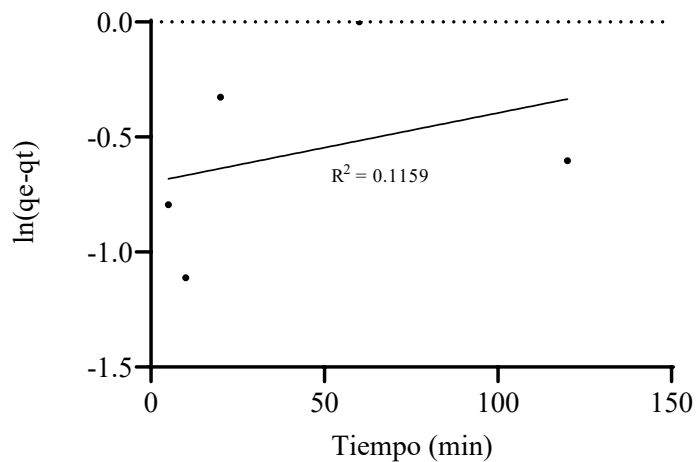


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 6.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.

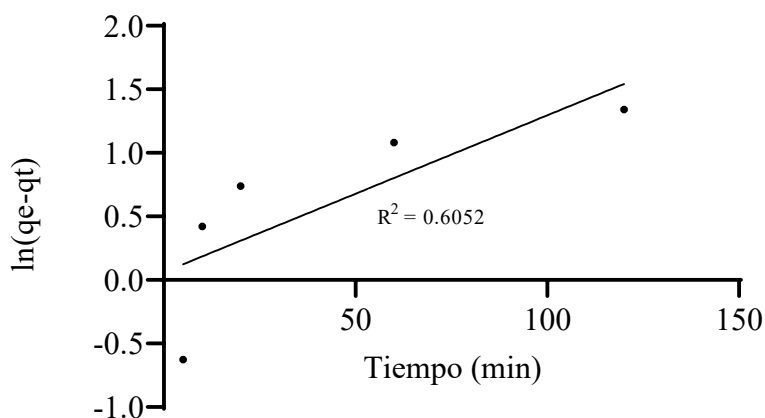


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 7.

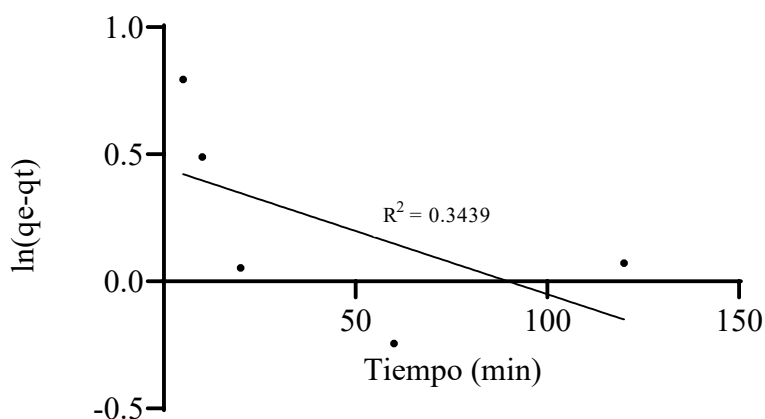
Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 8.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-primer orden.

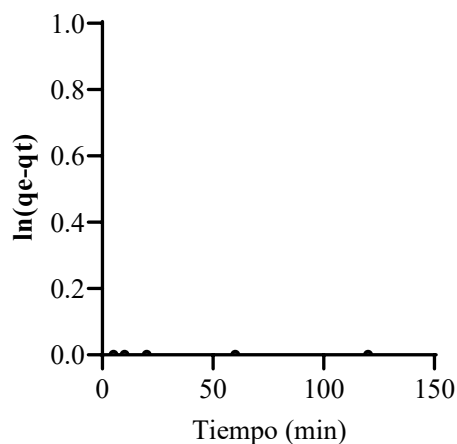


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 9.

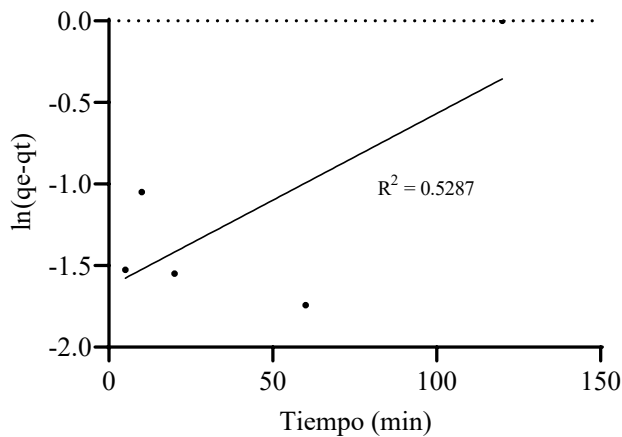
Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 10.

Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.

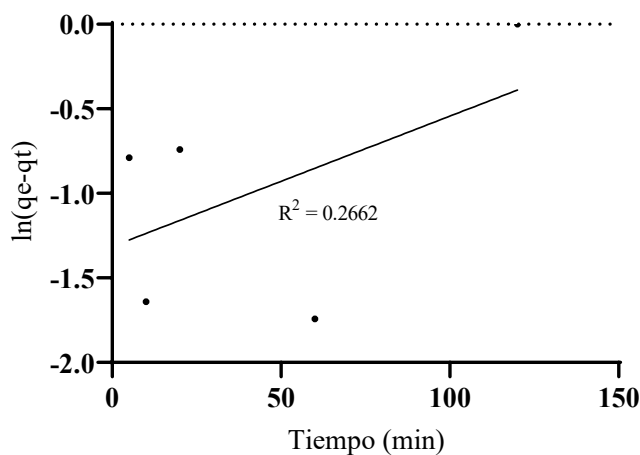


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 11.

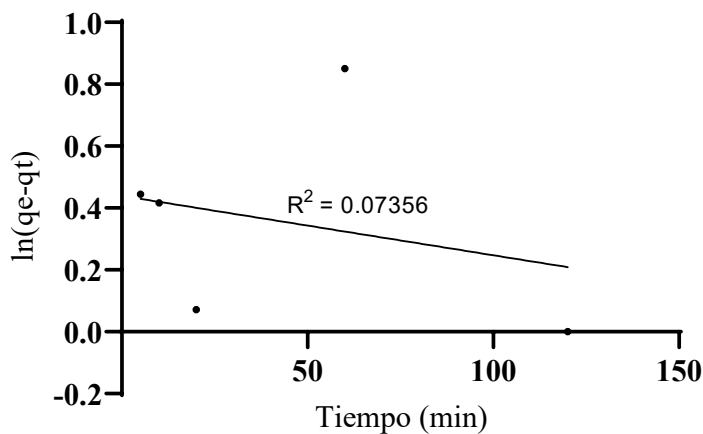
Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 12.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.

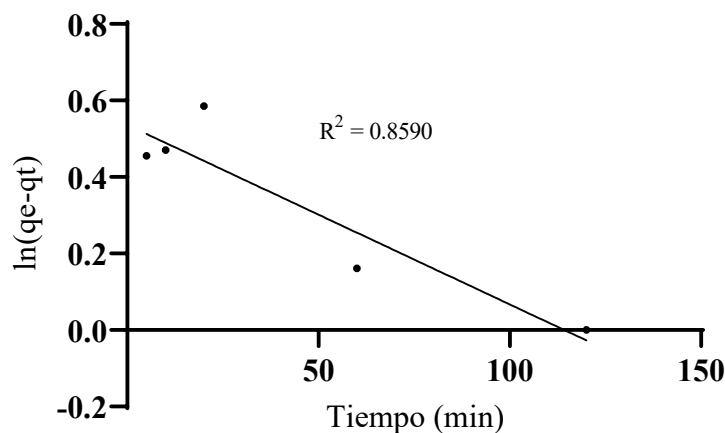


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 13.

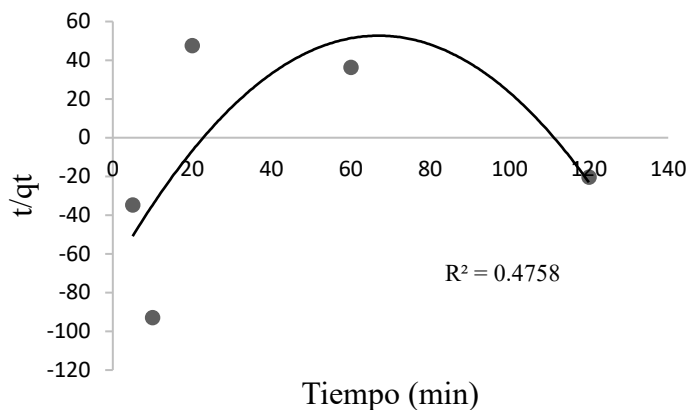
Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-primer orden.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 14.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden

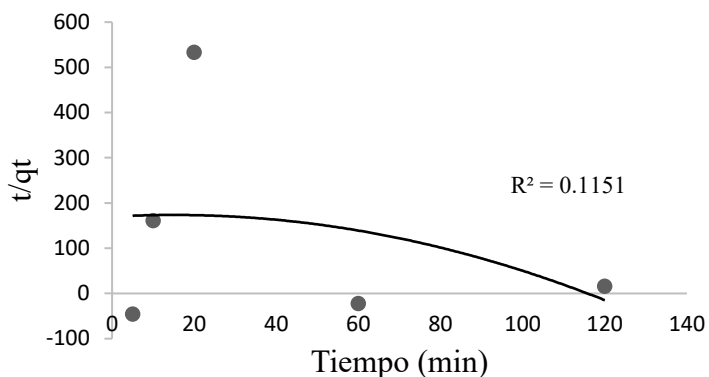


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 15.

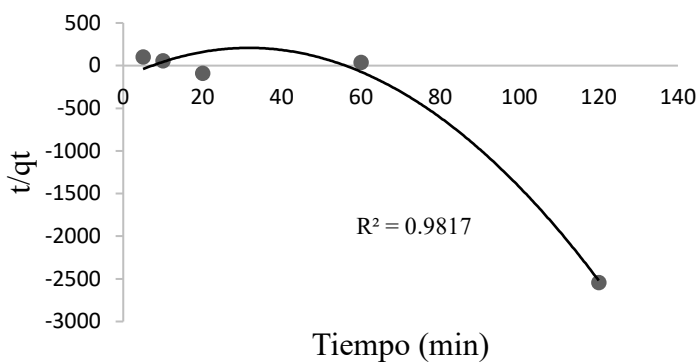
Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 16.

Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden

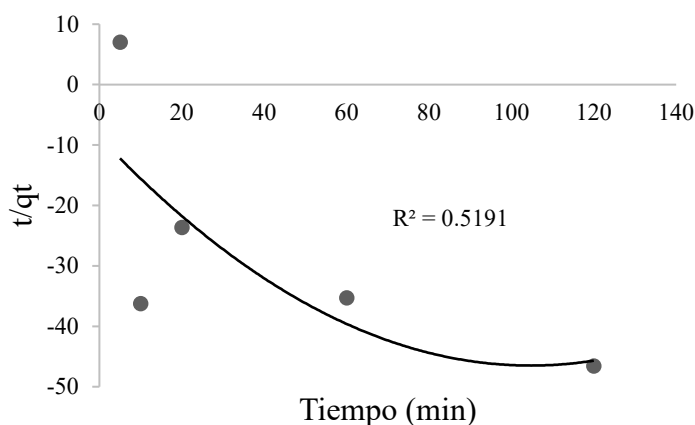


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 17.

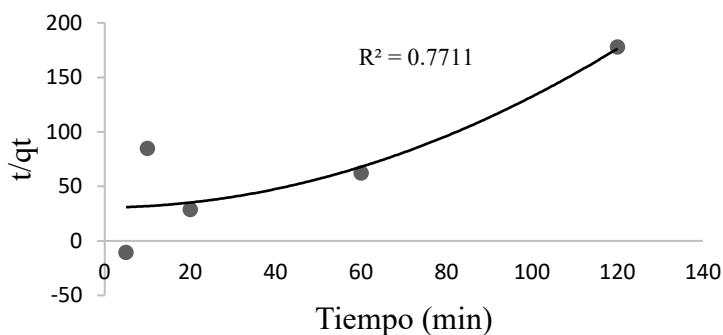
Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 18.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado químicamente para el modelo de pseudo-segundo orden

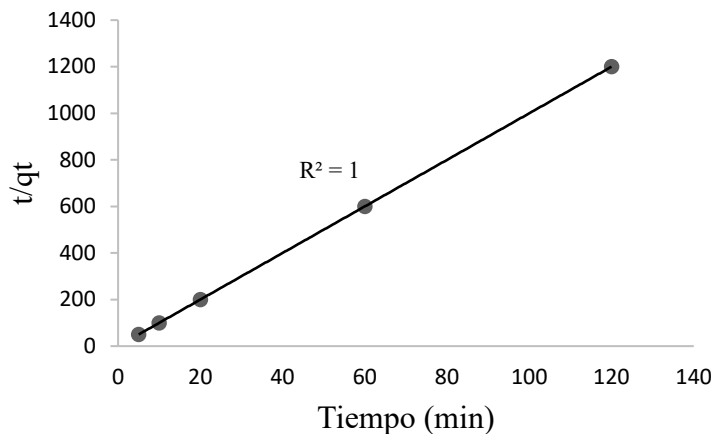


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 19.

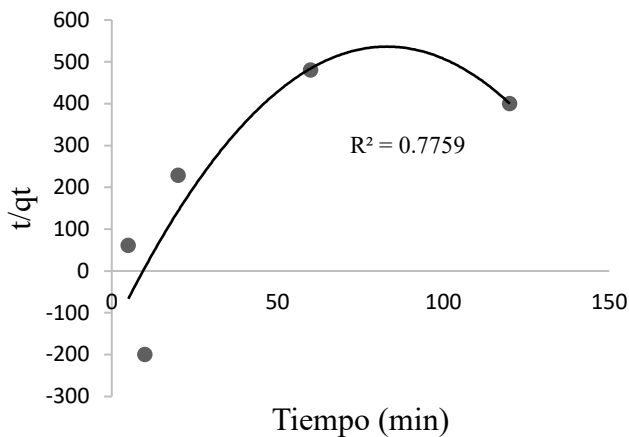
Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 20.

Curva $\ln(qe-qt)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 6 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden

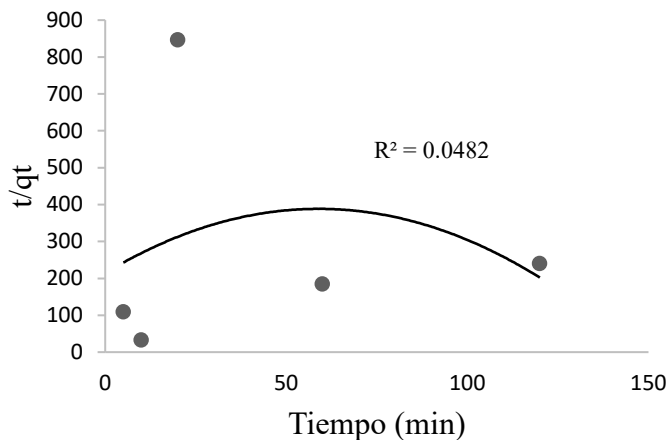


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 21.

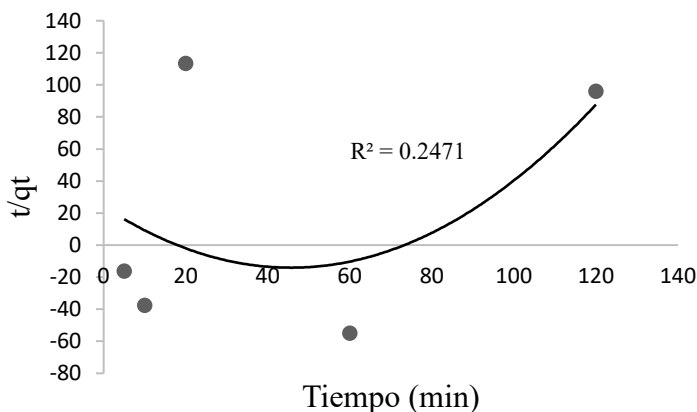
Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 10 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 22.

Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 25 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden

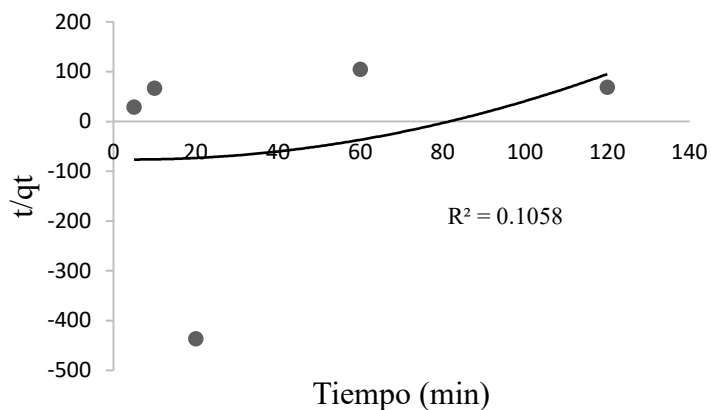


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 23.

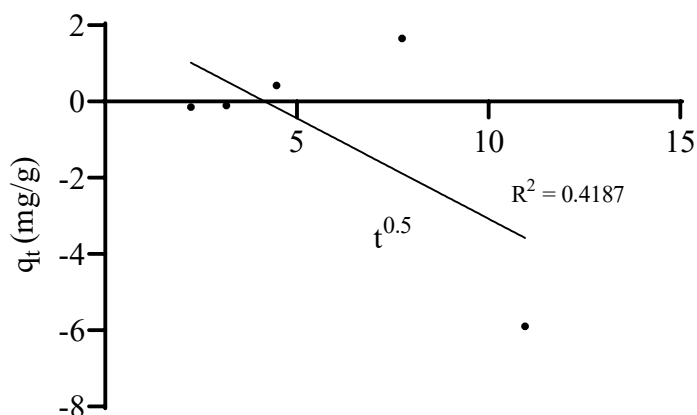
Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 35 mg/l de colorante azul reactivo 19 con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 24.

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 2 mg/l, en el carbón activado químicamente

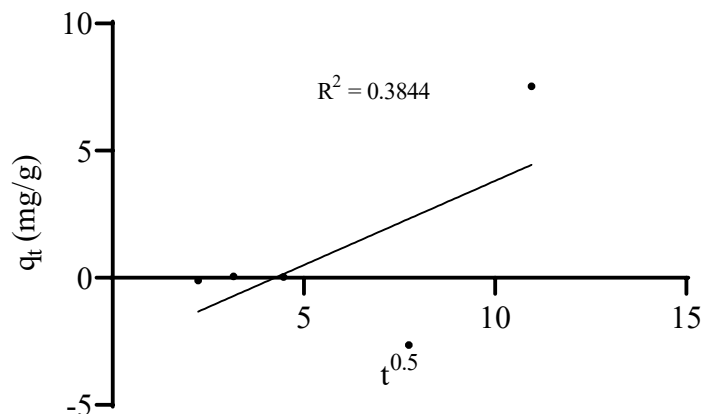


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 25.

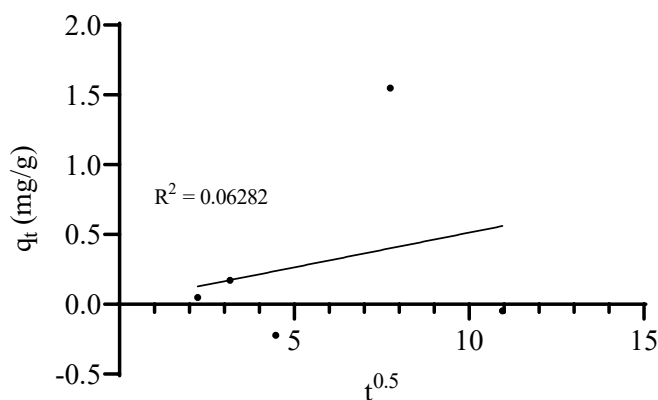
Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 6 mg/l, en el carbón activado químicamente



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 26.

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 10 mg/l, en el carbón activado químicamente

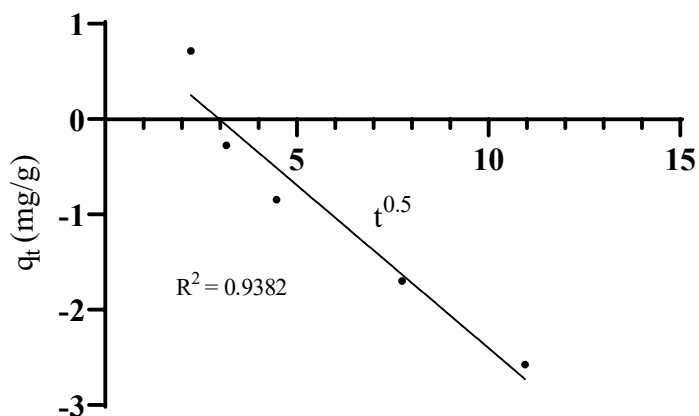


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 27.

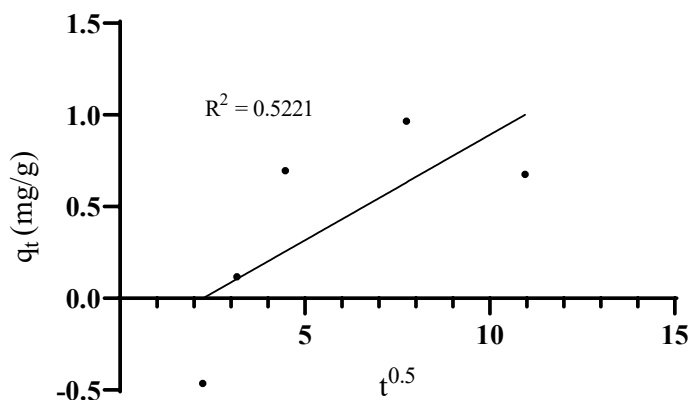
Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 25 mg/l, en el carbón activado químicamente



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 28.

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 35 mg/l, en el carbón activado químicamente

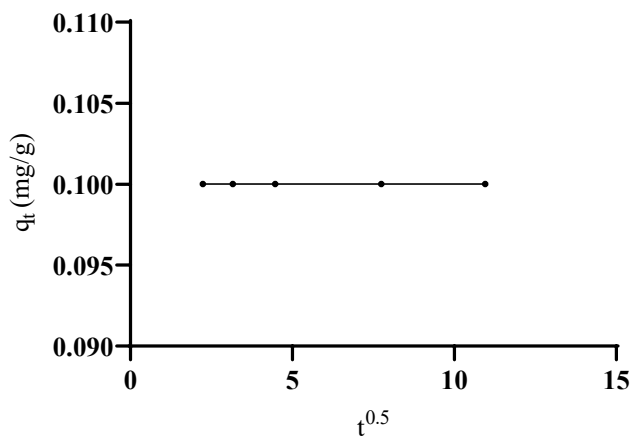


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 29.

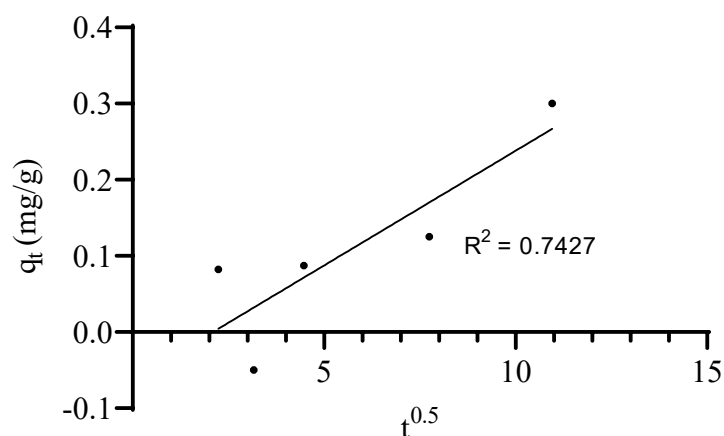
Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 2 mg/l, en el carbón activado térmicamente.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 30.

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 6 mg/l, en el carbón activado térmicamente.

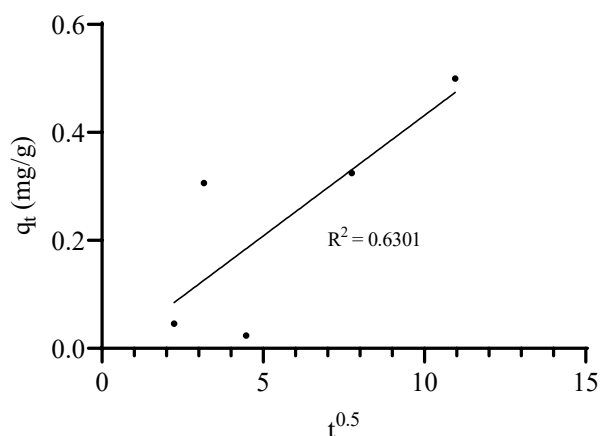


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 31.

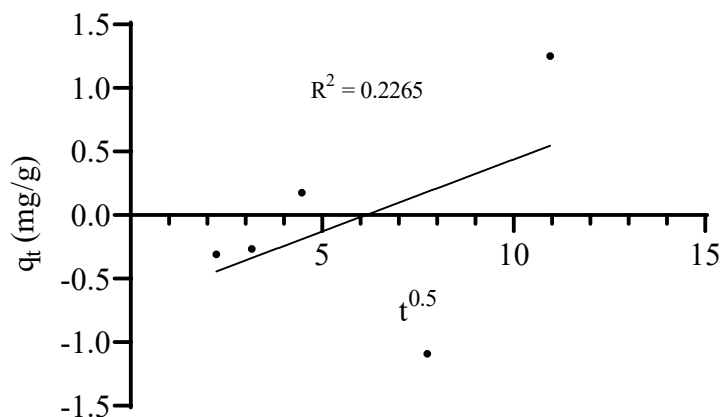
Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 10 mg/l, en el carbón activado térmicamente.



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 32.

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 25 mg/l, en el carbón activado térmicamente.

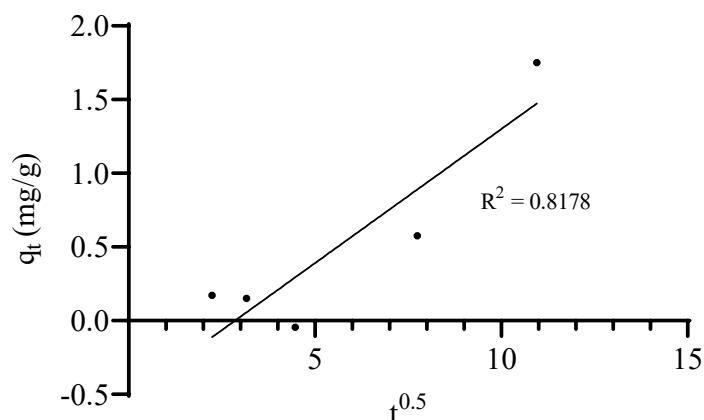


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 33.

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19 para una concentración de 35 mg/l, en el carbón activado térmicamente.



11.2. Discusión de Resultados

El diseño de investigación estriba en la obtención del carbón activado obtenido de la cascarilla de café, el cual se trató químicamente empleando soluciones de ácido fosfórico, este se comparó con el carbón tratado térmicamente (convencional) para evaluar su efecto de bioadsorción frente al colorante azul reactivo 19. El pre-tratamiento que se le dio a las muestras de cascarilla de café buscó eliminar las impurezas para establecer tiempos de secado óptimos en el cual no existiera humedad que interfiera en las lecturas. Posteriormente, se realizó el proceso de molienda donde se evitó al máximo perder parte de la muestra como también en el tamizaje con la finalidad de obtener la mayor cantidad de materia posible, se realizó un análisis granulométrico con partículas de hasta 150 μm para así obtener el área de contacto con el agente activante en el proceso de impregnación y posterior pirólisis para la cascarilla activada químicamente y para el caso de la cascarilla sin impregnación, esta fue sometida al proceso de pirólisis sin impregnación previa.

Es importante resaltar que se desea siempre obtener el menor tamaño de partícula de la molienda a un tamaño menor de las 1500 μm porque al activar con el ácido se tiene un mayor contacto de la materia prima con el activante. En otros estudios no realizan una molienda a un tamaño tan pequeño, pero se observa que en estos casos muchas veces el tiempo de contacto con el ácido tiene que ser mayor como también la cantidad de ácido empleada para la activación.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Las modificaciones a nivel estructural de los carbones tratados químicamente fueron determinadas mediante la Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier, FTIR (figura 1), en las lecturas se muestra el perfil de transmitancia y los centímetros recíprocos característicos, este comportamiento fue comparado con los resultados obtenidos del FTIR para los carbones tratados térmicamente (Figura 2). Mediante un análisis estadístico de comparación de grupos se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa por ser su valor $F < 0.05$ (tabla de ANOVA en anexos) para los diferentes perfiles espectrométricos, esto infiere que los carbones tratados con ácido fosfórico devienen en modificaciones estructurales específicas. Aunado a esto, se determinó mediante el método Boehm los grupos funcionales básicos y ácidos para los dos tipos de carbones (tabla 1 y tabla 2) donde la conformación de grupos ácidos es mayor en el activado químicamente en comparación con su homólogo, por otro lado, la conformación de grupos básico es mayor en este último. La razón por la que la activación acida es mejor que la básica se debe a la afinidad de los grupos funcionales propios del colorante. Esta información es clave para evaluar cual es la tendencia de migración y adherencia del colorante reactivo en las diferentes cargas superficiales modificadas en las estructuras de la matriz adsorbente.

Las mediciones de absorción que se realizaron para el diseño experimental fueron por espectrofotometría, en este caso se usó un Spectroquant Pharo. Todas las mediciones se realizaron a 575 nm por ser el pico más alto del colorante en cuestión.

Las curvas de calibración se realizaron por triplicado (anexos) en las cuales se detalla los patrones usados que fueron 2, 6, 10, 25 y 35 ppm; la media que es la absorbancia, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Una vez se obtuvo las tres curvas y sus respectivas mediciones para cada tipo de carbón se procedió a determinar el promedio para que esa curva sea la base en la determinación de la adsorción del carbón activado.

Por lo anterior, en la tabla 3 y 4, se muestran los resultados obtenidos de la capacidad de adsorción para los dos tipos de carbones, se realizó un diseño basado en los diferentes tipos de concentraciones de colorante azul reactivo 19 y utilizando el método por Espectrofotometría UV-Vis, se midió la absorbancia para cada solución posterior al contacto colorante-adsorbente durante un tiempo de 8 horas. Las lecturas fueron analizadas mediante un ANOVA, el cual indicó que no hay una diferencia estadísticamente significativa por ser su valor $F > 0.05$ (tabla de ANOVA en anexos) en la capacidad de adsorción durante el tiempo de contacto entre el adsorbato y el adsorbente (carbones). Del porcentaje de adsorción obtenidos en cada medición se determina que los mejores resultados reflejan que la diferencia de adsorción entre uno y otro es pequeña y es relevante porque visualmente se muestra transparente que es lo que busca la empresa de colorantes al final de la adsorción.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Una vez obtenidos los resultados del mejor tratamiento para la obtención de carbón activado y realizado el diseño experimental para poder elegir los parámetros óptimos de adsorción se realizó la cinética de adsorción. Las concentraciones iniciales fueron de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm y la lectura se hizo en 120 minutos, los parámetros se ajustaron a: 25 °C, pH neutro y 1 g/250 mL de carbón activado. La finalidad del estudio fue determinar si el tipo de adsorción era más afín a la cinética de adsorción de pseudo primer orden, pseudo segundo orden o difusión intrapartícula.

En la Tabla 27 y 28 se muestran los resultados obtenidos de adsorción en el rango visible.

Se puede observar de la figura 3 a la 7 el comportamiento de la cinética de adsorción del colorante a partir de la capacidad de adsorción del carbón activado químicamente obtenido en las condiciones óptimas ya detalladas. Se utilizaron tres modelos cinéticos para poder determinar la cinética de adsorción del carbón activado químicamente, en los gráficos en cuestión se observa el modelo cinético de pseudo primer orden con un $R^2 = 0.8643$, $R^2 = 0.4089$, $R^2 = 0.1159$, $R^2 = 0.6052$ y $R^2 = 0.3439$ para los modelos a una concentración de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm de colorante respectivamente, estos coeficientes de correlación indican que la tendencia no se ajusta al modelo sugerido por este pseudo primer orden ya que se encuentra alejado de 1 (máxima correlación). Por otro lado, se puede observar de la figura 8 a la 12 el comportamiento de la adsorción del colorante a partir de la capacidad de adsorción del carbón activado térmicamente obtenido en las condiciones óptimas ya detalladas. Se utilizaron tres modelos cinéticos para poder determinar la cinética de adsorción del carbón activado térmicamente en los gráficos en cuestión se observa el modelo cinético de pseudo primer orden con un $R^2 = 0$, $R^2 = 0.5287$, $R^2 = 0.2662$, $R^2 = 0.07356$ y $R^2 = 0.8590$ para los modelos a una concentración de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm de colorante respectivamente, estos coeficientes de correlación indican que la tendencia no se ajusta al modelo sugerido por este pseudo primer orden ya que se encuentra alejado de 1 (máxima correlación) a excepción de la cinética para una concentración de 35 ppm.

Para mejorar el ajuste en los modelos cinéticos se hizo el análisis empleando el de pseudo segundo orden. En los gráficos 13, 14, 15, 16 y 17 se muestran los modelos cinéticos de pseudo segundo orden con un $R^2 = 0.4758$, $R^2 = 0.1151$, $R^2 = 0.9817$, $R^2 = 0.5119$ y $R^2 = 0.7711$ para las concentraciones de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm de colorante respectivamente, estos coeficientes de correlación indican que el modelo se ajusta mejor al comportamiento de la cinética de adsorción comparado con el de pseudo primer orden para este tipo de carbón. Por otro lado, En los gráficos 18, 19, 20, 21 y 22 se muestran los modelos cinéticos de pseudo segundo orden para el carbón tratado térmicamente con $R^2 = 1$, $R^2 = 0.7759$, $R^2 = 0.0482$, $R^2 = 0.2471$ y $R^2 = 0.1058$ para las concentraciones de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm de colorante respectivamente, estos coeficientes de correlación indican que el modelo en general se ajusta mejor al comportamiento de la cinética de adsorción comparado con el de pseudo primer orden para este tipo de carbón.

Adicional a lo anterior, se evaluó el comportamiento de la cinética de adsorción empleando el modelo intrapartícula. En los gráficos 23, 24, 25, 26 y 27 se analizó el comportamiento de adsorción del carbón activado químicamente con $R^2 = 0.4187$, $R^2 = 0.3844$, $R^2 = 0.06282$, $R^2 = 0.9382$ y $R^2 = 0.5221$ el cual mostró un ajuste al modelo similar al presentado por el pseudo primer orden. Asimismo, En los

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

gráficos 28, 29, 30, 31 y 32 se analizó el comportamiento de adsorción del carbón activado térmicamente con $R^2 = 0$, $R^2 = 0.7427$, $R^2 = 0.6301$, $R^2 = 0.2265$ y $R^2 = 0.8178$ el cual mostró un ajuste al modelo similar al presentado por el pseudo primer orden para este carbón.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

12. Conclusiones

1. La activación química con ácido fosfórico generó modificaciones estructurales específicas en el carbón activado, evidenciadas por análisis de FTIR y la presencia de grupos ácidos. Estas alteraciones en la composición sugieren que el proceso químico ha influido significativamente en las propiedades del material, destacando su potencial para aplicaciones específicas que requieren una superficie activa con grupos funcionales específicos.
2. La activación térmica del carbón a partir de las cascarillas de café resultó en diferencias estructurales, mostradas por análisis de FTIR y la predominancia de grupos básicos. Estas características sugieren que el método térmico ha inducido cambios en la composición del material, lo que proporciona información valiosa sobre las propiedades superficiales y abre posibilidades para aplicaciones que requieren una interacción específica con sustancias ácidas.
3. La capacidad de adsorción de ambos tipos de carbones activados se mantiene consistente a diferentes concentraciones del colorante azul reactivo 19. La falta de diferencias significativas sugiere que estos materiales son robustos y eficientes en la remoción del colorante, proporcionando una base estable para aplicaciones prácticas en la industria de colorantes.
4. La estabilidad en la capacidad de adsorción a lo largo del tiempo de contacto de 8 horas indica que ambos tipos de carbones activados mantienen su eficacia en la adsorción del colorante. Esta consistencia es esencial para aplicaciones prácticas en procesos continuos, y la ausencia de cambios significativos refuerza la viabilidad de estos materiales en entornos industriales.
5. El análisis de la cinética de adsorción revela que tanto el carbón activado químicamente con ácido fosfórico como el tratado térmicamente presentan un mejor ajuste al modelo de pseudo segundo orden en comparación con el modelo de pseudo primer orden. Los coeficientes de correlación más altos para el modelo de pseudo segundo orden indican una mayor concordancia entre los datos experimentales y las predicciones del modelo, destacando la idoneidad de este modelo para describir la dinámica de adsorción del colorante azul reactivo 19 en ambos tipos de carbones activados.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

13. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar el proceso de activación química con ácido fosfórico, considerando variables como la concentración de ácido, el tiempo de impregnación y la temperatura. Estos ajustes podrían influir en las propiedades estructurales del carbón activado, mejorando su capacidad de adsorción y eficiencia en la remoción de colorantes.
2. Considerando la importancia de la materia prima en la obtención de carbón activado, se sugiere explorar otras fuentes de residuos agrícolas o industriales para evaluar su viabilidad en la producción de carbones activados con propiedades adsorbentes mejoradas. Esto podría diversificar las opciones y proporcionar soluciones más sostenibles.
3. Para respaldar la viabilidad práctica de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, se recomienda realizar estudios en escala piloto. Esto permitirá evaluar la eficiencia y la replicabilidad de los procesos en condiciones más cercanas a las industriales, garantizando que los beneficios observados se mantengan a una escala más grande.
4. Dada la importancia de la sostenibilidad en la aplicación de carbones activados, se sugiere llevar a cabo investigaciones sobre la regeneración y reutilización de los materiales adsorbentes. Esto podría proporcionar información valiosa sobre la vida útil y la eficacia a largo plazo de los carbones activados en procesos continuos de remoción de colorantes.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

14. Referencias

- Akindolie, M. S., & Choi, H. J. (2022). Surface modification of spent coffee grounds using phosphoric acid for enhancement of methylene blue adsorption from aqueous solution. *Water Science and Technology*, 85(4), 1218–1234. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.021>
- Aljeboree, A. M., Alshirifi, A. N., & Alkaim, A. F. (2017). Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3381–S3393. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.01.020>
- Al-Robayi, E., Alkaim, A. F., Algubili, A. M., & Alrobayi, M. (2015). Photocatalytic degradation of remazol brilliant blue dye by ZnO/UV process Inorganic View project CORRELATION EFFECTS IN He-LIKE IONS: AN ANALYSIS OF THE GROUND STATE IN MOMENTUM SPACE View project PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF REMAZOL BRILLIANT BLUE DYE BY ZnO/UV PROCESS. In *Article in International Journal of Chemical Sciences* (Vol. 13, Issue 2). www.sadgurupublications.com
- Aranguri-Llerena, G., & Reyes-Lázaro, W. (2019). Adsorption of cyanide contained in aqueous solution using activated carbon obtained from coffee residue: absorption efficiency, equilibrium and kinetic model. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 315–325. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.01>
- Ayalew, A. A., & Aragaw, T. A. (2020). Utilization of treated coffee husk as low-cost bio-sorbent for adsorption of methylene blue. *Adsorption Science & Technology*, 38(5–6), 205–222. <https://doi.org/10.1177/0263617420920516>
- Barón Pacheco, L. J. (2014). *EVALUACIÓN DE LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO MATERIAL ADSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE IONES PLOMO Pb 2+ PRESENTE EN*. Universidad Libre.
- Barreda-Reyes, Ing. K. L., Ortega-López, Ing. J., Ortega-Regules, Dra. C. A. E., Santiago-Santiago, Dr. C. L. A., & Netzahuatl-Muñoz, Dra. C. A. R. (2015). Remoción de azul brillante de remazol R de soluciones acuosas empleando biomasa de levadura. *Volumen 2*, 182–196.
- Budinova, T., Ekinci, E., Yardim, F., Grimm, A., Björnbom, E., Minkova, V., & Goranova, M. (2006a). Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation. *Fuel Processing Technology*, 87(10), 899–905. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.06.005>
- Budinova, T., Ekinci, E., Yardim, F., Grimm, A., Björnbom, E., Minkova, V., & Goranova, M. (2006b). Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation. *Fuel Processing Technology*, 87(10), 899–905. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.06.005>

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Cecilia Castellar-Ortega, G., Mercedes Cely-Bautista, M., María Cardozo-Arrieta, B., Ramón Angulo-Mercado, E., & Elías Plaza-Vega, M. (2018). *ADSORPTION OF DIRECT BLUE 2 DYES OVER A COFFEE GROUNDS IN A FIXED-BED COLUMN AT LABORATORY SCALE*. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.971>
- Daniel, E., Toriz, R., De Jesús, F., Córdova, C., Alicia, M., & Herrera, S. (2006). *Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa: Vol. IX* (Issue 31).
- Dias, A. A., Sampaio, A., & Bezerra, R. M. (2009). Environmental Applications of Fungal and Plant Systems: Decolourisation of Textile Wastewater and Related Dyestuffs. *Environmental Bioremediation Technologies*, 445–463. https://doi.org/10.1007/978-3-540-34793-4_19
- FENG, N. chuan, FAN, W., ZHU, M. lin, & GUO, X. yi. (2018). Adsorption of Cd²⁺ in aqueous solutions using KMnO₄-modified activated carbon derived from Astragalus residue. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(4), 794–801. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64712-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64712-0)
- Feng, P., Li, J., Wang, H., & Xu, Z. (2020). Biomass-based activated carbon and activators: Preparation of activated carbon from corncob by chemical activation with biomass pyrolysis liquids. *ACS Omega*, 5(37), 24064–24072. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03494>
- Gallego Ramírez, C., & Rubio-Clemente, A. (2021). *Remoción de colorantes en aguas procedentes de la industria textil mediante el uso de biocarbón*. Galvez-Lucia. (n.d.).
- González-García, P. (2018). Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 1393–1414). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.117>
- Guzmán, R. (2018). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE BIOAUMENTO ESPECIALIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINACIÓN EN AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LA INDUSTRIA TEXTIL*. Universidad Rafael Landívar.
- Julio Alberto Solís-Fuentes*, M. M.-T. R. C. A.-T. M. del C. D.-B. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27, 36–48.
- Konicki, W., Aleksandrak, M., & Mijowska, E. (2017). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on adsorption of cationic dyes from aqueous solutions using graphene oxide. *Chemical Engineering Research and Design*, 123, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.03.036>
- Kyzas, G. Z., Lazaridis, N. K., & Mitropoulos, A. C. (2012). Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: Equilibrium, reuse and thermodynamic approach. *Chemical Engineering Journal*, 189–190, 148–159. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2012.02.045>

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Lafi, R., ben Fradj, A., Hafiane, A., & Hameed, B. H. (2014). Coffee waste as potential adsorbent for the removal of basic dyes from aqueous solution. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(12), 2198–2206. <https://doi.org/10.1007/s11814-014-0171-7>
- Lafi, R., & Hafiane, A. (2016). Removal of methyl orange (MO) from aqueous solution using cationic surfactants modified coffee waste (MCWs). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 424–433. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.06.035>
- Organización para las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020 Datos y cifras*. www.unesco.org/water/wwap.
- Pérez Briones, A. I. (2017). *Revaloración de los Residuos de Café para la Eliminación del Ácido Carmínico en Solución Acuosa*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Primera-Pedrozo, O., Colpas-Castillo, F., Meza-Fuentes, E., & Fernández-Maestre, R. (n.d.). *CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZURO DE MAÍZ PARA LA ADSORCIÓN DE CADMIO Y PLOMO*.
- Primera-Pedrozo, O., Colpas-Castillo, F., Meza-Fuentes, E., & Fernández-Maestre, R. (2011). *CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZURO DE MAÍZ PARA LA ADSORCIÓN DE CADMIO Y PLOMO*.
- Vidal, M. V, Rodríguez Suarez, A., Barrios, K. M., Ocampo Pérez, J., & Lara, W. B. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión Potential of agroindustrial waste for the synthesis of activated carbon: a review. *Scientia et Technica Año XXIII*, 23(03), 411–419.
- Zhang, W., Lu, J., Liu, S., Wang, C., Zuo, Q., & Gong, L. (2023). The Potential of Spent Coffee Grounds @ MOFs Composite Catalyst in Efficient Activation of PMS to Remove the Tetracycline Hydrochloride from an Aqueous Solution. *Toxics*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/toxics11020088>

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

15. Apéndice

Tabla 10

Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado térmicamente, corrida 1.

pH	Volumen de HCl (mL)	dpH	dV	dpH/dV
12.816	0	-0.116	5	-0.0232
12.700	5	-0.163	5	-0.0326
12.537	10	-0.206	5	-0.0412
12.331	15	-0.320	5	-0.064
12.011	20	-0.743	5	-0.1486
11.268	25	-1.066	5	-0.2132
10.202	30	-2.648	5	-0.5296
7.554	35	-1.488	5	-0.2976
6.066	40	-3.458	5	-0.6916
2.608	45	-0.652	5	-0.1304
1.956	50	-1.956		

Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 11

Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado térmicamente, corrida 2

pH	Volumen de HCl (mL)	dpH	dV	dpH/dV
12.791	0	-0.057	5	-0.0114
12.734	5	-0.13	5	-0.026
12.604	10	-0.162	5	-0.0324
12.442	15	-0.167	5	-0.0334
12.275	20	-0.365	5	-0.073
11.910	25	-1.097	5	-0.2194
10.813	30	-1.313	5	-0.2626
9.500	35	-3.095	5	-0.619
6.405	40	-3.682	5	-0.7364
2.723	45	-0.748	5	-0.1496
1.975	50	-1.975		

Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 12

Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado térmicamente, corrida 3

pH	Volumen de HCl (mL)	dpH	dV	dpH/dV
12.897	0	-0.125	5	-0.0250
12.772	5	-0.172	5	-0.0344
12.600	10	-0.160	5	-0.0320
12.440	15	-0.244	5	-0.0488
12.196	20	-0.405	5	-0.0810
11.791	25	-1.091	5	-0.2182
10.700	30	-1.220	5	-0.2440
9.480	35	-3.100	5	-0.6200
6.380	40	-3.571	5	-0.7142
2.809	45	-0.812	5	-0.1624
1.997	50	-1.997		

Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 13

Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado químicamente, corrida 1

pH	Volumen NaOH (mL)	dpH	dV (ml)	dpH/dV
1.229	0	0	0.2	0.000
1.229	0.2	0.024	0.2	0.120
1.253	0.4	0.03	0.2	0.150
1.283	0.6	0.003	0.2	0.015
1.286	0.8	0.015	0.2	0.075
1.301	1.0	0.008	0.2	0.040
1.309	1.2	0.028	0.2	0.140
1.337	1.4	0.008	0.2	0.040
1.345	1.6	0.035	0.2	0.175
1.38	1.8	0.021	0.2	0.105
1.401	2.0	0.017	0.2	0.085

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Continuación tabla 13...

1.418	2.2	0.03	0.2	0.150
1.448	2.4	0.024	0.2	0.120
1.472	2.6	0.037	0.2	0.185
1.509	2.8	0.001	0.2	0.005
1.51	3.0	0.039	0.2	0.195
1.549	3.2	0.025	0.2	0.125
1.574	3.4	0.033	0.2	0.165
1.607	3.6	0.034	0.2	0.170
1.641	3.8	0.032	0.2	0.160
1.673	4.0	0.024	0.2	0.120
1.697	4.2	0.045	0.2	0.225
1.742	4.4	0.053	0.2	0.265
1.795	4.6	0.039	0.2	0.195
1.834	4.8	0.075	0.2	0.375
1.909	5.0	0.055	0.2	0.275
1.964	5.2	0.05	0.2	0.250
2.014	5.4	0.072	0.2	0.360
2.086	5.6	0.101	0.2	0.505
2.187	5.8	0.115	0.2	0.575
2.302	6.0	0.098	0.2	0.490
2.4	6.2	0.194	0.2	0.970
2.594	6.4	0.36	0.2	1.800
2.954	6.6	1.207	0.2	6.035
4.161	6.8	3.205	0.2	16.025
7.366	7.0	2.779	0.2	13.895
10.145	7.2	0.437	0.2	2.185
10.582	7.4	0.205	0.2	1.025
10.787	7.6	0.334	0.2	1.670
11.121	7.8	0.178	0.2	0.890
11.299	8.0	0.153	0.2	0.765
11.452	8.2			

Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 14

Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado químicamente, corrida 2

pH	Volumen de NaOH (mL)	dpH	dV (ml)	dpH/dV
1.244	0	-0.011	0.2	-0.055
1.233	0.2	0.008	0.2	0.040
1.241	0.4	0.012	0.2	0.060
1.253	0.6	0.027	0.2	0.135
1.280	0.8	0.011	0.2	0.055
1.291	1.0	0.032	0.2	0.160
1.323	1.2	0.01	0.2	0.050
1.333	1.4	0.03	0.2	0.150
1.363	1.6	0.028	0.2	0.140
1.391	1.8	0.014	0.2	0.070
1.405	2.0	0.014	0.2	0.070
1.419	2.2	0.014	0.2	0.070
1.433	2.4	0.019	0.2	0.095
1.452	2.6	0.033	0.2	0.165
1.485	2.8	0.026	0.2	0.130
1.511	3.0	0.028	0.2	0.140
1.539	3.2	0.036	0.2	0.180
1.575	3.4	0.044	0.2	0.220
1.619	3.6	0.024	0.2	0.120
1.643	3.8	0.029	0.2	0.145
1.672	4.0	0.049	0.2	0.245
1.721	4.2	0.022	0.2	0.110
1.743	4.4	0.078	0.2	0.390
1.821	4.6	0.019	0.2	0.095
1.840	4.8	0.057	0.2	0.285
1.897	5.0	0.04	0.2	0.200
1.937	5.2	0.063	0.2	0.315
2.000	5.4	0.067	0.2	0.335
2.067	5.6	0.073	0.2	0.365

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Continuación tabla 14...

2.140	5.8	0.092	0.2	0.460
2.232	6.0	0.084	0.2	0.420
2.316	6.2	0.119	0.2	0.595
2.435	6.4	0.16	0.2	0.800
2.595	6.6	0.246	0.2	1.230
2.841	6.8	0.518	0.2	2.590
3.359	7.0	1.318	0.2	6.590
4.677	7.2	4.025	0.2	20.125
8.702	7.4	1.654	0.2	8.270
10.356	7.6	0.362	0.2	1.810
10.718	7.8	0.259	0.2	1.295
10.977	8.0	0.189	0.2	0.945
11.166	8.2			

Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 15

Método de titulación Boehm para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales en el carbón activado químicamente, corrida 3

pH	Volumen de NaOH (mL)	dpH	dV	dpH/dV
1.263	0	0.004	0.2	0.020
1.267	0.2	0.004	0.2	0.020
1.271	0.4	0.014	0.2	0.070
1.285	0.6	0.034	0.2	0.170
1.319	0.8	0.001	0.2	0.005
1.320	1.0	0.01	0.2	0.050
1.330	1.2	0.055	0.2	0.275
1.385	1.4	0.026	0.2	0.130
1.411	1.6	0.000	0.2	0.000
1.411	1.8	0.029	0.2	0.145
1.440	2.0	-0.022	0.2	-0.110

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Continuación tabla 15...

1.418	2.2	0.018	0.2	0.090
1.436	2.4	0.028	0.2	0.140
1.464	2.6	0.044	0.2	0.220
1.508	2.8	0.008	0.2	0.040
1.516	3.0	0.033	0.2	0.165
1.549	3.2	0.034	0.2	0.170
1.583	3.4	0.057	0.2	0.285
1.64	3.6	0.023	0.2	0.115
1.663	3.8	0.029	0.2	0.145
1.692	4.0	0.035	0.2	0.175
1.727	4.2	0.043	0.2	0.215
1.77	4.4	0.046	0.2	0.230
1.816	4.6	0.066	0.2	0.330
1.882	4.8	0.049	0.2	0.245
1.931	5.0	0.023	0.2	0.115
1.954	5.2	0.094	0.2	0.470
2.048	5.4	0.022	0.2	0.110
2.07	5.6	0.072	0.2	0.360
2.142	5.8	0.081	0.2	0.405
2.223	6.0	0.219	0.2	1.095
2.442	6.2	0.172	0.2	0.860
2.614	6.4	0.254	0.2	1.270
2.868	6.6	0.552	0.2	2.760
3.42	6.8	1.31	0.2	6.550
4.73	7.0	4.133	0.2	20.665
8.863	7.2	1.276	0.2	6.380
10.139	7.4	0.54	0.2	2.700
10.679	7.6	0.134	0.2	0.670
10.813	7.8	0.171	0.2	0.855
10.984	8.0			

Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 16

Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado químicamente, corrida 1

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	402.41	61.52
2	391.87	62.07

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 17

Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado químicamente, corrida 2

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	403	48.59

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 18

Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado químicamente, corrida 3

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	473.16	86.77
2	455.67	86.53
3	447.03	85.55
4	423.59	85.34
5	416.07	82.36
6	406.43	82.17

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Continuación tabla 18...

7	399.11	85.37
8	392.7	92.05
9	387.11	89.3

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 19

Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado térmicamente, corrida 1

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3262.82	63.87
2	1630.15	74.0
3	1418.2	76.92
4	423.12	42.63
5	403.35	42.41
6	394.77	41.66
7	383.52	39.78

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 20

Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado térmicamente, corrida 2

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3261.99	69.3
2	1626.52	76.4
3	1410.88	75.0
4	1076.92	75.85

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

5	431.24	50.77
6	406.83	49.55
7	400.14	49.10
8	392.94	51.24

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 21

Espectro obtenido en el ensayo de Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para la muestra de carbón activado térmicamente, corrida 3

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3260.27	61.06
2	2162.01	84.3
3	1627.2	71.79
4	1416.93	71.97
5	419.31	41.73
6	408.78	41.39
7	395.92	40.44
8	388.1	40.44

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 22

Rendimientos de carbonización a diferentes tamaños de partícula de la cascarilla de café

Fecha	Tipo de molienda	Mesh No.	Peso cascarilla (g)	Peso carbón (g)	Rendimiento (%)
27/09/23	M. Wiley	20	17.435	4.196	24.067
	Licuadora Ind.	20	5.006	1.203	24.031
29/09/23	Licuadora Ind.	40	4.999	1.384	27.686
	Licuadora Ind.	20	10.000	2.433	24.330
2/10/23	Licuadora Ind.	40	5.001	1.389	27.774
	Licuadora Ind.	40	4.999	1.386	27.726
3/10/23	Licuadora Ind.	40	10.005	2.741	27.396
	Licuadora Ind.	40	4.998	1.277	25.550
	Licuadora Ind.	40	4.997	1.083	21.673
	Licuadora Ind.	40	5.000	1.135	22.700
4/10/23	Licuadora Ind.	60	10.003	2.932	29.311
	Licuadora Ind.	60	4.998	1.477	29.552
	Licuadora Ind.	60	5.004	1.375	27.478
	Licuadora Ind.	60	5.002	1.409	28.169
23/10/23	Licuadora Ind.	60	5.004	1.387	27.718
	Licuadora Ind.	60	4.998	1.367	27.351
	Licuadora Ind.	60	5.000	1.375	27.500
	Licuadora Ind.	60	5.002	1.150	22.991
	Licuadora Ind.	60	5.001	1.380	27.594

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 23

Mediciones de humedad en la cascarilla de café

Corrida No.	% Humedad	Desviación
1	11.23	
2	11.02	0.11
3	11.08	

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 24

Rendimiento promedio de obtención de cascarilla de café carbonizada con distintos tamaños de partícula a partir de un proceso de molienda industrial

Mesh No.	Rendimiento (%)
20	24.143 ± 0.163
40	27.632 ± 0.206
60	28.780 ± 1.134

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 25
Análisis granulométrico de la cascarilla de café carbonizada

Tamiz	(mm)	Peso Retenido (g)	% Peso Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Pasante (%)
8	2.36	0	0	0	100.00
10.00	2.00	91.491	45.75	45.75	54.25
12.00	1.70	28.253	14.13	59.87	40.13
16.00	1.18	29.733	14.87	74.74	25.26
20.00	0.84	20.833	10.42	85.16	14.85
40.00	0.43	17.321	8.66	93.82	6.18
60.00	0.25	4.388	2.19	96.01	3.99
Plato Inf.	0	7.981	3.99	100.00	0.00
Sumatorio		200	100.00		

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 26
Cuantificación de impregnación de cascarilla de café con ácido fosfórico

No.	Fecha	Masa cascarilla inicial (g)	Ácido fosfórico al 20% (mL)	Masa cascarilla impregnada (g)	Masa de ácido fosfórico impregnado (g)	Humedad (%)
1	31.10.2023	125	1000	158.895	33.895	9.06
2	02.11.2023	125	1000	155.102	30.102	9.01
3	02.11.2023	125	1000	167.105	42.105	12.12
4	03.11.2023	125	1000	162.493	37.493	10.41
5	06.11.2023	125	1000	160.530	35.530	11.20
6	06.11.2023	125	1000	157.320	32.320	12.21
7	07.11.2023	125	1000	165.937	40.937	10.68
8	07.11.2023	125	1000	162.875	37.875	10.24
9	08.11.2023	125	1000	170.286	45.286	11.03
10	08.11.2023	125	1000	164.953	39.953	12.95

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Continuación tabla 26...

11	09.11.2023	125	1000	173.848	48.848	13.21
12	09.11.2023	125	1000	169.051	44.051	8.85
13	13.11.2023	125	1000	172.346	47.346	8.51
14	13.11.2023	125	1000	167.052	42.052	12.06
15	14.11.2023	125	1000	171.732	46.732	11.82
Totales		1875	15000	2479.525	604.525	10.89

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 27

Análisis granulométrico de la cascarilla de café impregnada con ácido fosfórico sometida a un proceso de deshidratación.

Tamiz	(mm)	Peso Retenido (g)	% Peso Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Pasante (%)
8	2.36	0	0	0	100.00
10.00	2.00	120.654	60.19	60.19	39.81
12.00	1.70	26.536	13.24	73.43	26.57
16.00	1.18	25.006	12.47	85.90	14.10
20.00	0.84	14.559	7.26	93.17	6.83
40.00	0.43	12.210	6.09	99.26	0.74
60.00	0.25	1.485	0.74	100.00	0.00
Plato Inferior	0	0.000	0.00	100.00	0.00
Sumatorio		200.45	100.00		

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 28

Análisis de varianza unifactorial aplicada a la capacidad de adsorción de los tipos de carbón activados producidos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.0115	1.0000	0.0115	9.4942	0.0051	4.2597
Columnas	0.0000	2.0000	0.0000	0.0005	0.9995	3.4028
Interacción	0.0000	2.0000	0.0000	0.0027	0.9973	3.4028
Dentro del grupo	0.0290	24.0000	0.0012			
Total	0.0405	29.0000				

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 29

Análisis de varianza unifactorial aplicada a la caracterización de los dos tipos de carbón activado producidos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2776189.116	1.000	2776189.116	4.909	0.044	4.600
Dentro de los grupos	7918205.573	14.000	565586.112			
Total	10694394.689	15.000				

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 30

Datos calculados para la generación de los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para el carbón activado térmicamente

Concentración	Tiempo de Contacto (min)	Promedio de Absorbancias	Ct mg/g	Co (mg/g)	Qt	Qe	Ln(qe-qt)	t/qt
2	5	0	0	0.1	0.1	2	0	50
2	10	0	0	0.1	0.1	2	0	100
2	20	0	0	0.1	0.1	2	0	200
2	60	0	0	0.1	0.1	2	0	600
2	120	0	0	0.1	0.1	2	0	1200
6	5	0.00366	0.2175	0.3	0.0824	6	-1.5253	60.63
6	10	0.005	0.35	0.3	-0.05	6	-1.0498	-200
6	20	0	0.2125	0.3	0.0875	6	-1.5488	228.57
6	60	0	0.175	0.3	0.125	6	-1.7429	480
6	120	0	0	0.3	0.3	6	0	400
10	5	0.01266	0.4543	0.5	0.0456	10	-0.7888	109.61
10	10	0	0.1937	0.5	0.30625	10	-1.6411	32.65
10	20	0.00633	0.4763	0.5	0.02361	10	-0.7415	847.05
10	60	0	0.175	0.5	0.325	10	-1.7429	184.61
10	120	0	0	0.5	0.5	10	0	240
25	5	0.05466	1.5596	1.25	-0.3096	10	0.4444	-16.14
25	10	0.04233	1.5166	1.25	-0.2666	25	0.4165	-37.50
25	20	0.02066	1.0736	1.25	0.1763	25	0.0710	113.38
25	60	0.00866	2.3416	1.25	-1.09166	25	0.8508	-54.96
25	120	0	0	1.25	1.25	25	0	96
35	5	0.05533	1.5771	1.75	0.17280	25	0.4556	28.93
35	10	0.045	1.6	1.75	0.15	35	0.4700	66.66
35	20	0.038	1.7958	1.75	-0.0458	35	0.5854	-436.36
35	60	0.004	1.175	1.75	0.575	35	0.1612	104.34
35	120	0	0	1.75	1.75	35	0	68.57

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 31

Datos calculados para la generación de los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden para el carbón activado químicamente

Concentración	Tiempo de Contacto (min)	Promedio de Absorbancias	Ct mg/g	Co (mg/g)	Qt	Qe	Ln(qe-qt)	t/qt
2	5	0.02366	0.2440	0.1	-0.1440	2	-1.4103	-34.710
2	10	0.00766	0.2075	0.1	-0.1075	2	-1.5722	-92.957
2	20	0.00333	-0.3208	0.1	0.42083	2	0	47.5247
2	60	0.007	-1.55	0.1	1.65	2	0	36.3636
2	120	0.008	5.9916	0.1	-5.8916	2	1.7903	-20.367
6	5	0.01166	0.4101	0.3	-0.1101	6	-0.8913	-45.405
6	10	0.00833	0.2378	0.3	0.0621	6	-1.4359	160.975
6	20	0.008	0.2625	0.3	0.0375	6	-1.3375	533.333
6	60	0.016	2.95	0.3	-2.65	6	1.0818	-22.641
6	120	0.01666	-7.2305	0.3	7.5305	6	0	15.9350
10	5	0.014	0.4517	0.5	0.0482	10	-0.7945	103.703
10	10	0.01033	0.3287	0.5	0.1712	10	-1.1123	58.4070
10	20	0.01166667	0.7208	0.5	-0.220	10	-0.3273	-90.565
10	60	0.008	-1.05	0.5	1.55	10	0	38.7096
10	120	0.00733	0.5472	0.5	-0.047	10	-0.6028	-2541.02
25	5	0.01866	0.5351	1.25	0.7148	25	-0.6252	6.99417
25	10	0.03666	1.5257	1.25	-0.275	25	0.42249	-36.263
25	20	0.02266	2.0958	1.25	-0.8458	25	0.73995	-23.645
25	60	0.016	2.95	1.25	-1.7	25	1.08180	-35.2941
25	120	0.034	3.825	1.25	-2.575	25	1.34155	-46.6019
35	5	0.11266	2.2136	1.75	-0.4636	35	0.79466	-10.7830
35	10	0.039	1.6318	1.75	0.1181	35	0.48969	84.61533
35	20	0.01433	1.0541	1.75	0.6958	35	0.05275	28.74248
35	60	0.01166	0.7833	1.75	0.9666	35	-0.2441	62.06903
35	120	0.067	1.075	1.75	0.675	35	0.07232	177.7778

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 32

Datos calculados para la generación del modelo de difusión intrapartícula para el carbón activado químicamente

Qt	t^{0.5}
-0.1440	2.2361
-0.1076	3.1623
0.4208	4.4721
1.65	7.7460
-5.8917	10.9545
-0.1101	2.2361
0.0621	3.1623
0.0375	4.4721
-2.65	7.7460
7.5306	10.9545
0.0482	2.2361
0.1712	3.1623
-0.2208	4.4721
1.55	7.7460
-0.0472	10.9545
0.7149	2.2361
-0.2758	3.1623
-0.8458	4.4721
-1.7	7.7460
-2.575	10.9545
-0.4637	2.2361
0.1182	3.1623
0.6958	4.4721
0.9667	7.7460
0.675	10.9545

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 33

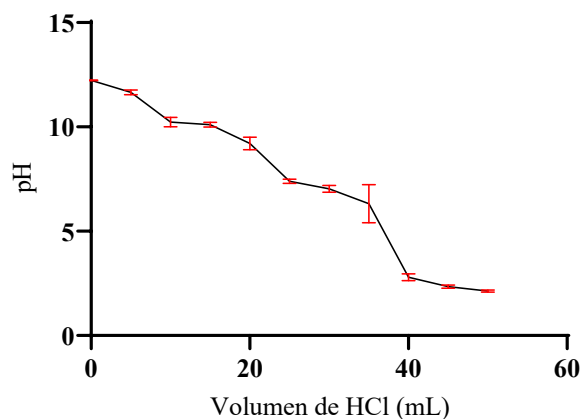
Datos calculados para la generación del modelo de difusión intrapartícula para el carbón activado térmicamente

Qt	$t^{0.5}$
0.1	2.2361
0.1	3.1623
0.1	4.4721
0.1	7.7460
0.1	10.9545
0.0825	2.2361
-0.05	3.1623
0.0875	4.4721
0.125	7.7460
0.3	10.9545
0.0456	2.2361
0.30625	3.1623
0.0236	4.4721
0.325	7.7460
0.5	10.9545
-0.3096	2.2361
-0.2667	3.1623
0.1764	4.4721
-1.0917	7.7460
1.25	10.9545
0.1728	2.2361
0.15	3.1623
-0.0458	4.4721
0.575	7.7460
1.75	10.9545

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

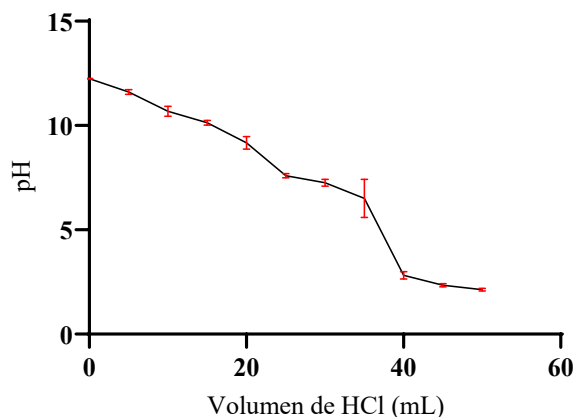
Figura 34. Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 1



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 35.

Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 2

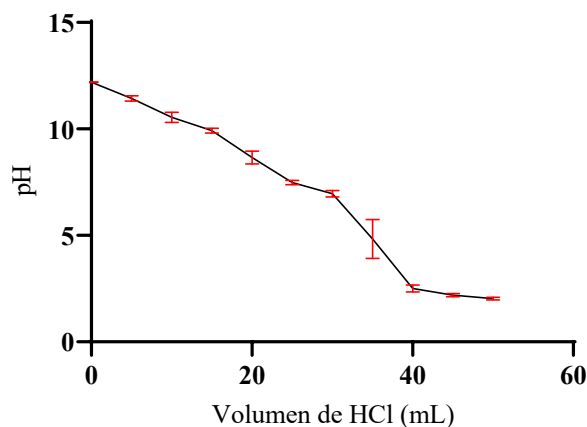


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

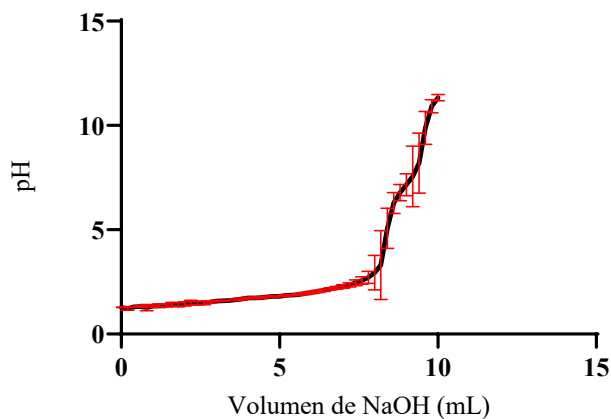
Figura 36.

Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 3



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 37. *Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 1*

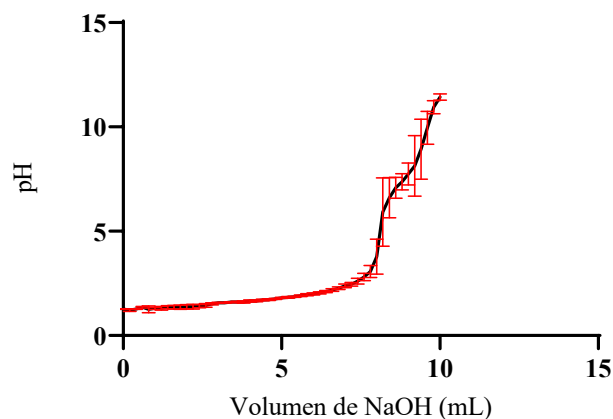


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 38.

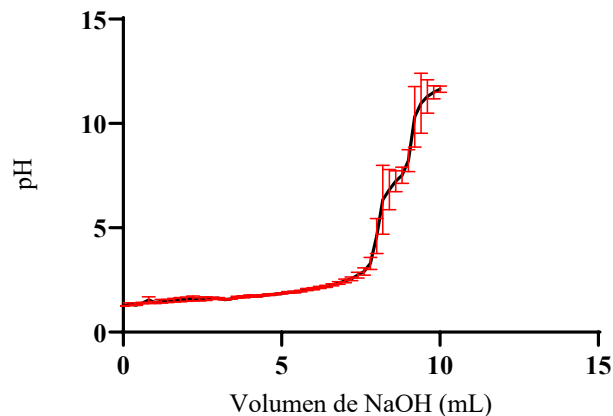
Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 2



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 39.

Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 3

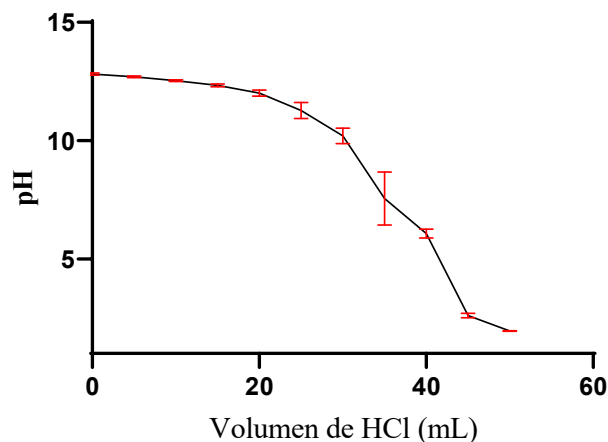


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 40.

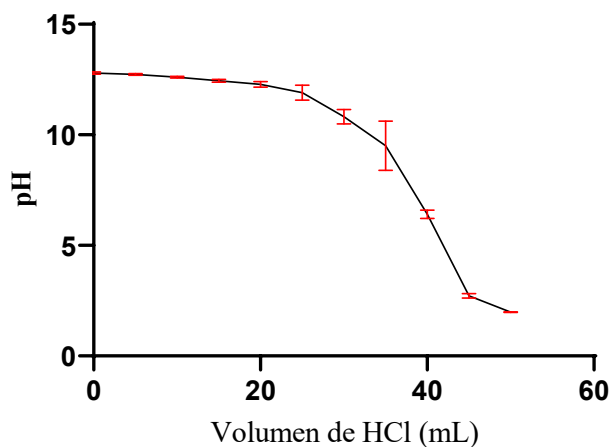
Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de los grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 1



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 41.

Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 2

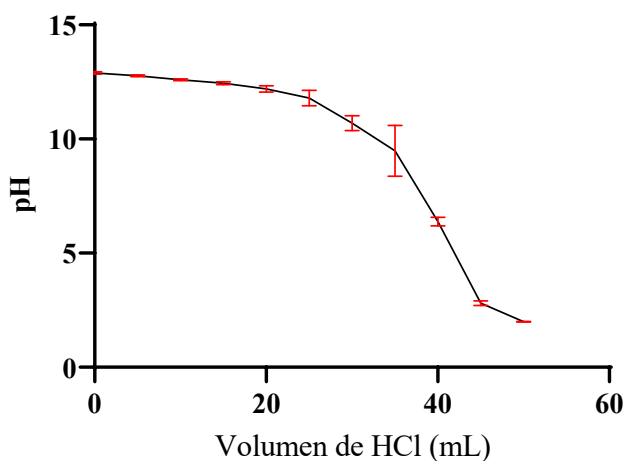


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 42.

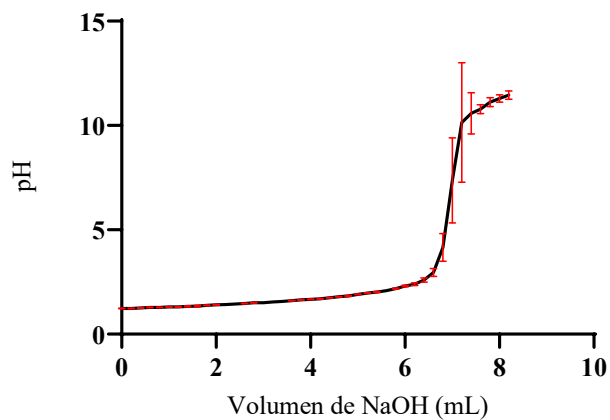
Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 3



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 43.

Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 1

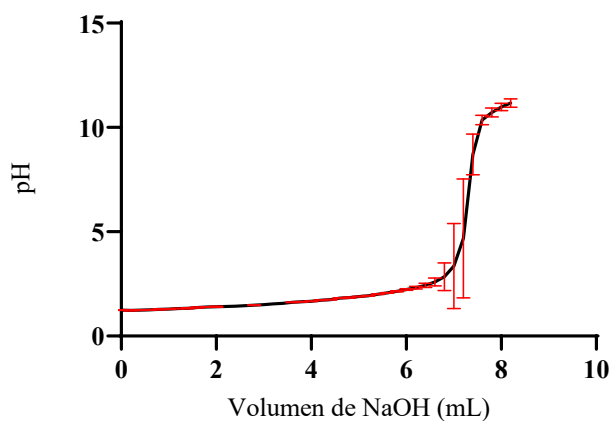


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 44.

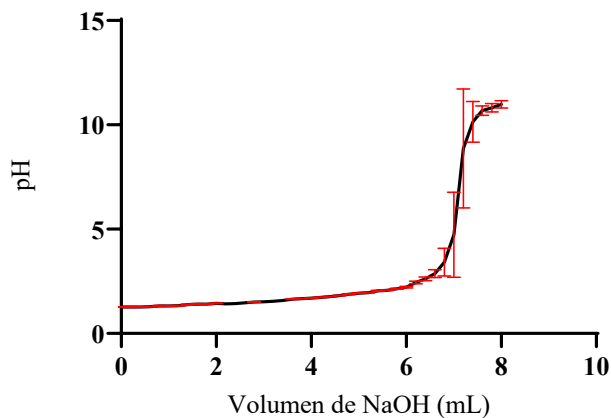
Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 2



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 45.

Curva de titulación para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 3

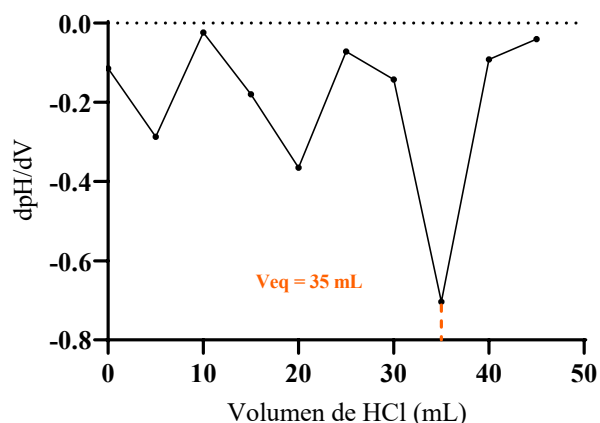


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 46.

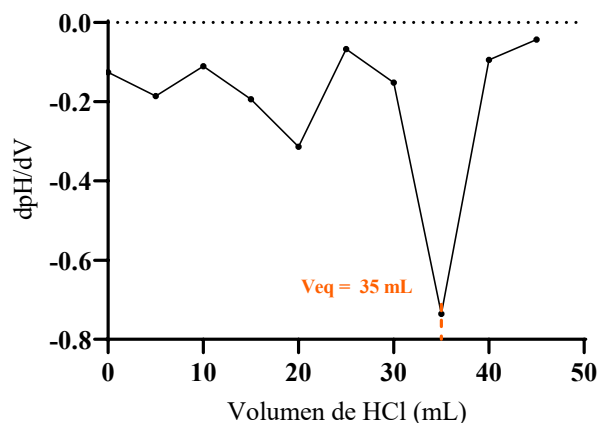
Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 1



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 47.

Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 2

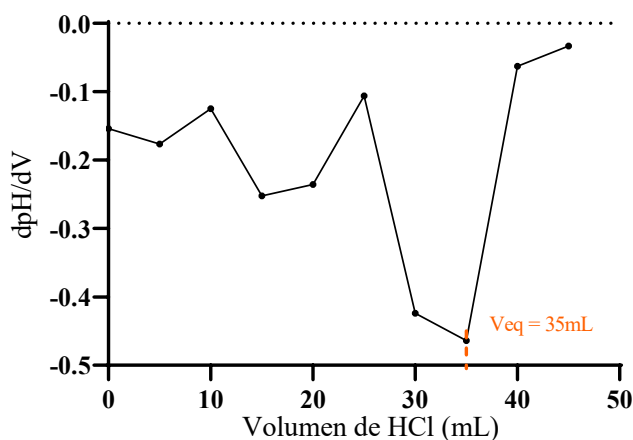


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 48.

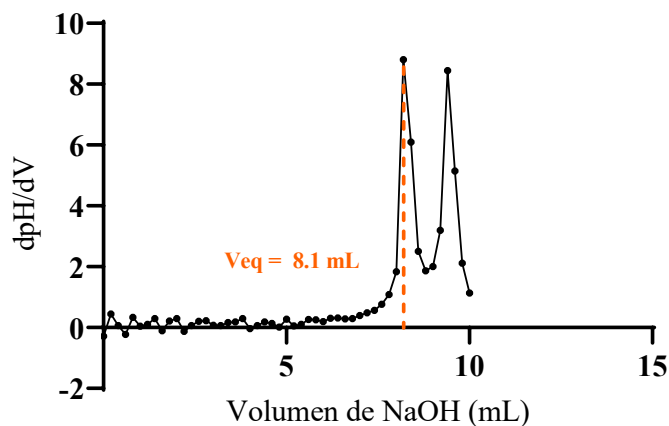
Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado químicamente, corrida 3



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 49.

Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 1

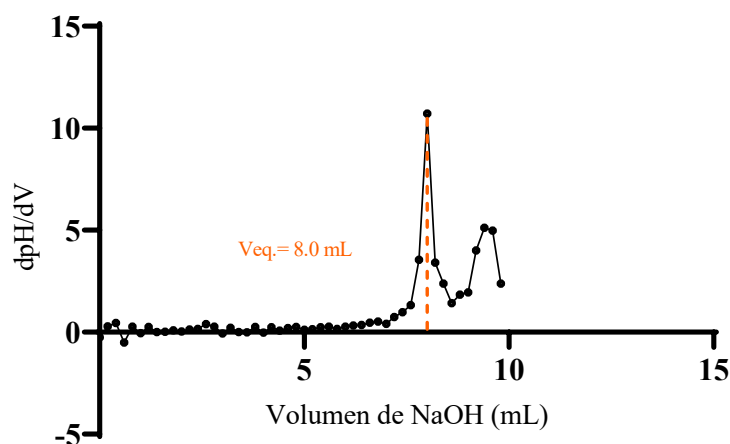


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 50.

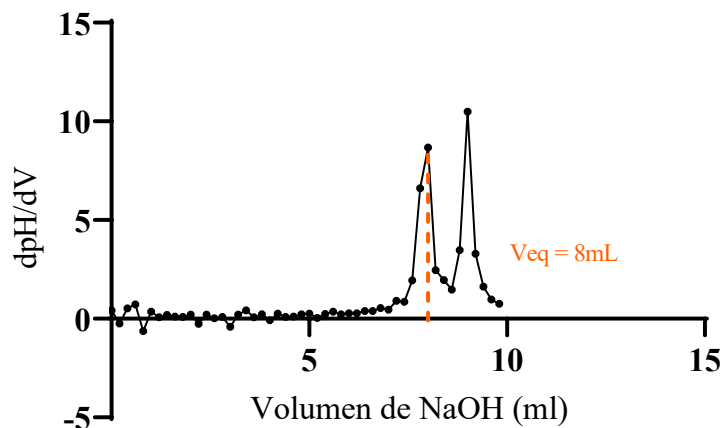
Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 2



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 51.

Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado químicamente, corrida 3

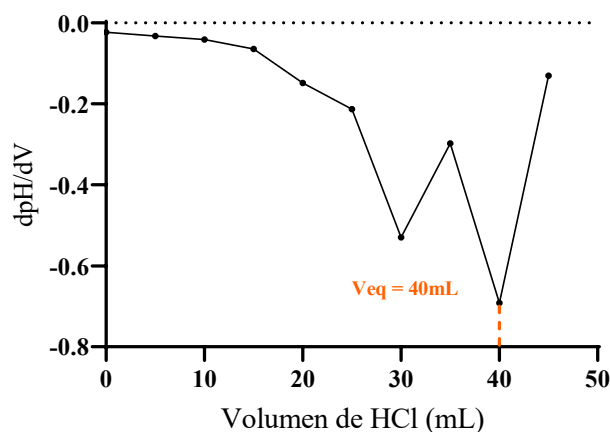


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 52.

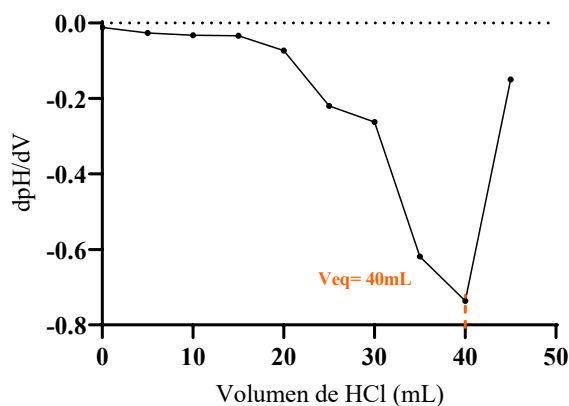
Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 1



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 53.

Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 2

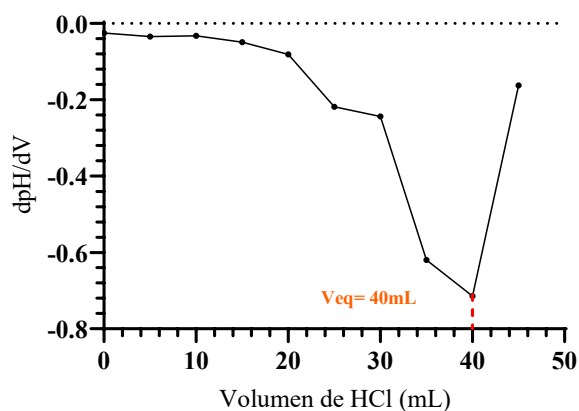


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 54.

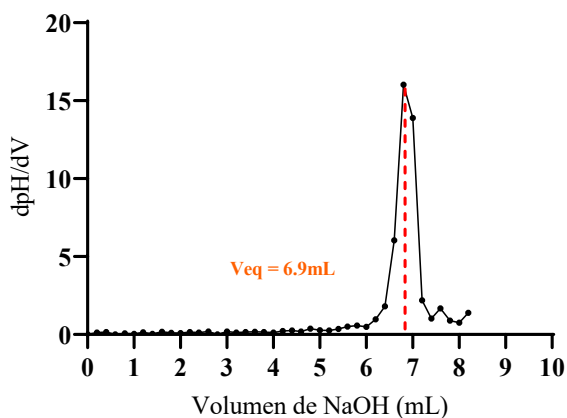
Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales ácidos en el carbón activado térmicamente, corrida 3



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 55.

Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 1

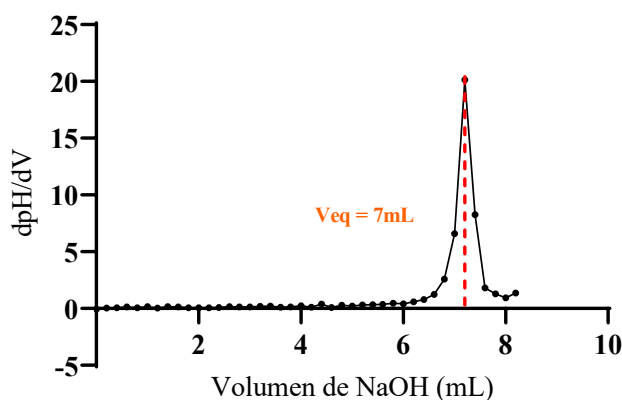


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

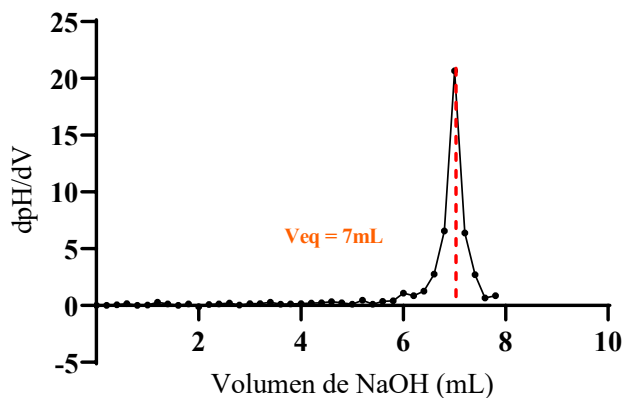
Figura 56.

Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 2



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 57. Curva de la derivada del pH con respecto a la del volumen para la obtención del volumen equivalente en la determinación de la conformación de grupos funcionales básicos en el carbón activado térmicamente, corrida 3

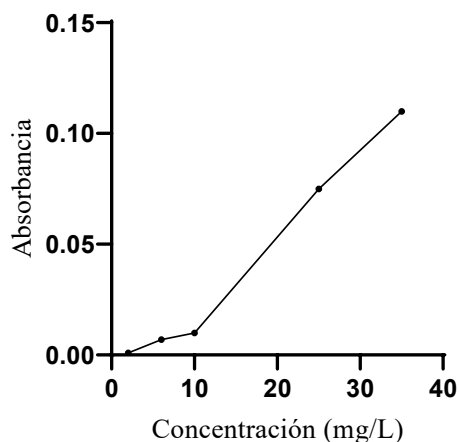


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 58.

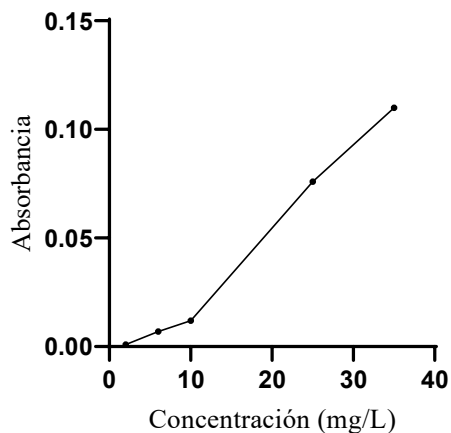
Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente, corrida 1



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 59.

Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente, corrida 2

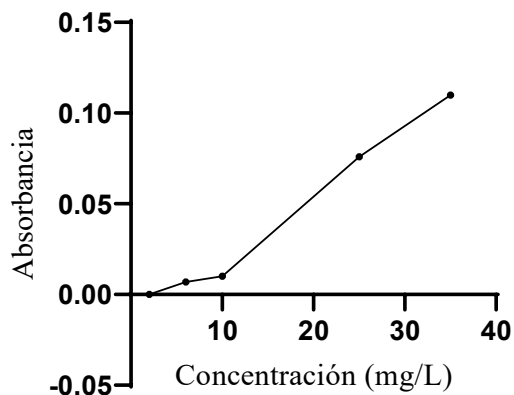


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 60.

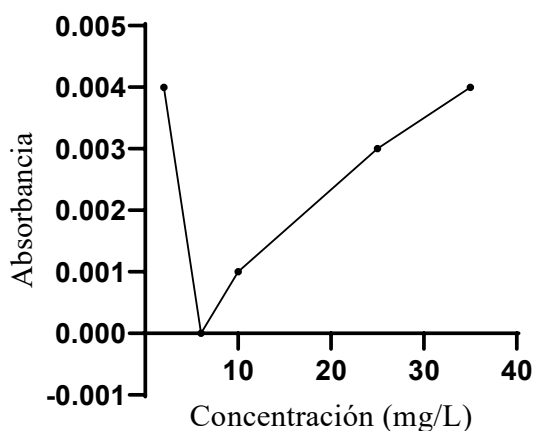
Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente, corrida 3



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 61.

Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente, corrida 1

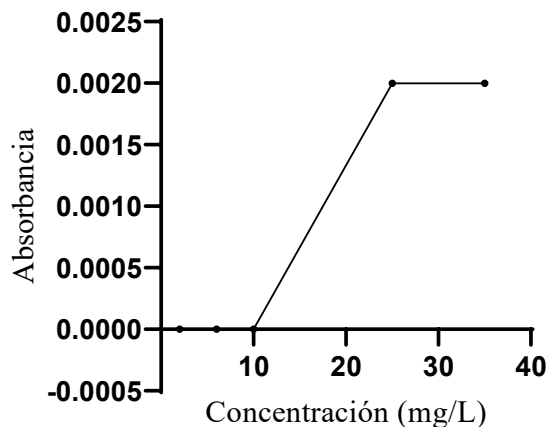


Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 62.

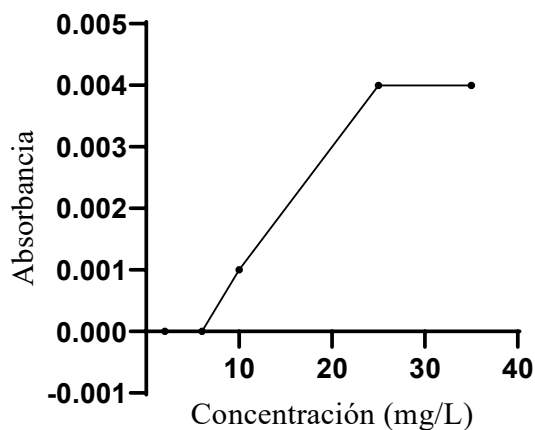
Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente, corrida 2



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 63.

Curva de absorbancia frente a la concentración de colorante azul reactivo 19 después de 8 horas de contacto con el carbón activado térmicamente, corrida 3



Nota: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 64.

Visita técnica a beneficiado de café realizado en la región oriental del país con equipo de investigación



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 65.

Visita técnica a beneficio de café. Visita técnica de beneficio de café ubicado en la finca La Azotea, ubicada en el municipio de Jocotenango, Sacatepéquez.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 66.

Adquisición de cascarilla de café. Cascarilla de café obtenida del beneficio ubicado en la finca La Azotea, municipio de Jocotenango, Sacatepéquez.



Nota: elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 67.

Adquisición de Colorante Azul Reactivo 19. Tres kilogramos de Colorante Azul Reactivo 19 (Azul R Especial) adquirido con el proveedor LM Distribuciones Especiales, S.A.



Nota: elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 68.

Análisis de granulometría. Análisis granulométrico de cascarrilla de café realizado en la Tamizadora en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 69.

Tamaños de muestras. Distintos tamaños de muestras de cascarilla de café obtenidos del proceso de granulometría, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales - Liexve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 70.

Preparación de muestras. Preparación de muestras de cascarilla de café para realizar el proceso de pirólisis en la Mufla, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 71.

Obtención del carbón. Muestras de carbón obtenidas del proceso de pirólisis en el equipo Mufla, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 72.

Proceso de impregnación. Proceso de impregnación de ácido fosfórico a la cascarilla de café por medio del Baño Ultrasónico, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 73.

Obtención de carbón tratado químicamente. Proceso de obtención de carbón a partir de la cascarilla de café impregnada con ácido fosfórico utilizando la Mufla, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.

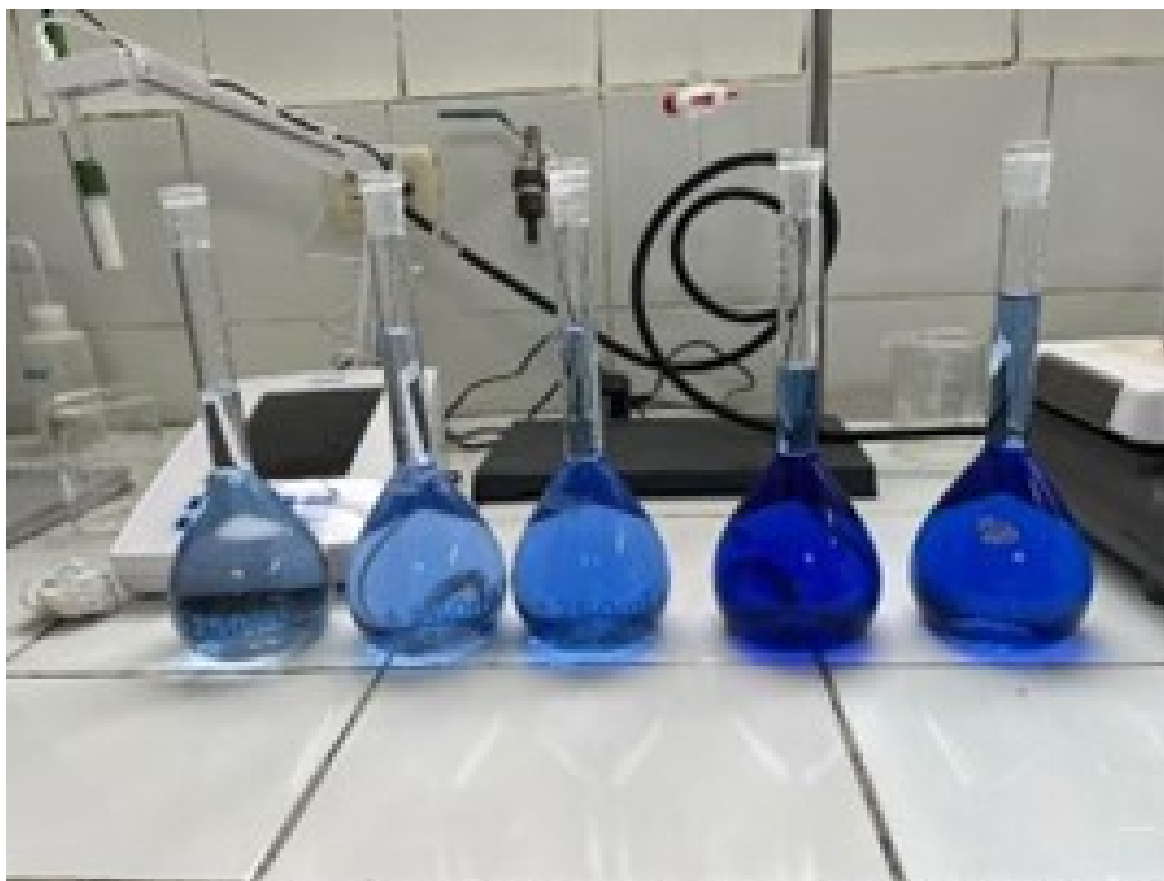


Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 74.

Preparación de soluciones. Preparación de soluciones de colorante azul reactivo 19 a distintas concentraciones, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Lixve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 75.

Proceso de adsorción. Proceso de adsorción de carbón activado física y químicamente en soluciones de colorante azul reactivo 19 a distintas concentraciones, realizado en el Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales -Liexve- CII, Usac.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 76.

Muestras para análisis. Muestras obtenidas del proceso de adsorción listas para ser enviadas al Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Gálvez para realizar ensayos de Espectro IR.



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 77.

Análisis FTR. Ensayos de Espectro IR realizados en el Instituto de Investigaciones de la Universidad Mariano Gálvez



Nota. Elaboración propia 2024.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

16. Vinculación

A partir de la ejecución del proyecto de investigación se realizaron vinculaciones con el sector agroindustrial enfocado el proceso de obtención de café y producción de este.

Se realizó una visita técnica a la Finca Bella Vista II, ubicada en Usulután, Zacapa, en la cual se intercambiaron información técnica con relación al proceso de producción de café en beneficio húmedo. Así mismo, se realizó una visita técnica a Finca La Azotea ubicada en Jocotenango, Sacatepéquez en la cual se intercambiaron información sobre el proceso de producción de café en beneficio húmedo y seco. Como también, se adquirió la materia prima a partir de los residuos del proceso de producción durante el trillado de café en el cual se remueve la cascarilla.

El proceso de pirólisis para la obtención de carbón activado a partir de la cascarilla de café tratada física y químicamente se llevó a cabo en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad (CETEC) de Cementos Progreso.

Se realizaron vinculaciones con el Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas en la Universidad Mariano Gálvez, ubicado en Finca El Zapote, zona 2. En este laboratorio se realizó la caracterización del carbón activado física y químicamente, como también se evaluó el efecto del tiempo de contacto y la concentración del colorante azul reactivo 19 en los carbones activados.

17. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Las estrategias de difusión que se utilizarán para la divulgación de los resultados del proyecto de investigación son las siguientes: Se realizará la publicación del artículo científico para difundirlo en la Revista Científica del Centro de Investigaciones de Ingeniería y la revista científica de la Dirección General de Investigación.

Además, se realizarán divulgaciones en congresos estudiantiles como lo es el caso del “Congreso de Ingeniería Química y Ambiental”. Como también, los resultados serán expuestos en diferentes talleres y conferencias en la temática de cambio climático y gestión de riesgos.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

18. Aporte de la propuesta de investigación a los Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) identificando su meta correspondiente

El agua es un recurso invaluable para el ser humano y el ambiente, pero en los últimos años ha sido contaminada debido a diferentes factores como el sedentarismo, el mal uso de los recursos naturales, la explosión demográfica, el consumismo y el aumento de la industria. Estas acciones han contribuido al cambio climático, lo cual afecta la prosperidad futura del país. Por ello, es necesario priorizar la protección del agua.

Se propone la implementación de un Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, basado en el decreto 7-2013 del Congreso de la República de Guatemala, que establezca medidas organizadas para disminuir la vulnerabilidad de la población. Este plan obliga a las entidades gubernamentales, universidades y centros de investigación a fomentar la investigación sobre el cambio climático.

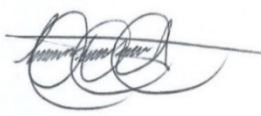


Guatemala es altamente vulnerable al cambio climático, por lo que la adaptación es una prioridad nacional. El plan se enfoca en la salud humana y la gestión de recursos hídricos. Se busca mejorar la capacidad del sistema de salud para prevenir y atender los efectos del cambio climático, vigilando la calidad del agua y previniendo enfermedades relacionadas. El indicador de éxito es el número de personas atendidas en relación con las afectadas por eventos extremos.

El plan también busca gestionar de manera sostenible los recursos hídricos para garantizar el acceso al agua y reducir la vulnerabilidad. Se deben tratar el 100% de las aguas residuales de la industria, siendo responsabilidad del sector privado supervisado por municipalidades, academia, MSPAS y MARN.

En el proyecto propuesto, se aprovecharía la cascarilla del café, un residuo agroindustrial, para producir carbón activado. Este se utilizaría como precedente experimental para posteriores investigaciones que contribuirán en el diseño de dispositivos que ayuden en la remoción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil, evitando su uso y los riesgos para la salud humana. Esto contribuiría a las metas del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático y a las Prioridades Nacionales de Desarrollo.

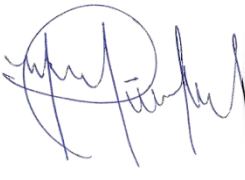

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

19. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Claudia Elisa Castellanos Jurado	Investigador I	20230984	No	
Juan Pablo López Cano	Auxiliar II	20220113	No	
Renato Paolo Cisneros Quiñonez	Auxiliar I	20230984	No	

20. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación


El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Ing.Qco. Mario José Mérida Meré coordinador del proyecto de investigación	 
Fecha: 29/02/2024	

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

21. Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario


De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p>Ing.Qca. Telma Maricela Cano Morales Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería</p>	
<p>Fecha: 29/02/2024</p>	

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

22. Visado de la Dirección General de Investigación

<p>Vo.Bo. Inga. Liuba María Cabrera de Villagrán Coordinadora del Programa Universitario de Investigación</p>	
<p>Fecha: 29/02/2024</p>	

<p>Vo.Bo. Ing. Agr.MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</p>	
<p>Fecha: 29/02/2024</p> <p>Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac</p>	