

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE QUÍMICA

“Efecto de los activadores sobre las propiedades de adsorción en materiales carbonosos para remoción de sistemas binarios conformados por Cefuroxima y colorante rojo granada®.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

QUÍMICO

P R E S E N T A:

Ana Cecilia Mejía López

DIRIGIDA POR:

Dr. en I. ARTURO COLÍN CRUZ



TOLUCA, EDO. DE MÉXICO

ABRIL, 2019

# Contenido

<i>Agradecimientos</i> .....	I
<i>Dedicatoria</i> .....	II
<i>Índice de Tablas</i> .....	VI
<i>Índice de Figuras</i> .....	IX
<i>Índice de Gráficos</i> .....	X
<i>Acrónimos y abreviaturas</i> .....	1
<i>Resumen</i> .....	2
<i>Capítulo 1: Marco teórico</i> .....	4
1.1 Contaminación .....	5
1.2 Aguas Residuales.....	6
1.2.1 Colorantes en aguas residuales y sus efectos en el ambiente .....	7
1.2.2 Antibióticos en aguas residuales y sus efectos en el ambiente .....	9
1.3 Tratamiento de aguas residuales .....	12
1.4 Lodos.....	14
1.4.1 Lodos Activados.....	15
1.5 Pirolisis .....	16
1.6 Activación.....	17
1.6.1 Activación Física.....	17
1.6.2 Activación Química.....	18
1.6.3 Concentración del Activador .....	20
1.6.4 Adición de Aglutinantes .....	20
1.6.5 Tratamiento Posterior .....	21

1.7 Propiedades de los materiales adsorbentes.....	21
1.8 Adsorción.....	23
1.9 Cinética de Adsorción .....	26
1.10 Isotermas de Adsorción para sistemas multicomponentes.....	28
1.11 Curva de carga .....	29
<i>Capítulo 2: Justificación, Hipótesis y Objetivos .....</i>	<i>31</i>
Justificación.....	32
Hipótesis .....	33
Objetivos.....	33
<i>Capítulo 3: Parte Experimental.....</i>	<i>34</i>
3.1 Desarrollo Experimental.....	35
3.2 Etapa I: Obtención y caracterización de los lodos residuales industriales.....	36
3.2.1 Obtención y muestreo del lodo residual .....	36
3.2.2 Determinación del pH de la muestra de lodo residual.....	36
3.2.3 Determinación de la humedad de la muestra de lodo residual .....	37
3.2.4 Determinación de la materia orgánica presente.....	37
Etapa II: Obtención de los materiales carbonosos .....	38
3.3.1 Fase 1: Pirólisis .....	38
Fase 2: Activación .....	38
3.3.3 Fase 3: Lavado y secado del material carbonoso .....	39
3.4 Etapa III: Caracterización de los materiales carbonosos .....	39
3.4.1 Caracterización Textural.....	39
3.4.2 Caracterización Morfológica .....	40

3.5 Etapa IV: Evaluación de la capacidad de adsorción de Cefuroxima y colorante rojo en los materiales carbonosos.....	40
3.5.1 Preparación de soluciones.....	40
3.5.2 Elaboración de curvas de calibración .....	40
3.5.3 Cinética de adsorción .....	41
3.5.4 Isoterma de adsorción.....	42
3.5.5. Curva de carga .....	43
<i>Capítulo 4: Resultados.....</i>	<i>44</i>
4.1. Caracterización de lodos .....	44
4.2 Caracterización Textural.....	48
4.3 Caracterización Morfológica .....	49
4.4 Curva de calibración .....	55
4.5 Cinéticas de adsorción.....	59
4.6 Isotermas de adsorción .....	75
4.7 Curva de carga.....	89
4.8 Análisis estadístico del diseño de experimentos .....	97
4.8.1 Efectos para $Q_e$ (CEFUROXIMA mg/g).....	97
4.8.2 Efectos para $Q_e$ (Colorante mg/g) .....	99
4.8.3 Efectos para $Q_e$ (BIN-Cefuroxima mg/g) .....	100
4.8.4 Efectos para $Q_e$ (BIN-Colorante mg/g).....	101
<i>Capítulo 5: Conclusiones.....</i>	<i>104</i>
<i>Anexos .....</i>	<i>115</i>

## *Índice de Tablas*

Tabla 1. Principales COEs y sus efectos sobre la salud .....	10
Tabla 2 Estructura porosa de los adsorbentes basados en lodos por activación física (Xu et al., 2015).....	18
Tabla 3 Características de estructura de poro de los adsorbentes basados en lodo producidos por activación química (Bandosz & Block, 2006).....	20
Tabla 4. Factores que influyen en el proceso de adsorción con materiales porosos (Colin Cruz, 2007) .....	25
Tabla 5 Modelos binarios de sorción (Erielia, 2011) .....	29
Tabla 6 Esquema del Desarrollo Experimental .....	35
Tabla 7 Características para la Pirolisis de lodos .....	38
Tabla 8 Diseño de Experimentos.....	39
Tabla 9 Modelos linealizados de isothermas (Colin Cruz, 2007) .....	42
Tabla 10 Parámetros de caracterización.....	45
Tabla 11 Rendimiento obtenido de la pirólisis de los diversos MC de cada prueba .....	46
Tabla 12 Cambio de pH para las tres soluciones en condiciones Básicas .....	47
Tabla 13 Cambio de pH para las tres soluciones en condiciones Acidas	47
Tabla 14 pH de los materias carbonosos activados.....	48
Tabla 15 Análisis Elemental.....	54
Tabla 16 Concentración de Colorante rojo granada en solución acuosa por espectrofotómetro UV/Vis, para obtener la curva estándar .....	56
Tabla 17 Concentración de Cefuroxima en solución acuosa por espectrofotómetro UV/Vis, para obtener la curva estándar.....	57
Tabla 18 Concentración de Cefuroxima - Colorante en solución acuosa por espectrofotometria UV/Vis, para obtener la curva estándar .....	58

Tabla 19 Cinética del MC #1 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	60
Tabla 20 Cinética del MC #2 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	61
Tabla 21 Cinética del MC #3 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	63
Tabla 22 Cinética del MC #4 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	64
Tabla 23 Cinética del MC #5 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	66
Tabla 24 Cinética del MC #6 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	67
Tabla 25 Cinética del MC #7 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	69
Tabla 26 Cinética del MC #8 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	70
Tabla 27 Cinética del MC #9 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	71
Tabla 28 Cinética del MC #10 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs $Q_e$ ).....	72
Tabla 29 Tiempo de equilibrio para cada material carbonoso .....	74
Tabla 30 Isoterma del MC #1 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	75
Tabla 31 Cinética del MC #2 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	76
Tabla 32 Cinética del MC #3 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	78
Tabla 33 Cinética del MC #4 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	79

Tabla 34 Cinética del MC #5 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	80
Tabla 35 Cinética del MC #6 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	81
Tabla 36 Cinética del MC #7 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	83
Tabla 37 Cinética del MC #8 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	84
Tabla 38 Isotherma del MC #9 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	85
Tabla 39 isoterma del MC #10 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs $Q_e$ ) .....	86
Tabla 40 Capacidad máxima de adsorción para los MC en función del modelo de Bohart- Adams .....	96

## *Índice de Figuras*

Figura 1 Diagrama de la distribución del agua .....	6
Figura 2 Estructura molecular del colorante rojo .....	8
Figura 3 Estructura molecular de la Cefuroxima.....	11
Figura 4 Tren de flujo para el proceso de tratamiento de aguas residuales.....	13
Figura 5 Diagrama del mecanismo de adsorción en una partícula porosa .....	24
Figura 6 Curva de carga .....	30
Figura 7 MET del lodo residual.....	50
Figura 8 MET del MC sin activar.....	50
Figura 9 MET del MC pirolizado a 700°C activado con Ácido Fosfórico ..	51
Figura 10 MET del MC pirolizado a 700°C activado con hidróxido de potasio.....	52
Figura 11 Análisis TGA de la muestra de lodo residual .....	53
Figura 12 DSC-TGA: Pérdida de peso de la muestra de lodo seco.....	53
Figura 13 MEB del MC pirolizado a 600°C sin activar .....	54
Figura 14 MEB del MC pirolizado a 700°C sin activar .....	54

## *Índice de Gráficos*

Gráfico 1 Rampa de temperatura a 600°C .....	45
Gráfico 2 Rampa de temperatura a 700°C .....	46
Gráfico 4 Barrido de colorante rojo granada .....	56
Gráfico 5 Curva de calibración del colorante rojo granada .....	56
Gráfico 6 Barrido de Cefuroxima por UV/Vis .....	57
Gráfico 7 Curva de Calibración Estándar para Cefuroxima .....	57
Gráfico 8 Barrido de Colorante - Cefuroxima 1:1 en solución acuosa por UV/Vis.....	58
Gráfico 9 Curva de Calibración Estándar para Cefuroxima .....	58
Gráfico 10 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante.....	60
Gráfico 11 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	60
Gráfico 12 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo en una solución binaria 1:1 .....	60
Gráfico 13 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución binaria 1:1 .....	60
Gráfico 14 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante.....	62
Gráfico 15 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	62
Gráfico 16 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo en una solución binaria 1:1 .....	62
Gráfico 17 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución binaria 1:1 .....	62
Gráfico 18 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	63
Gráfico 19 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	63

Gráfico 20 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	63
Gráfico 21 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	63
Gráfico 22 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	65
Gráfico 23 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	65
Gráfico 24 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	65
Gráfico 25 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	65
Gráfico 26 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	66
Gráfico 27 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	66
Gráfico 28 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	66
Gráfico 29 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	66
Gráfico 30 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	68
Gráfico 31 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	68
Gráfico 32 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	68

Gráfico 33 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	68
Gráfico 34 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante.....	69
Gráfico 35 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	69
Gráfico 36 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo en una solución binaria 1:1 .....	69
Gráfico 37 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución binaria 1:1 .....	69
Gráfico 38 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	70
Gráfico 39 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	70
Gráfico 40 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	71
Gráfico 41 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	71
Gráfico 42 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	72
Gráfico 43 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	72
Gráfico 44 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	72
Gráfico 45 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	72
Gráfico 46 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada .....	73

Gráfico 47 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima .....	73
Gráfico 48 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	73
Gráfico 49 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1 .....	73
Gráfico 50 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con colorante rojo granada .....	76
Gráfico 51 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con Cefuroxima.....	76
Gráfico 52 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con Solución binaria de Cefuroxima .....	76
Gráfico 53 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con Solución binaria de Colorante rojo granada.....	76
Gráfico 54 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con colorante rojo granada .....	77
Gráfico 55 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con Cefuroxima.....	77
Gráfico 56 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con Solución binaria de Cefuroxima .....	77
Gráfico 57 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con Solución binaria de Colorante rojo granada.....	77
Gráfico 58 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con colorante rojo granada .....	78
Gráfico 59 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con Cefuroxima.....	78
Gráfico 60 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con Solución binaria de Cefuroxima .....	78
Gráfico 61 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con Solución binaria de Colorante rojo granada.....	78
Gráfico 62 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con colorante rojo granada .....	79
Gráfico 63 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con Cefuroxima.....	79
Gráfico 64 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con Solución binaria de Cefuroxima .....	80

Gráfico 65 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	80
Gráfico 66 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con colorante rojo granada .....	81
Gráfico 67 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con Cefuroxima.....	81
Gráfico 68 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con Solución binaria de Cefuroxima .....	81
Gráfico 69 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	81
Gráfico 70 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con colorante rojo granada .....	82
Gráfico 71 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con Cefuroxima.....	82
Gráfico 72 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con Solución binaria de Cefuroxima .....	82
Gráfico 73 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	82
Gráfico 74 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con colorante rojo granada .....	83
Gráfico 75 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con Cefuroxima.....	83
Gráfico 76 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con Solución binaria de Cefuroxima .....	83
Gráfico 77 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	83
Gráfico 78 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con colorante rojo granada .....	84
Gráfico 79 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con Cefuroxima.....	84
Gráfico 80 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con Solución binaria de Cefuroxima .....	84
Gráfico 81 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	84
Gráfico 82 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con colorante rojo granada .....	85
Gráfico 83 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con Cefuroxima.....	85

Gráfico 84 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con Solución binaria de Cefuroxima .....	86
Gráfico 85 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	86
Gráfico 86 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con colorante rojo granada .....	87
Gráfico 87 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con Cefuroxima .....	87
Gráfico 88 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con Solución binaria de Cefuroxima .....	87
Gráfico 89 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con Solución binaria de Colorante rojo granada .....	87

## *Acrónimos y abreviaturas*

MC	Material carbonoso
MET	Microscopia Electrónica de Transmisión
MEB	Microscopia Electrónica de Barrido
TGA	Análisis Termogravimétrico
DSC	Calorimetría Diferencial de Barrido
$q_e$	Capacidad de adsorción
$N_0$	Capacidad de adsorción del modelo Bohart-Adams
$C_E$	Concentración del soluto en equilibrio
$C_0$	Concentración inicial del soluto
K	Constante de velocidad de adsorción
KOH	Hidróxido de Potasio
HCl	Ácido Clorhídrico
°C	Grados Centígrados

## *Resumen*

El agua es uno de los recursos indispensables para todos los seres vivos, a lo largo de los años se ha provocado una contaminación desmesurada debido a la actividad del ser humano. La contaminación del agua producida por colorantes y antibióticos tiene efectos nocivos para el ambiente, ambos contaminantes son muy persistentes aun con tratamientos específicos convencionales. El colorante rojo y la Cefuroxima no son moléculas biodegradables, por lo cual es necesario su tratamiento. Con el paso de los años se ha buscado materiales alternativos a los procesos ahora existentes que sean efectivos y de bajo costo para la remoción de estos contaminantes en medio acuoso, principalmente en las industrias.

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar un material carbonoso proveniente de la pirólisis a 600 y 700°C de lodos residuales, activando con  $H_3PO_4$  y KOH en la remoción de colorante rojo y Cefuroxima de soluciones acuosas.

El Material carbonoso (MC) fue activado con  $H_3PO_4$  y KOH para modificar sus propiedades de adsorción en la remoción de colorante rojo® y Cefuroxima en solución unitaria y binaria. El material carbonoso fue tratado con una solución de HCl al 5% para eliminar cenizas presentes. Ambos materiales fueron caracterizados mediante microscopia electrónica de barrido y análisis elemental (EDS-TGA), microscopia electrónica de transmisión (MET), análisis Termogravimétrico y un análisis elemental.

Para evaluar la capacidad de adsorción de los adsorbentes en estudio se determinaron la cinética e isotermas de adsorción, los resultados experimentales se ajustaron a modelos matemáticos tales como el de Pseudo-primer orden, Pseudo-segundo orden y segundo orden para

describir la cinética del proceso y los modelos de Langmuir y Freundlich para describir las isotermas de adsorción. Los resultados muestran que el material más eficiente para remover colorante rojo y la Cefuroxima de medio acuoso es el MC pirolizado a 700°C sin activar.

También se estudió el efecto del pH del material en la adsorción de ambos analitos, se determinó que el pH no influye en la adsorción o descomposición del colorante o la Cefuroxima. El pH óptimo de trabajo para el material carbonoso es de 6

Se realizaron pruebas de adsorción en columna, se obtuvieron las curvas de ruptura, los valores obtenidos fueron analizados con el modelo de Thomas para obtener la capacidad máxima real de adsorción. Se encontró que el material carbonoso con mejores resultados fue el realizado a 700°C sin activar

Las curvas de ruptura a diferentes alturas muestran que el modelo de Bohart-Adams pueden ser empleados para representar la parte inicial de las curvas y permiten predecir el tiempo de servicio para un MC.

Con base a los resultados obtenidos es posible ampliar el campo de aplicación de materiales alternativos como el material carbonoso para la remoción de colorantes y antibióticos presentes en aguas residuales.

# *Capítulo 1: Marco teórico*

## 1.1 Contaminación

La contaminación ambiental es la adición de cualquier sustancia (en cualquiera de sus estados) o cualquier tipo de energía (como calor, sonido o radioactividad) al ambiente a una velocidad mayor de la que puede descomponerse, diluirse, dispersarse, reciclarse o almacenarse en alguna forma y causar daño al ecosistema (Nathanson Jerry A., 2008), es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro planeta, que surge cuando al producirse un desequilibrio, como resultado de la perturbación de cualquier sustancia al medio ambiente, de forma que provoque efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

Los principales tipos de contaminación son; la contaminación del aire, la contaminación del agua y la contaminación del suelo.

Uno de los problemas más preocupantes en la actualidad es la contaminación del agua, dado que el agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta, del 100 % del agua de la tierra solo el 2.5 % es consumible por el ser humano (Fenner, 2017).

En la Figura 1 podemos observar la cantidad real disponible para consumo, porcentaje que disminuye con la contaminación, los principales efectos que produce el agua contaminada en el medio ambiente son: contaminación microbiológica, transmisión de enfermedades, pérdida de los ecosistemas acuáticos, riesgo de infecciones crónicas en el hombre, asociadas a la contaminación, pérdida de la capacidad productiva en suelos regados a causa del proceso de salinización, pérdida de la reserva de proteínas de los peces, erosión, entre muchas otras.

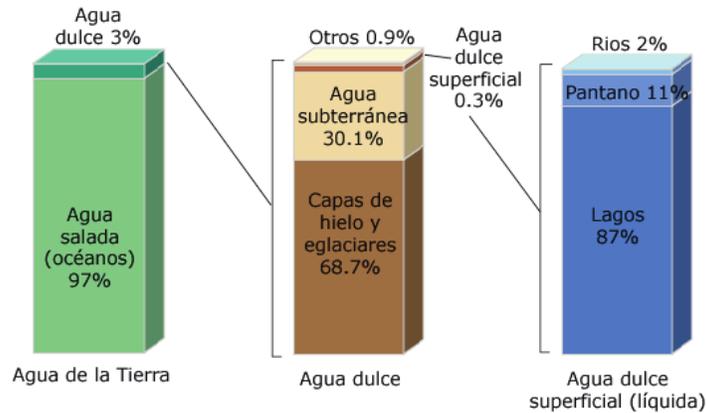


Figura 1 Diagrama de la distribución del agua

## 1.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, debido a que contienen gran cantidad de sustancias químicas y/o microorganismos (Espigares García M., 2018). Las aguas residuales son la principal fuente de microorganismos patógenos que se transmiten a través del ambiente y que llegan a la población especialmente a través de la contaminación del agua usada para beber, agua utilizada en cultivos de vegetales o en cultivos de moluscos bivalvos, en la preparación de comida, para lavar, en el baño o en los diversos usos recreativos.

Existen diversos tipos de aguas residuales dependiendo de su procedencia pueden ser: aguas residuales domésticas, industriales, Agropecuarias y de lluvia o mixtas.

Las aguas residuales domésticas son aquellas procedentes de casas habitación y las cuales pueden contener las heces, orina humana, de la limpieza personal y aseo de la casa. Estas suelen contener grandes cantidades de jabón, grasas, materia orgánica y microorganismos derivados de las actividades humanas.

Las aguas residuales industriales provienen de las actividades y procesos de la empresa, el contenido residual dependerá del tipo de actividades para las cuales está diseñada la fábrica que sea, comúnmente suelen contener pinturas, aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y/o subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.

Las Aguas residuales agrícolas provienen como su nombre lo indica de las actividades agrícolas.

Las aguas residuales de lluvia provienen de la precipitación pluvial, nieve o hielo, así como del riego de las calles, parques y zonas publicas

### **1.2.1 Colorantes en aguas residuales y sus efectos en el ambiente**

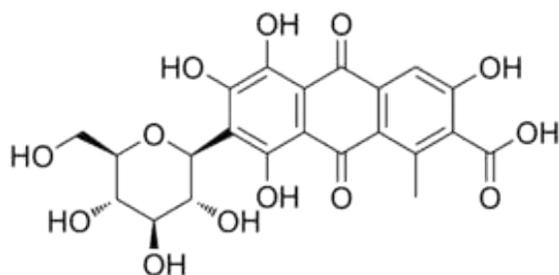
Los colorantes disueltos en aguas residuales, representan un serio problema de contaminación; cuyo efecto no sólo se refleja en la interferencia que presentan sobre los procesos de la vida acuática impidiendo el libre paso de la luz, sino que, se ha comprobado que, producen daños en el sistema reproductor, hígado y cerebro de los seres humanos por el consumo de peces o fauna contaminados, en las plantas, estas sustancias afectan a los procesos de fotosintéticos debido a la falta de luz, y por la presencia de cloruros y metales en dichos colorantes, Además, plantas como la papa, el melón y el rábano, se ven afectadas por los compuestos químicos orgánicos presentes en los colorantes al ser regados con aguas no tratadas, disminuyendo su crecimiento y la capacidad de germinación de sus semillas (Barrios-ziolo & Cardona-gallo, 2016)

Más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados en diferentes industrias como la textil, papelera, cosmética y farmacéutica, entre otras (Cortazar Martínez, Coronel Olivares, Escalante

Lozada, & González RamírezZ, 2012). La industria textil consume grandes cantidades de agua en sus procesos productivos, principalmente en las operaciones de preparación, tintura y acabado. La mayor parte de su contaminación está constituida por impurezas inherentes al textil, productos adicionados para facilitar el hilado y el tejido, productos auxiliares y colorantes, por lo cual es de suma importancia la búsqueda de tecnologías que permitan el reciclaje del agua residual, o bien, que permitan que el agua pueda ser vertida sin que perjudique al ambiente (Cortazar Martínez et al., 2012), los materiales carbonosos activados ofrecen una alternativa en el tratamiento de aguas residuales, debido a que estos materiales presentan grandes áreas superficiales, elevado poder de adsorción y estructuras porosas (Sociedad Química del Perú., Robles, & Carriazo, 2015).

Uno de los métodos más efectivos para la remoción del color de efluentes es la adsorción de las sustancias coloridas en varios materiales como: carbón activado, arcillas, suelos, composta, lodos activados, comunidades vegetales, polímeros sintéticos o sales inorgánicas coagulantes (Chandran, Singh, & Nigam, 2002).

El colorante empleado para el presente experimento es el Colorante para tela roja granada de la marca el caballito® cuyo compuesto principal que da el color es el ácido carmínico extraído de la cochinilla.



*Figura 2 Estructura molecular del colorante rojo*

### 1.2.2 Antibióticos en aguas residuales y sus efectos en el ambiente

Los antibióticos han representado uno de los campos más importantes en la medicina debido a su uso contra virus y bacterias. El desarrollo y dispersión de bacterias resistentes a antimicrobianos está generando una preocupación creciente ya que las bacterias resistentes producen infecciones difíciles de tratar y de controlar (Nuñez Lidia, Tornello Carina, Puentes Noel, 2012), esto se ha convertido en un problema para el ambiente y la salud, el cual se ha considerado como un contaminante emergente, se le denomina como contaminante orgánicos emergentes (COEs), a aquellas sustancias cuya presencia en el ambiente no es necesariamente nueva pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de la misma, dado el factor de riesgo que presentan para los seres vivos (Rubio Clemente Ainhoa, Chica Arrieta Edwin Lenin, 2013), se considera de tal forma debido a que los antibióticos y sus productos de transformación pueden resultar en el desarrollo, mantenimiento, transferencia y propagación de bacterias resistentes y genes de resistencia a antibióticos a largo plazo y tienen un impacto severo en el ecosistema (Li & Zhang, 2010a). Un ejemplo claro de su repercusión es dentro del sector agrícola donde emplean las aguas residuales para riego de cultivos, esto representa un problema debido a que el medicamento no es completamente removido del agua residual, lo cual provoca un consumo recurrente en bajas concentraciones, esto genera bacterias difíciles de tratar (Gatica & Cytryn, 2013).

Antibióticos como la Penicilina, Fluoroquinolinas y las Cefalosporinas, son recurrentemente empleados para combatir enfermedades. La Ampicilina es un medicamento de la familia de las penicilinas la cual sirve para el tratamiento de bacterias que provocan la neumonía, bronquitis, las infecciones del oído, pulmón, piel y vías urinarias; el Ciprofloxacino es un antibiótico del grupo de las Fluoroquinolinas, usada para prevenir o tratar

infecciones provocadas por bacterias como neumonía, gonorrea, fiebre tifoidea, infecciones de la piel, huesos, articulaciones, abdomen y próstata, la Cefalexina es del grupo de las  $\beta$ -lactamas, empleada para atender infecciones de las vías respiratorias provocadas por bacterias, no funciona para resfriados, influenza u otras infecciones virales.

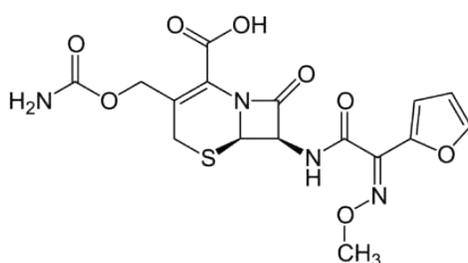
En la tabla 1, se observa una lista de los COEs.

Tabla 1. Principales COEs y sus efectos sobre la salud

COEs	Aplicaciones	Efectos sobre la salud
Fármacos y drogas de abuso	Esteroides y anticonceptivos	Feminización en machos
	Antibióticos	Resistencia microbiana
Aditivos Industriales	Bisfenol - A (Fabricación de Plásticos)	Actividad iatrogénica y hormonal en humanos, aumento de cáncer de mama y feminización en machos
	Ftalatos (Fabricación de juguetes y suelos) Alquilfenoles (Fabricación de Detergentes)	Alteraciones en el embarazo y abortos innecesarios Alteraciones en el procesos reproductivo
Productos de Higiene y Cuidado Personal	Fragancias con Almizcle Parabenos (Agentes Bactericidas y antifúngicos en comida y alimentos) Desinfectantes y antisépticos (Fabricación de pastas de dientes, jabón y cremas para el acné, etc.)	Cancerígeno Actividad iatrogénica Resistencia microbiana y biocida
Surfactantes	Compuestos perfumados	Cancerígeno

En el presente trabajo se centró en un antibiótico comercial ampliamente usado debido a su eficacia contra diversas enfermedades. La Cefuroxima

es un polvo amorfo blanco o casi blanco. Fácilmente soluble en metanol, acetona, parcialmente soluble en agua y éter, cuya estructura se encuentra en la figura 3, es un antibiótico de espectro amplio, del grupo de las cefalosporinas de segunda generación, está indicada para el tratamiento de infecciones causadas por microorganismos sensibles como: Artritis séptica, osteomielitis, profilaxis en fracturas expuestas, cirugías para reemplazo de cadera y rodilla, Gonorrea no complicada, in-fecciones de vías urinarias, uretritis, cistitis.



*Figura 3 Estructura molecular de la Cefuroxima*

La adsorción de contaminantes de antibióticos de agua residual se produce debido a la alta área superficial y porosidad, algunos autores como Ding R. y Li B. de las referencias (Ding, Zhang, Seredych, & Bandosz, 2012) y (Li & Zhang, 2010b) respectivamente, estudiaron la adsorción producida a partir de lodo de aguas residuales con trazas de antibióticos. Las capacidades máximas de antibióticos de los adsorbentes oscilaron entre 80 y 300 mg/g, esto puede variar dependiendo de la reactividad de la superficie, la polaridad y la porosidad. En comparación con los microporos, los mesoporos desempeñaron un papel más activo en la adsorción, especialmente en la superficie de los adsorbentes, dado que los microporos tienen poros demasiado pequeños para retener antibióticos. Los mecanismos principales se atribuyen a la adsorción reactiva y se produjeron interacciones polares específicas en los mesoporos con origen hidrofóbico a base de carbono de las paredes de

los poros, en diversos experimentos realizados por Ding R. (Ding et al., 2012) se demostró que la alta capacidad de adsorción de tetraciclina de los adsorbentes a base de lodos, es atribuible a la tendencia de la tetraciclina a formar iones complejos con algunos de los iones metálicos presentes en los adsorbentes.

### **1.3 Tratamiento de aguas residuales**

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los contaminantes, de tal manera que, una vez tratada el agua, cumpla las especificaciones de vertido determinadas por el organismo competente.

Los recursos hídricos en México, así como en el mundo, se encuentran bajo una creciente presión, por lo cual es necesaria la implementación de tratamientos de bajos costos de construcción, operación y mantenimiento para la remoción de gran parte de las impurezas presentes en el agua, existen diversos métodos para estos procesos, los cuales van desde procesos muy simples de pocos pasos, con un alto consumo energético, o algunos otros muy elaborados en diversas etapas.

El objetivo de estos tratamientos de forma general es reducir la carga de contaminantes del efluente y convertirlo en inocuo para el ambiente, los más usuales son:

Físicos: sedimentación, flotación (natural o provocada con aire), filtración (con arena, carbón, cerámicas, etc.), evaporación, sorción (con carbón activado, zeolitas, etc.), desorción, extracción, etc.

Químicos: coagulación-floculación, precipitación química, oxidación-reducción, reducción electrolítica, intercambio iónico, ósmosis inversa.

Biológicos: lodos activados, filtros bacterianos, biodiscos, lagunas aireadas, degradación anaerobia.

Uno de ellos se describe a continuación, el presente tratamiento dio origen a los lodos residuales empleados para la realización de este trabajo.

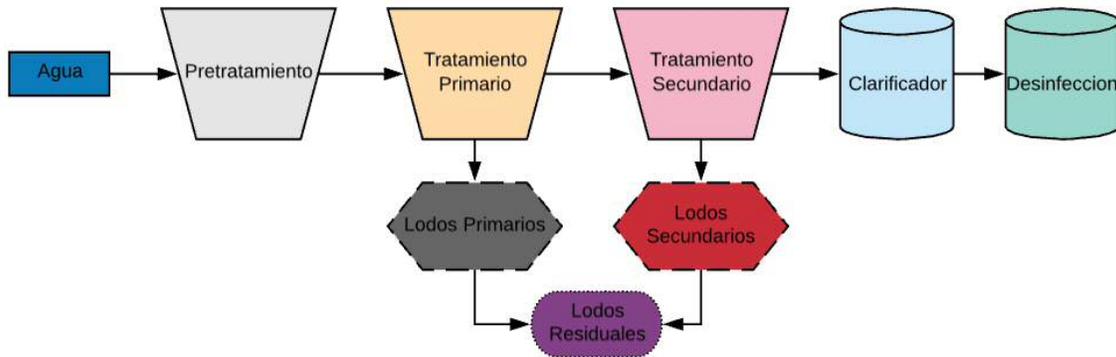


Figura 4 Tren de flujo para el proceso de tratamiento de aguas residuales

### Pretratamiento

El agua es pasada por dos tamices, la primera rejilla para retirar sólidos (toda la basura y escombros presentes en el agua), la segunda rejilla retira material de menor dimensión. Una vez filtrada, ingresa a un tanque que almacena temporalmente el agua y se retiran los sólidos suspendidos que se generan al cambiar de temperatura.

### Tratamiento Primario

El agua es depositada y conducida al canal desarenador donde se separa de forma parcial arenas, aceites y grasas, que son removidos y llevados al incinerador. El agua resultante es llevada a clarificadores primarios, para provocar una coagulación superficial y sedimentar los sólidos. Mediante un puente móvil se retira ese material, generando lodos conocidos como primarios que son enviados a incineración. Una vez que el agua sale por el vertedor de estos tanques primarios, inicia el proceso biológico, estos son mezclados con un caudal de lodos bacterianos en volumen 1 a 1.

## Tratamiento Secundario

En los reactores biológicos se oxida y digiere la materia contaminante, con ello se metabolizan los componentes orgánicos, se transforma a CO<sub>2</sub>, agua y lodos secundarios. Una vez que el agua ha permanecido en los reactores, se conduce a clarificadores secundarios, donde reposa, permitiendo clarificación y sedimentación de la masa de lodos activados. Lodos que se depositan en el fondo y regresan en parte al proceso para servir como inóculo a las aguas que salen de la clarificación primaria, el resto es enviado al proceso de tratamiento de lodos.

### Clarificador

El agua tratada y clarificada es vertida para ser conducida a la cámara de cloración.

### Desinfección

Consiste en la adición de cloro a la corriente de agua tratada en los clarificadores secundarios, proceso que garantiza la desinfección del agua y que alcanza valores de coliformes fecales inferiores a la norma, para lograr esa eficiencia, el agua permanece en el tanque de cloración al menos 30 minutos, para después ser vertida cumpliendo con calidad de riego agrícola según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

## 1.4 Lodos

Los lodos residuales son un subproducto del tratamiento de aguas residuales que contiene ciertas cantidades de metales pesados, contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos (Xu, Yang, & Spinosa, 2015), existen tres tipos principales de lodo: lodos de aguas residuales domésticas, lodo industrial y lodos mixtos. El lodo de aguas residuales es una mezcla de biomasa agotada generada a partir de la

digestión aeróbica y anaeróbica de los constituyentes orgánicos presentes en las aguas residuales municipales y/o urbanas y los materiales inorgánicos, como la arena y los óxidos metálicos.

Estos lodos se obtienen después de realizar un tratamiento por etapas a las aguas residuales, los cuales implican una serie de pasos, para fines del presente trabajo se empleó el proceso de Reciclagua Ambiental S.A de C.V, para la obtención de los lodos, el tratamiento llevado a cabo se muestra de forma general en la Ilustración 1.

Los lodos resultantes del proceso de tratamiento son recolectados en tanque donde se incrementa la concentración de sólidos y se vierte el agua. Los sólidos son sedimentados en su interior y bombeados hacia un sistema dosificador, donde mediante rodillos se comprime perdiendo humedad, gana consistencia, saliendo de 15-20% de sólidos y 80-85% agua. Este material ya deshidratado es llevado al incinerador, donde son quemados a más de 800 °C. Se procesa de 50 a 70 toneladas de lodo base húmeda diario, generando un mínimo de cenizas inertes y cumpliendo la emisión a la atmósfera con la NOM-085-SEMARNAT-1994.

La composición de estos lodos varía de empresa a empresa, pero en general tienden a tener propiedades muy similares entre sí.

#### **1.4.1 Lodos Activados**

El Lodo Activado es una unidad de reactor de varias cámaras que (principalmente) hace uso de microorganismos aeróbicos para degradar la materia orgánica en las aguas residuales y para producir un efluente de alta calidad. Para mantener las condiciones aeróbicas y mantener suspendida la biomasa activa, se requiere una fuente de oxígeno constante y bien programado.

En estudios previos de diversos investigadores (Bandosz & Block, 2006), (Elouear, Bouzid, & Boujelben, 2009), (Yilmaz, Boncukcuoğlu, Kocakerim, & Karakaş, 2011), entre muchos otros, desde los años 70s han empleado los lodos activados como una alternativa de adsorbente al carbón activado de bajo costo, este tiene aplicaciones amplias y eficientes en la adsorción de diferentes tintes, compuestos orgánicos, metales pesados e incluso en la eliminación de contaminantes gaseosos.

### **1.5 Pirólisis**

La pirólisis consiste básicamente en calentar la biomasa (típicamente entre 300 ° C y 800 ° C) en ausencia de oxígeno. Durante este proceso existe la formación de vapores (que se condensan para producir un bioaceite), carbón y gases no condensables (que pueden usarse para calor y energía en el proceso) (Pedroza, Sousa, Vieira, & Bezerra, 2014).

Es una opción alternativa a la eliminación de lodos cloacales debido a algunas ventajas específicas, por ejemplo, la temperatura de pirólisis puede descomponer contaminantes orgánicos y matar patógenos, la atmósfera limitada en oxígeno restringe la generación de contaminantes liberados en el proceso de incineración (Yuan et al., 2015), además de que con la pirólisis encontramos subproductos tales como gases y bio-aceites que pueden ser empleados como combustibles.

En general, el adsorbente producido a baja temperatura es ácido, mientras que a alta temperatura es alcalino. Debido a que el tratamiento a alta temperatura (> 500 ° C) libera óxido de sodio lo cual incrementa la basicidad (Xu et al., 2015). Se ha demostrado que el aumento de la temperatura aumenta el nivel de mineralización. En el caso de materiales obtenidos a temperaturas superiores a 600 ° C, el grado de mineralización es mucho mayor que a 105 °C donde el producto carboneo resulta amorfo. La combustión a 600 °C da como resultado la formación de

aluminosilicatos, calcita y los óxidos de aluminio, hierro, magnesio, sodio y potasio lo cual mejora las propiedades del adsorbente (Elouear et al., 2009).

Cuando la temperatura es baja, la estructura porosa se destruye y se inhibe el desarrollo adicional de la porosidad mediante la combinación de mesoporos. Sin embargo, cuando la temperatura es demasiado alta, hay una disminución en el área superficial probablemente debido a la destrucción de la estructura porosa y al desarrollo de deformación, agrietamiento u obstrucción de microporos (Xu et al., 2015).

Se ha reportado que las mejores temperaturas para la pirólisis son: 500 °C, 550 °C y 650 °C por un tiempo de 240, 200 y 120 minutos respectivamente (Yilmaz et al., 2011), Se encontró que una mayor velocidad de calentamiento mejoraba el rendimiento y el contenido de carbono, pero disminuía el contenido de hidrógeno en los adsorbentes, por lo cual la velocidad de calentamiento optima es de 10 a 3 °C/min

## **1.6 Activación**

La activación de los materiales es una parte fundamental del proceso para el empleo del material carbonoso debido a que de esta depende la adsorción que tendrá el polvo carbonáceo, existen diversas formas de activación química dependiendo si se requiere una activación acida o básica.

### **1.6.1 Activación Física**

Esta se lleva a cabo comúnmente en dos fases: la primera es la carbonización del lodo a una relativa baja temperatura (450 - 750 °C) y la activación con gas a altas temperaturas (800 - 1200 °C). Se han reportado estudios donde emplean gases como N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y mezclas de O<sub>2</sub>/aire, siendo el CO<sub>2</sub> el gas más empleado para la activación física. En

la Tabla 2 se muestra la estructura porosa de diversos procesos de tratamiento del material carbonoso, el cual está basado activación física de lodos, muestra diversos datos extraídos de artículos, donde se observan las condiciones ideales para la realización de los materiales carbonosos concluyendo cuales obtuvieron mejores resultados, este estudio se enfoca en la adsorción de metales, lo relevante de la tabla es que nos permite conocer el área superficial de los materiales carbonosos, por lo cual se infiere que, los datos extraídos de dicho artículo servirán para la realización del presente estudio.

Tabla 2 Estructura porosa de los adsorbentes basados en lodos por activación física (Xu et al., 2015)

Sludge type	Carbonization			Activation					Post treatment	$S_{BET}$ ( $m^2/g$ )	$V_t$ ( $cm^3/g$ )	$V_m$ ( $cm^3/g$ )	Reference
	Temperature ( $^{\circ}C$ )	Dwell time (h)	Heating rate ( $^{\circ}C/min$ )	Activator gas	Temperature ( $^{\circ}C$ )	Flow rate (mL/min)	Dwell time (h)	Heating rate ( $^{\circ}C/min$ )					
Cosmetics sludge	Not carbonized	CO <sub>2</sub>	800	100	2.0	10	HCl	94	0.04	NA	Monsalvo et al., 2011		
	Not carbonized	Air	400	100	2.0	10	HCl	92	0.06	NA			
Cosmetics sludge	Not carbonized	N <sub>2</sub>	750	100	0.5	10	H <sub>2</sub> O	44	NA	0.063	Monsalvo et al., 2012		
	Not carbonized	O <sub>2</sub> /Air	650	NA	2.0	3	NA	275	0.061	NA		Méndez et al., 2009a,b	
PMS	Not carbonized	O <sub>2</sub> /Air	650	NA	2.0	10	NA	245	0.055	NA	Hofman and Pietrzak, 2012		
	Not carbonized	CO <sub>2</sub>	600	300	1.0	10	NA	17	NA	NA			
MFS	Not carbonized	Steam	600	170	1.0	10	NA	14	NA	NA	Qian et al., 2009	0.123	
	500	1.0	10	N <sub>2</sub>	700	200	1.0	10	H <sub>2</sub> O	244.6		NA	
WWTP	500	1.0	10	Steam	700	NA	1.0	10	H <sub>2</sub> O	231.1	NA	0.131	
	950	0.5	10	Steam	900	NA	1.6	10	NA	269.1	NA	NA	Stüber et al., 2011
WWTP	700	1.0	10	Steam	838	NA	1.5	10	NA	244.1	NA	NA	
	Not carbonized	N <sub>2</sub>	750	NA	0.5	20	NA	34.3	NA	NA	Jindarom et al., 2007		
	Not carbonized	CO <sub>2</sub>	750	NA	0.5	20	NA	60.7	NA	NA			

WWTP: Wastewater treatment plant; PMS: Paper mill sludge; MFS: methane fermentation sludge.

### 1.6.2 Activación Química

Los factores que afectan la activación química incluyen la temperatura de activación, el tipo de activador, la concentración del activador y la adición de aglutinante. La activación acida se aplica cuando se requiere atrapar compuestos con carga parcial negativa, para esta activación se emplean compuestos como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y HNO<sub>3</sub> como agentes activadores. La ventaja del empleo de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> como agente activante es la temperatura y

los costos de activación que resultan de cierta forma bajos en comparación con otros agentes activantes empleados, pero no es un agente efectivo para producir adsorbentes eficientes debido a la generación de bajas superficies adsorbentes (Wang et al., 2011).

Mientras que la activación básica es usada al requerir una adsorción de compuestos con carga parcial positiva, para este proceso se emplean KOH y NaOH comúnmente como agentes activadores. Se demostró que KOH es un activador eficaz en la producción de adsorbentes a base de lodo con áreas superficiales altas (Tsai, Chiang, Huang, & Chiang, 2008) como se muestra en la tabla 2.

También existen activadores a base de sales, siendo los más comunes  $ZnCl_2$ ,  $K_2CO_3$  y  $Fe(NO_3)_3$ . Los adsorbentes a base de lodos preparados por la activación de  $ZnCl_2$  presentan una amplia distribución del tamaño de poro (Tsai et al., 2008). Las temperaturas de activación de  $ZnCl_2$  óptimas reportadas en la Tabla 2 son 300 °C, 375 °C, 500 °C y 750 °C (Lin, Cheng, & Chen, 2012). Después del lavado del adsorbente se elimina el  $ZnCl_2$  y  $ZnO$  que queda como residuo en el polvo, lo cual dará la creación de microporosidad y mesoporosidad. Se considera que  $ZnCl_2$  actúa como un deshidratante y supresor de la formación de alquitrán durante los procesos de activación, para promover la aromatización del esqueleto de carbono con la generación de una estructura porosa (Lin et al., 2012).

En la tabla 3 (Bandosz & Block, 2006), se ilustran las diferentes activaciones y el área superficial de los poros resultantes del proceso, se puede observar que los agentes activadores que dieron los mejores resultados de área superficial fueron el KOH y el  $ZnCl_2$  dando una mayor área superficial por lo cual una mejor adsorción.

Tabla 3 Características de estructura de poro de los adsorbentes basados en lodo producidos por activación química (Bandosz & Block, 2006).

Sludge type	Carbonization			Activation				Post treatment	$S_{BET}$ ( $m^2/g$ )	$V_t$ ( $cm^3/g$ )	$V_m$ ( $cm^3/g$ )	Reference	
	Temperature ( $^{\circ}C$ )	Dwell time (h)	Heating rate ( $^{\circ}C/min$ )	Activator	Temperature ( $^{\circ}C$ )	Mass ratio <sup>b</sup>	Dwell time (h)						Heating rate ( $^{\circ}C/min$ )
Cosmetics sludge		Not carbonized		KOH	750	1:1	0.5	10	HCl	950	0.4	0.23	Monsalvo et al., 2011
WWTP		Not carbonized		KOH	750	3:1	0.5	10	HCl	1832	0.75	0.36	Kaçan and Kütahyalı, 2012
WWTP		Not carbonized		KOH	500	1:1	1.0	NA	H <sub>2</sub> O	69	NA	NA	
WWTP	700	0.5	5	KOH	500	1:1	1.0	NA	HCl	135	NA	NA	Lillo-Ródenas et al., 2008
WWTP				KOH	700	1:1	1.0	5	HCl	1882	0.89	0.67	Hwang et al., 2008
WWTP		Not carbonized		NaOH	850	1.25 M	1.5	10	HCl	422	NA	NA	
WWTP		Not carbonized		NaOH	700	1:1	3	NA	H <sub>2</sub> O	139	0.06	NA	Gómez-Pacheco et al., 2012
WWTP	500	1	5	NaOH	600	1:1	2	5	NaOH	121	0.10	NA	Zou et al., 2013
WWTP		Not carbonized		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	800 W <sup>d</sup>	3 M	10 min	NA	NaOH	291	NA	NA	Wang et al., 2011a,b
WOS		Not carbonized		ZnCl <sub>2</sub>	500	1 M	0.5	15	H <sub>2</sub> O	737	0.21	NA	Hsiu-Mei et al., 2009
WWTP		Not carbonized		ZnCl <sub>2</sub>	375	5–30%	1.5	NA	HCl	270	0.05	NA	Ren et al., 2012
WWTP	450	1.0	NA	ZnCl <sub>2</sub>	750	6 M	2.0	10	HCl	510	0.16	NA	Wen et al., 2011
WWTP		Not carbonized		ZnCl <sub>2</sub>	650	1:1	0.5	40	HCl	472	0.04	0.05	Rozada et al., 2008
WWTP		Not carbonized		98% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	650	1:1	0.5	40	HCl	NA	NA	NA	Rozada et al., 2007
WWTP		Not carbonized		K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	800	1:1	1.0	20	H <sub>2</sub> O	422	NA	NA	Stüber et al., 2011
WWTP	500	1.5	20	HNO <sub>3</sub>	750	7M	2	15	NA	273	0.19	0.06	Zhai et al., 2013
MFS		Not carbonized		Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	700	2:1	1	10	NA	245	0.24	0.12	Qian et al., 2009

### 1.6.3 Concentración del Activador

La concentración de un activador puede variar mucho, estudios realizados muestran que a medida que aumenta la concentración del activador, aumentan las capacidades de adsorción y con ello las áreas superficiales de los adsorbentes, debido a que se promueve la formación de poros, sin embargo, cuando la concentración del activador excede determinados valores, las capacidades de adsorción y las áreas superficiales disminuyen considerablemente, debido a que la hiperactivación ocurre antes de la demolición de la pared del poro, resultando en la destrucción parcial de la microporosidad (Hwang, Choi, Kim, Kim, & Oh, 2008).

En la literatura Hwang y sus colaboradores (2008), informaron que la concentración óptima de activación de KOH y NaOH era 1 M y 1.25 M, respectivamente mientras que (Mahapatra, Ramteke, & Paliwal, 2012) consideraron una concentración 2 M para trabajar con ZnCl<sub>2</sub> como concentración óptima.

### 1.6.4 Adición de Aglutinantes

La adición de aglutinantes (agentes que se emplean para unir distintos elementos) a los lodos antes de los procesos de activación química puede mejorar la distribución de los adsorbentes basados en lodos, pero tiene un efecto negativo en las áreas superficiales de los adsorbentes (Ocampo-Pérez, Rivera-Utrilla, Gómez-Pacheco, Sánchez-Polo, & López-Peñalver, 2012) por lo cual no es recomendable su uso en adsorbentes a base de lodos.

### **1.6.5 Tratamiento Posterior**

Este paso consta de un lavado ácido, alcalino o de agua destilada, es muy útil debido a que, gracias a él, se disminuye el contenido de cenizas del adsorbente y de este modo, mejora su área superficial.

El lavado ácido se usa para reducir el contenido inorgánico del material carbonoso, usualmente se emplea el lavado con HCl, el cual hace que los óxidos básicos como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , etc., se disuelvan generando una mejora en la porosidad del adsorbente (Julcour Lebigue et al., 2010), mientras que (Velghe, Carleer, Yperman, Schreurs, & D'Haen, 2012) reportaron que los adsorbentes que reciben lavados con HCl exhiben una mayor absorción de iones metálicos debido a que los cationes intercambiables de los adsorbentes se sustituyen por iones  $\text{H}^+$ , lo que aumenta la capacidad de intercambio catiónico.

### **1.7 Propiedades de los materiales adsorbentes**

Los parámetros que se emplean para caracterizar a cualquier material carbonoso con propiedades adsorbentes son descritos a continuación.

Capacidad de sorción: es la cantidad de adsorbato que se queda retenida en un material sorbente (mg de adsorbato / g de material carbonosos) y se determina experimentalmente en el laboratorio.

Área superficial específica: Es el área accesible que varía según el tamaño de los poros y de las moléculas a absorber.

Distribución de los poros: los tamaños promedio de poros que predominan en cada material sorbente.

pH: es el potencial de hidrógeno del lixiviado o solución de lavado utilizado en la fabricación del carbón, el cual tiene un efecto sobre la disociación y solubilidad del carbón.

Materia extraíble: es la cantidad de carbón que se obtiene por tonelada que se puede utilizar como sorbente.

Porcentaje de cenizas: es la cantidad de ceniza que se libera al tratar el agua.

Tamaño de partícula: está determinado por el diámetro efectivo ( $D_e$ ) y el coeficiente de uniformidad (CU).

Porosidad: Los materiales que presentan porosidad son ampliamente usados debido a su aplicación potencial como adsorbentes, mallas moleculares, membranas, soportes o catalizadores químicos (Valtierra, 2004), esto sucede gracias a su capacidad de retención o adsorción de átomos, moléculas y/o iones. Se reconocen tres tipos de poros presentes en la materia.

Microporos: Cuyo tamaño es menor a 2 nm ( $20 \text{ \AA}$ ), estos poros son comúnmente encontrados en las zeolitas

Mesoporos: Cuyo tamaño aproximado es de 2 a 50 nm ( $20 \text{ a } 500 \text{ \AA}$ )

Macroporos: Cuyo tamaño rebasa los 50 nm ( $500 \text{ \AA}$ )

Dureza: es la resistencia a la abrasión que presenta cada carbón, es decir, la cantidad de carbón se pierde cuando es sometido al proceso de regeneración.

## **1.8 Adsorción**

La adsorción es un proceso que cual tiene por objetivo el aumentar la calidad de los efluentes antes de que estos sean descargados a cuerpos de agua. Este proceso se da, cuando las moléculas llamadas adsorbatos presentes en solución se adhieren a la superficie de un sólido (sorbente).

A continuación, se muestra la Figura 5, la cual es una descripción detallada de las etapas de transporte y reacción de adsorción (Metcalf & Tchobanoglous, 2003).

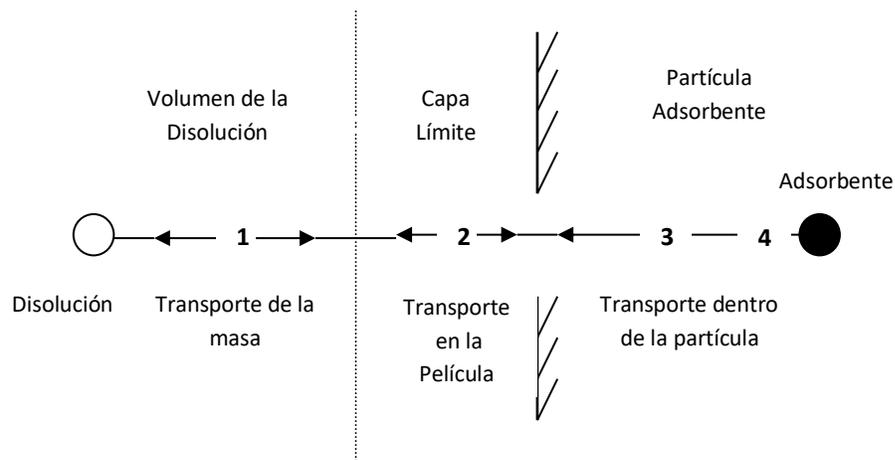
Transferencia del soluto esto ocurre desde la fase líquida hacia la película líquida que rodea el adsorbente, esta transferencia se lleva a cabo por difusión.

Transporte en la película de difusión, por difusión del adsorbato a través de la película que envuelve al adsorbente.

Transporte en el poro, es una combinación de difusión molecular a través del poro y/o difusión a lo largo de la superficie del adsorbente.

Adsorción o Sorción, se caracteriza por las interacciones soluto-sorbente, que pueden ser de dos tipos: la sorción física (Fisorción) que se basa en las fuerzas intermoleculares débiles (Van der Waals o electrostática), cuyos efectos son reversibles y la sorción química (Quimisorción) que se basa en las fuerzas de naturaleza covalente con efectos casi siempre irreversibles.

Estas etapas se efectúan en serie siendo la más lenta la que impone la cinética. Las etapas 1 y 4 son rápidas; por lo tanto, es la transferencia de masa a través de la película y de difusión en el interior del sorbente (superficial y porosa) las que controlan la cinética de sorción. El proceso de sorción depende de la naturaleza y la estructura del sorbente, de las propiedades fisicoquímicas del adsorbato y del medio en el que se lleva a cabo la sorción (Alvarado Diaz, 2015).



*Figura 5 Diagrama del mecanismo de adsorción en una partícula porosa*

Los factores que influyen en la adsorción de los materiales carbonosos se presentan en la tabla 4:

Tabla 4. Factores que influyen en el proceso de adsorción con materiales porosos (Colin Cruz, 2007)

<b>Factor de Influencia</b>	<b>Descripción</b>
<b>Área superficial</b>	El área superficial es generalmente proporcional a su capacidad de adsorción donde suceden los fenómenos de sorción físicos y/o químicos
<b>Tamaño del poro</b>	El tamaño y distribución de poro se relacionan con la fracción de partículas que ocupan los espacios libres o porosos.
<b>Química de superficie</b>	Está relacionada con los grupos funcionales de su estructura superficial formados sobre el material activo.
<b>Polaridad del adsorbato</b>	Dependiendo de la naturaleza del compuesto que se desee remover puede afectar la polaridad. La presencia de más de una sustancia orgánica, influye en la adsorción beneficiando el proceso o la disminuyéndola por la competición con otros compuestos por los lugares de adsorción.
<b>pH</b>	El pH de la disolución en que tiene lugar la adsorción influye en el grado de adsorción ya que gobierna el grado de ionización de los compuestos ácidos o básicos, el cual es factor determinante para la adsorción.
<b>Iones presentes</b>	Debido a que los iones hidronio e hidroxilo se adsorben bastante fuerte, la adsorción de otros iones está influenciada por el valor del pH de la solución.
<b>Temperatura</b>	Las reacciones de adsorción son normalmente exotérmicas, por lo tanto, el grado de adsorción suele aumentar al disminuir la temperatura.
<b>Naturaleza del adsorbato</b>	La estructura y la especie química es fundamental para que se lleve a cabo la adsorción, es decir, que la sustancia se adhiera a la superficie de la partícula adsorbente, así como de las propiedades fisicoquímicas del adsorbato (solubilidad, carga superficial, carácter hidrofóbico/hidrofílico, entre otros), tamaño de la partícula para penetrar a los poros en su caso.

## 1.9 Cinética de Adsorción

La Cinética de adsorción, es la velocidad a la cual un átomo, molécula o una especie química es adsorbida sobre una superficie, tiene la misma forma que cualquier proceso químico o cinética de reacción  $\frac{dC}{dt} = k(C - C_e)$ , donde "K" es la constante de la velocidad de reacción, A el adsorbente y B el adsorbato. En el proceso de sorción, el adsorbato penetra en las cavidades y espacios libres entre cada partícula de material sorbente, por lo tanto, la cantidad que es retenida puede variar de un material a otro, hasta alcanzar el equilibrio cinético. Los factores que afectan la velocidad de adsorción son: naturaleza del adsorbente y del adsorbato, concentración del adsorbente y del adsorbato, temperatura y la catálisis

Permite determinar el tiempo de equilibrio que se establece entre las fases (sólida y líquida) y saber si el proceso de sorción del sorbato es rápido o lento.

Existen modelos matemáticos que se emplean para la obtención de parámetros cinéticos de adsorción, los cuales son descritos a continuación:

### Pseudo Primer Orden

Este modelo fue propuesto por Lagergren, es comúnmente usado para adsorbentes con superficie homogénea y sorción física; la velocidad de sorción es proporcional a la concentración de soluto (J Torres-Pérez, M Solache-Ríos, 2008). Se representa con la Ecuación 1:

(1)

con la forma linealizada:

— (2)

Dónde:  $q_e$  y  $q_t$  son las cantidades de contaminante adsorbido (mg/g) al equilibrio y al tiempo  $t$  (h), respectivamente, y  $K_L$  ( $h^{-1}$ ) es la constante de sorción de Lagergren. La gráfica lineal de  $\log (q_e - q_t)$  vs  $t$  permite encontrar la constante de Lagergren, así como su correlación.

#### Modelo de Segundo Orden

Este modelo es empleado para representar procesos de quimisorción sobre materiales heterogéneos y es representado por la ecuación 3:

$$- \quad (3)$$

Con la forma linealizada:

$$- \quad - \quad (4)$$

Donde  $q_t$  (mg/g), es la cantidad de contaminante adsorbido al tiempo  $t$  (h), " $a$ " es la constante de sorción del contaminante (mg/g) y " $b$ " es la constante de desorción (mg/g) (Erielia, 2011).

Representando en una gráfica los valores experimentales de  $q_t$  vs  $\ln(t)$ , a partir de la pendiente se obtiene el valor de la constante de desorción " $b$ " y del intercepto en el eje  $y$  se obtiene la constante de sorción " $a$ ".

#### Modelo de Pseudo Segundo Orden

El modelo de Pseudo-segundo orden fue propuesto por Ho and McKay; este modelo indica que el proceso de adsorción se lleva a cabo por mecanismos de quimisorción.

La expresión que representa este modelo se muestra en la ecuación 5:

$$- \quad (5)$$

Con la forma linealizada:

$$- \quad - \quad - \quad (6)$$

Donde  $q_t$  y  $q_e$  son las cantidades de contaminante adsorbido al tiempo  $t$  y al equilibrio (mg/g), respectivamente, y  $k$  es la constante de velocidad de Pseudo-segundo orden para los procesos de sorción (g/mg h). Así, una gráfica de  $t/q_t$  vs  $t$  deberá dar una relación lineal con una pendiente de  $1/q_e$  y un intercepto  $1/kq_e^2$ .

### **1.10 Isotermas de Adsorción para sistemas multicomponentes**

Las isotermas describen la cantidad de adsorbato adherido sobre la superficie del sólido, en función de la concentración de adsorbato o en función de la masa de adsorbente en equilibrio del mismo, siempre a temperatura constante, representando uno o más de los siguientes fenómenos: captación de una monocapa de adsorbato, captación en multicapas y condensación en poros. Los modelos de isotermas más conocidos son: isoterma lineal, Freundlich, Langmuir, Langmuir-Freundlich.

Para la caracterización de un nuevo adsorbente y su posterior aplicación en la remoción de contaminantes en solución acuosa, es importante determinar su comportamiento a través de las isotermas de adsorción que describan la cantidad de adsorbato adherido sobre la superficie del sólido, esto es función de la cantidad inicial del adsorbato y de la concentración en el equilibrio, siempre a temperatura constante (Bagreev, Bandosz, & Locke, 2001).

Para describir el proceso de sorción, se aplican los modelos de isotermas que se apegan al comportamiento de cada sorbente, para el presente caso se emplearán los modelos de Langmuir y Freundlich, mientras que para sistemas multicomponentes es necesario aplicar modelos que permitan mostrar la absorción para cada caso (Mendoza Castillo, JaureguiRinco, & Bonilla Petriciolet, 2016). Algunos de los modelos conocidos para sistemas binarios son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 5 Modelos binarios de sorción (Gutierrez, 2011)

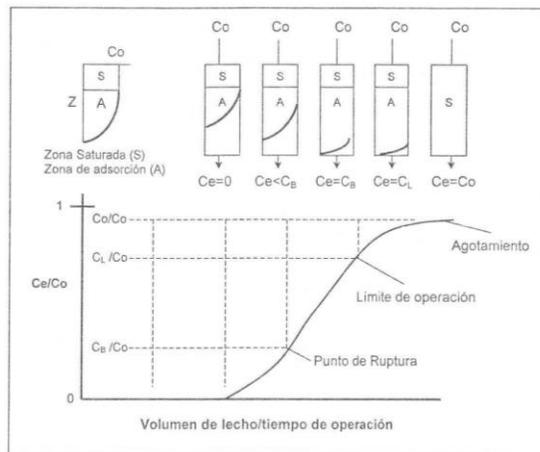
MODELO	ECUACIÓN
<i>Henry</i>	$q_{e,i} = K_i Q_i^0 C_{e,i}$ (7)
<i>Markham-Benton</i>	$q_{e,i} = \frac{K_i Q_i^0 C_{e,i}}{1 + \sum K_j C_{e,j}}$ (8)
<i>Schay</i>	$q_{e,i} = \frac{\frac{K_i Q_i^0 C_{e,i}}{\eta_i}}{1 + \sum \frac{K_j Q_j^0 C_{e,j}}{\eta_j}}$ (9)
<i>Yon-Turnock</i>	$q_{e,i} = \frac{Q_i^0 (K_i C_{e,i})^{A_i}}{1 + \sum (K_j C_{e,j})^{A_j}}$ (10)
<i>Sips-Yu-Neretnieks</i>	$q_{e,i} = \frac{Q_i^0 K_i C_{e,i} (\sum K_j C_{e,j})^{A_i - 1}}{1 + \sum (K_j C_{e,j})^{A_j}}$ (11)
<i>Redlich-Peterson-Siedel</i>	$q_{e,i} = \frac{A_i C_{e,i}}{1 + B_i C_{ref}^{D_{ij}} C_i^{E_i - D_{ij}} \sum (A_{ij} C_{e,j})^{D_{ij}}}$ (12)

### 1.11 Curva de carga

El estudio de la capacidad de adsorción de materiales carbonosos activados, frente a diversos materiales adsorbibles presentes en medio acuoso, tiene gran interés científico y tecnológico. Los MC activados son un sólidos porosos, relativamente estable, con alta área superficial, estos materiales son renovables (Valencia & Castellar, 2013).

En la Figura 6 observamos una columna empacada con un MC adsorbente **A** en contacto con una solución que contiene un soluto adsorbible **S** de concentración . Inicialmente el adsorbente remueve rápidamente el todo el soluto, así que el fluido que sale de la columna está prácticamente

libre del material adsorbible. Como el volumen de líquido que atraviesa la columna aumenta, la zona de transferencia de masa comienza a desplazarse y la concentración del adsorbible a la salida aumenta con el tiempo. Se denomina punto de ruptura al valor máximo en la concentración del adsorbible que se puede permitir a la salida de la columna, y al tiempo empleado para alcanzar esta concentración específica se le llama tiempo de ruptura para cada una de las condiciones de operación de la columna (Ortega, Arrieta, Guerrero, & Taboada, 2013). La curva que resulta de graficar la relación  $C_e/C_o$  en función del tiempo se conoce como curva de ruptura.



*Figura 6 Curva de carga*

Figura 6. Curva de ruptura típica o de carga del carbón activado mostrando el movimiento de la zona de transferencia de masa. Tomado de (Gutierrez, 2011)

*Capítulo 2:  
Justificación,  
Hipótesis y Objetivos*

## Justificación

Los recursos hídricos en México, al igual que en el resto del mundo, se encuentran bajo una creciente presión. El crecimiento demográfico, la urbanización y el aumento en el consumo de agua en los hogares, la agricultura y la industria, han aumentado significativamente el uso global del agua. Este desarrollo conduce a la escasez y perjudica la visión del futuro, lo cual, hace imprescindible el desarrollo y empleo de sistemas de purificación de agua a bajo costo y fácil manejo.

El proceso de adsorción es uno de los métodos más eficientes en la remoción de colorantes de origen orgánico, antibióticos, metales pesados, entre otros contaminantes presentes en los efluentes industriales; tradicionalmente se ha empleado carbón activado debido a su alta capacidad de adsorción y versatilidad; sin embargo, su elevado costo limita su aplicación, por lo cual en el presente trabajo se emplean lodos residuales de una empresa de reciclaje de agua para ser tratados, reducir la contaminación ocasionada por los mismos y ser reutilizados en beneficio del ambiente, este proceso es de bajo costo y viable para la remoción de colorantes y antibióticos como se presenta en el presente trabajo.

## Hipótesis

El efecto de los activadores sobre los materiales carbonosos proporcionará diferentes propiedades estructurales, morfológicas y texturales que favorecerán la adsorción de Cefuroxima y colorante rojo granada® en sistemas binarios.

## Objetivos

### Objetivo General

- Determinar el efecto de los activadores sobre las propiedades de adsorción binaria de Cefuroxima y colorante rojo granada® en materiales carbonoso

### Objetivos Específicos

- Obtener dos diferentes materiales carbonosos a través de la pirolisis a 600 y 700°C.
- Caracterizar morfológica y texturalmente los materiales obtenidos por pirolisis.
- Obtener diferentes materiales carbonáceos
- Realizar curvas estándar por UV/Vis que permitan el estudio de las muestras.
- Determinar la adsorción de Cefuroxima en solución.
- Determinar la adsorción de colorante rojo en la solución.
- Determinar la adsorción de Cefuroxima y colorante rojo en solución binaria.
- Evaluar los resultados obtenidos para comprobar la veracidad de la hipótesis, establecer conclusiones.

# *Capítulo 3: Parte Experimental*

### 3.1 Desarrollo Experimental

El presente proyecto se desarrolló en 4 etapas. La primera consistió en la Obtención y caracterización de los lodos residuales. En la segunda etapa se realizó la preparación del material carbonoso, la cual fue dividida en tres fases, la primera la pirólisis, donde se varió la temperatura y el tiempo de permanencia; la segunda fase constó de la activación física y química del material carbonoso, en la tercera fase se llevó a cabo el lavado y secado del material. En la etapa tres se realizó una segunda caracterización, esta vez a los materiales carbonosos obtenidos provenientes de la pirolisis y activación. En la cuarta etapa se evaluó la capacidad de adsorción del material carbonoso frente a los antibióticos con respecto al colorante rojo granada y la Cefuroxima.

En la Tabla 6 se muestra la metodología que se siguió para la determinación del efecto del colorante rojo y la Cefuroxima en solución acuosa, empleando material carbonoso activado por pirolisis de lodos residuales industriales.

Tabla 6 Esquema del Desarrollo Experimental

<b>Etapa I</b>  <b>Caracterización de Lodos</b>	Muestreo del lodo residual Caracterización del lodo residual pH (Bandosz & Block, 2006) Humedad (APHA/AWWA/WEF, 2012) Materia orgánica presente (APHA/AWWA/WEF, 2012)	
<b>Etapa II</b> <b>Obtención de los materiales carbonosos</b>	Fase 1	Pirólisis de lodos industriales
	Fase 2	Activación Física del material carbonoso Activación química del material carbonoso
	Fase 3	Lavado y secado del material carbonoso

<b>Etapa III</b> <b>Caracterización de los materiales carbonosos</b>	Caracterización de los metales carbonosos Textural Morfológica
<b>Etapa IV</b> <b>Evaluación de la capacidad de adsorción de Cefuroxima y colorante rojo en los materiales carbonosos</b>	Evaluación de la capacidad de adsorción: Preparación de soluciones Elaboración de curvas de calibración Cinética de adsorción Isotherma de adsorción Curva de Carga Elección del mejor material carbonoso para la remoción de Cefuroxima y colorante rojo.

### 3.2 Etapa I: Obtención y caracterización de los lodos residuales industriales

#### 3.2.1 Obtención y muestreo del lodo residual

El lodo residual empleado fue obtenido del sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa mexicana ubicada en Parque Industrial Lerma. Lerma de Villada, Estado de México.

El lodo empleado es una muestra húmeda aleatoria de 100 g, (de 20 kg de muestra original) proveniente del tratamiento secundario de la planta de aguas residuales, el cual se colocó en un recipiente de plástico para su transportación.

#### 3.2.2 Determinación del pH de la muestra de lodo residual

En un contenedor se colocaron 10 g del lodo y se adicionan 50 mL de agua destilada (se debe buscar que la proporción sea 1:5) (Yuan et al., 2015), se deja en agitación por 24 horas para que la solución llegue al equilibrio y después se mide el pH.

### 3.2.3 Determinación de la humedad de la muestra de lodo residual

La determinación de humedad se realizó por la determinación de la pérdida de masa que sufre el lodo al someterlo a una combinación tiempo – temperatura adecuada (100°C), de la siguiente manera.

---

### 3.2.4 Determinación de la materia orgánica presente

Para la determinación de la materia orgánica presente en los lodos residuales, primeramente, se debe de detectar la presencia de carbonatos, ya que estos son un componente que, en algunos lodos, pueden disminuir los rendimientos del conteo de la materia orgánica, al limitar la respuesta de la materia orgánica presente. Para determinar la existencia de carbonatos en el lodo, se debe pesar 1 g de la muestra seca en un crisol, agregar gota a gota HCl 0.05 M hasta observar el cese del burbujeo. De contener carbonatos se repite el proceso

Colocar en la mufla el lodo seco y lentamente subir la temperatura a 550°C. Mantener la temperatura durante 6 h y luego lentamente disminuirla a menos de 200 °C, posteriormente se coloca en el desecador y dejar enfriar hasta temperatura ambiente, se pesa y registra la masa.

Cálculos

---

Donde:

a= Peso de la capsula + el residuo

b= peso de la capsula

Pm=Peso de la muestra

## Etapa II: Obtención de los materiales carbonosos

### 3.3.1 Fase 1: Pirólisis

Para fines del presente proyecto, las pirólisis de los lodos se llevaron a cabo a diferentes temperaturas (600 y 700 °C) en un Horno de Tubo con tiempos de una hora para la determinación de las mejores condiciones en la creación del material carbonoso adsorbente.

Tabla 7 Características para la Pirólisis de lodos

Prueba	Peso de muestra	de la	Tiempo de habilitación	de Temperatura
1	100 g		1 hr	700
2	100 g		1 hr	600

### Fase 2: Activación

#### Activación Física del material carbonoso

Una vez realizada la carbonización por la pirólisis del proceso anterior, se activa con gas N<sub>2</sub> a la temperatura de carbonización para cada experimento por 1 hr.

#### Activación Química del material carbonoso

Para la activación química, se realizaron 10 pruebas de manera aleatoria, donde se consideraron 2 diferentes agentes activadores para su comparación, un activador ácido y otro básico, por lo cual sus propiedades de adsorción serán diferentes, para este estudio se empleó KOH y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, esto para evaluar la propiedad adsorbente del uso de

activadores ácidos contra activadores básicos, la concentración de las mezclas fueron de 1 y 1.25 M respectivamente, el tiempo de impregnación para todos los materiales carbonosos fue de 24 horas, con impregnación de 0%, 25% y 85%.

En la tabla 8, se presenta el diseño de experimentos factorial completo general aleatorizado de tres factores con diferentes niveles y 2 réplicas, para este proyecto y la manera en la que se llevó a cabo la preparación de los materiales carbonosos activados.

*Tabla 8 Diseño de Experimentos*

Sigla	Descripción	Valor	Nivel
F1-A	Temperatura (°C)	600	1
		700	-1
F2-B	Activador	H3PO4 (1.25M)	1
		KOH (1M)	-1
F3-C	Impregnación (%)	0	0
		25	1
		85	-1

### 3.3.3 Fase 3: Lavado y secado del material carbonoso

El material fue lavado con 20 mL de una disolución de HCl al 5 % en agua destilada para remover interferencias que pudiesen estar localizadas dentro del material carbonoso, después se lavó con 20 mL de agua destilada para retirar el HCl sobrante, hasta observar que el material estaba limpio y posteriormente secado a 90 °C por 24 hrs.

## 3.4 Etapa III: Caracterización de los materiales carbonosos

### 3.4.1 Caracterización Textural

Para este proceso se llevó a cabo una Fisorción de Nitrógeno, donde se obtuvieron las isotermas de adsorción de N<sub>2</sub>, a partir de los datos

generados en el equipo, se determinó el área específica mediante la ecuación de Langmuir en un punto simple y multipuntos. El tamaño y la forma de los poros se evaluó, usando la clasificación de isothermas de adsorción y formas de histéresis de la IUPAC.

### **3.4.2 Caracterización Morfológica**

Para conocer la estructura morfológica del material carbonoso se empleó el equipo de Microscopía Electrónica de Transmisión (MET), este estudio permite observar una imagen de gran resolución de la topografía superficial de la muestra carbonácea seca.

## **3.5 Etapa IV: Evaluación de la capacidad de adsorción de Cefuroxima y colorante rojo en los materiales carbonosos**

### **3.5.1 Preparación de soluciones**

Se pesaron 100 mg de colorante rojo, aforándose a 1 L con agua destilada y se colocó en un recipiente protegido de la luz.

Se preparó una disolución de 100 mg/L como disolución madre de Cefuroxima para la preparación de las curvas de calibración.

### **3.5.2 Elaboración de curvas de calibración**

El primer paso para hacer las lecturas correspondientes de las soluciones de Cefuroxima y colorante rojo, fue determinar la máxima absorbancia a la cual se detectan los picos más altos (por medio de un barrido).

Se prepararon dos series de diluciones de 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16 y 20 mg/L de colorante rojo y Cefuroxima, partiendo de la disolución madre. Se determinan las absorbancias por espectrometría de UV/Vis y se grafican

contra las concentraciones respectivas; se obtiene una gráfica de absorbancia contra concentración.

Para la curva de calibración de la mezcla se realizó la mezcla 1:1 de Cefuroxima y colorante rojo conteniendo las siguientes concentraciones 0, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 y 10 mg/L, partiendo de las soluciones patrón (100 mg/L). Se hicieron las determinaciones pertinentes para cada sustancia (Cefuroxima - colorante rojo) y se graficaron las concentraciones contra las absorbancias.

### 3.5.3 Cinética de adsorción

Para este paso se pesan 10 mg de material carbonoso en 10 tubos, se colocan en contacto con 10 mL de una disolución de 10 mg/L para la solución de colorante rojo, Cefuroxima y la mezcla binaria en proporción 1:1, y se colocan en un rotor mecánico que funciona a 50 rpm a 25°C, a los tiempos de 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 minutos aproximadamente, sacar del rotor, se decantan para separar el sólido de la fase líquida, se leyó en el espectrofotómetro UV/Vis, la absorbancia para cada muestra y se determinó la concentración absorbida por el material, determinando la cinética por los siguientes modelos:

Primer orden (Lagergren)

$$q_t = q_e(1 - e^{-K_L t})$$

Segundo orden (Elovich)

$$q_t = \frac{1}{b}(1 - abt)$$

Pseudo segundo orden (Ho y Mackay)

$$\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t)^2$$

### 3.5.4 Isotherma de adsorción

Se prepararon disoluciones de Cefuroxima, Colorante rojo y la mezcla Clindamicina-colorante (1:1) a diferentes concentraciones; 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16 y 20 mg/L, para cada compuesto respectivamente, las cuales se pusieron en contacto con 10 mg de material adsorbente durante un tiempo específico, este tiempo es determinado por el tiempo de equilibrio de los modelos cinéticos de sorción. Al término de este tiempo, se separaron las fases por medio de filtración al vacío y posteriormente se iniciaron las mediciones de la fase líquida por espectrofotometría de UV-Vis.

Con las concentraciones iniciales y finales que se obtuvieron de las pruebas experimentales se construyeron las isothermas de adsorción, para determinar la capacidad de adsorción de cada material y establecer una comparación entre ellos. Los resultados se ajustaron a los modelos de Freundlich y Lagergren para isothermas

Las ecuaciones de los modelos antes mencionados son mostradas en la tabla 9:

Tabla 9 Modelos linearizados de isothermas (Colin Cruz, 2007)

Modelo	Ecuación
Freundlich	$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$
Brunauer-Emmett-Teller (BET)	$\frac{C_e}{q_e(C_0 - C_e)} = \frac{1}{Q^0 K} + \frac{K - 1}{Q^0 K} \frac{C_e}{C_0}$
Lagergren	— — — — —

### 3.5.5. Curva de carga

La curva de Carga se realizó en una columna de 1cm de diámetro con una altura de 5 cm, en la punta de la columna se colocó una pequeña cantidad de fibra de vidrio para impedir la salida del MC, en la cual se colocaron aproximadamente 1.5 g de material carbonoso activado y se le hizo pasar una solución de 20 mg/L de colorante rojo, Cefuroxima y de la solución binaria respectivamente a un flujo de 1 mL/min y se leyó en el espectrómetro de UV/Vis cada 3 mL de solución hasta la saturación total de la columna

# *Capítulo 4: Resultados*

## **4.1. Caracterización de lodos**

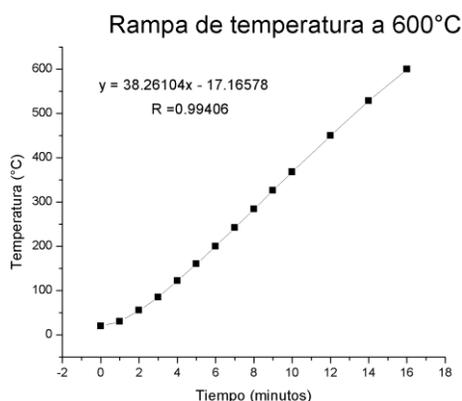
En relación a la caracterización de la muestra de lodo residual, se presentan en la tabla 10 los resultados del pH, humedad, conductividad y

materia orgánica, donde el pH de 7.6 de la muestra una tendencia ácida al acidificar el agua destilada de pH inicial de 8.7, con un contenido de humedad del 8.7411 %. y la presencia de conductividad que muestra el contenido de iones metálicos tales como hierro, sodio, magnesio y la presencia de materia orgánica que es necesaria para la producción de material carbonoso mediante la pirolisis de lodos residuales.

*Tabla 10 Parámetros de caracterización*

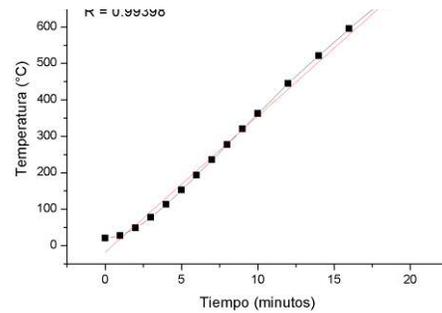
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>pH</i>	6.3	
<i>Humedad</i>	87	%
<i>Conductividad</i>	34	μsiems/cm
<i>Materia orgánica</i>	45	%

Para realizar la pirólisis se obtuvieron dos rampas de temperatura las cuales se muestran a continuación para la pirólisis a 600 y 700°C respectivamente. En el anexo 1 se muestran los datos para la elaboración de las rampas de temperatura.



*Gráfico 1 Rampa de temperatura a 600°C*

*Gráfico 2 Rampa de temperatura a 700°C*



En la siguiente tabla se muestra el rendimiento obtenido de la pirólisis de los diversos MC de cada prueba, el rendimiento 1 corresponde a la pirólisis del lodo residual convirtiéndose en MC activado, el rendimiento 2 pertenece al MC

obtenido con tamaño de partícula de 20 – 40 mesh, mientras que el rendimiento 3 corresponde al MC después de los lavados con ácido y agua destilada.

*Tabla 11 Rendimiento obtenido de la pirólisis de los diversos MC de cada prueba*

F1: Temperatura	F2: Activador	F3: Impregnación	Rendimiento 1	Rendimiento 2	Rendimiento 3	MC
600	Sin	0%	35.52%	55.67%	54.67%	1
700	Sin	0%	27.70%	66.81%	57.25%	2
600	H3PO4	25	26.27%	56.51%	65.85%	3
700	H3PO4	25	34.74%	65.25%	63.96%	4
600	KOH	25	36.67%	70.12%	90.77%	5
700	KOH	25	30.43%	64.74%	61.05%	6
600	H3PO4	85	34.82%	62.36%	58.94%	7
700	H3PO4	85	37.92%	59.01%	55.53%	8
600	KOH	85	36.47%	58.75%	56.42%	9
700	KOH	85	38.975%	59.08%	52.68%	10

Se observó que el MC 5 presento mejor rendimiento para la obtención de la materia prima, en esta prueba se tamizo el lodo a un tamaño de partícula de 20-40 mesh antes de la pirolisis, lo cual incremento en gran medida su rendimiento.

Se realizó un estudio para observar el cambio de pH en la solución al adicionar 0.5 mL de HCl y en otro se adiciono  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para observar el cambio de pH con respecto al tiempo, pH inicial del agua 8.3.

*Tabla 12 Cambio de pH para las tres soluciones en condiciones Básicas*

Tiempo (min)	pH Colorante	pH Cefuroxima	pH Colorante - Cefuroxima
0	8.4	8.5	8.6
1	8.6	8.5	8.6
5	8.7	8.5	8.7
11	8.8	8.5	8.7
25	8.7	8.7	8.7
40	8.7	8.6	8.7
50	8.6	8.6	8.7
75	8.7	8.7	8.8
120	8.8	8.6	8.8

No se observó cambio aparente en la adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , no se apreció descomposición del colorante, turbidez, ni reacción de ningún tipo por la acción de un agente básico.

*Tabla 13 Cambio de pH para las tres soluciones en condiciones Acidas*

Tiempo (min)	pH Colorante	pH Cefuroxima	pH Colorante - Cefuroxima
0	8.3	8.0	7.9
1	8.3	7.9	7.9

5	8.2	7.9	7.9
11	8.0	7.8	7.8
25	8.2	7.9	7.9
40	8.0	7.7	7.7
50	8.0	7.8	7.8
75	8.0	7.7	7.9
120	7.9	7.7	7.9

No se observó cambio en absorbancia de la Cefuroxima ni el colorante rojo en sistemas unitarios ni binarios con la adición de un agente ácido (HCl), por lo cual el pH no tiene efecto en la absorbancia en este estudio.

Se midió el pH de cada uno de los MC obtenidos por pirólisis, se muestra en la tabla 14.

*Tabla 14 pH de los materias carbonosos activados*

Experimento	Temperatura (°C)	Activador	Impregnación (%)	pH del MC
1	600	Sin activar	-----	6
2	700	Sin activar	-----	6
3	600	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	25	6
4	700	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	25	6
5	600	KOH	25	9
6	700	KOH	25	9
7	600	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	85	6
8	700	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	85	6
9	600	KOH	85	11
10	700	KOH	85	10

El pH del Material carbonoso obtenido varía según el agente activante y la impregnación con el cual el mismo haya sido activado, lo cual como se observó en el estudio del cambio de pH no afecta a los analitos.

## 4.2 Caracterización Textural

Las isotermas obtenidas por Langmuir nos reportan que el MC 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 9 presentan características de una isoterma del tipo 3 donde la adsorción ocurre principalmente en microporos, donde se presentan comúnmente monocapas y multicapas en partes desiguales dando paso a un material carbonoso con muchos poros.

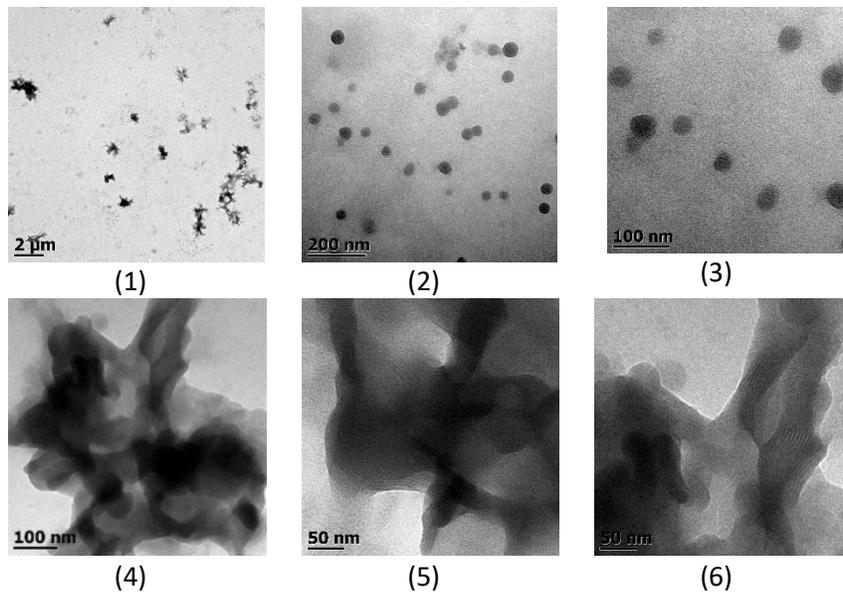
La isoterma obtenida en el material carbonoso 6 nos muestra un gráfico del tipo 5 la cual se caracteriza por ser materiales rugosos los cuales tienen multicapas en sus estructuras.

El MC 7 y 10 presentan una isoterma del tipo 1 donde hay un proceso de quimisorción y se presenta una monocapa.

### 4.3 Caracterización Morfológica

Para la caracterización morfológica se empleó la Microscopia Electrónica de transmisión para el lodo, el MC pirolizado sin activar y para los MC activos.

En las siguientes imágenes observamos imágenes del lodo.



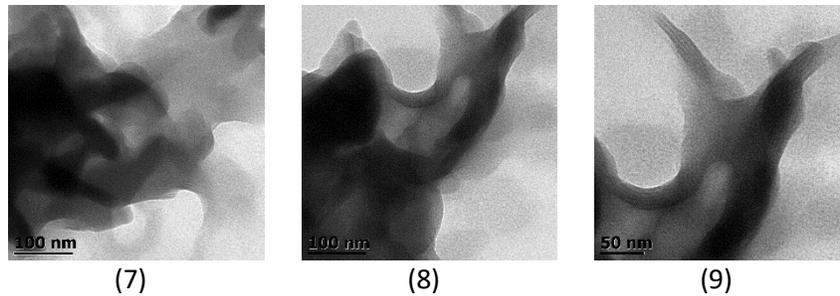


Figura 7 MET del lodo residual

En las imágenes primeras 3 imágenes anteriores observamos que la muestra de lodo presenta forma de escarcha, con el aumento en la escala observamos la formación de estructuras esféricas donde el haz de electrones parece no penetrar en la estructura, en las figuras 4 a 6 observamos que el material es amorfo y que al cambiar de posición a las imágenes 7 a 8 en la muestra, es observable que la muestra no es uniforme en ninguna de sus secciones. El material presenta grandes aglomerados muy probablemente de carbono y partes menos densas en su estructura. La observación de TEM reveló que la muestra tiene pequeñas partículas de tamaño nanométrico.

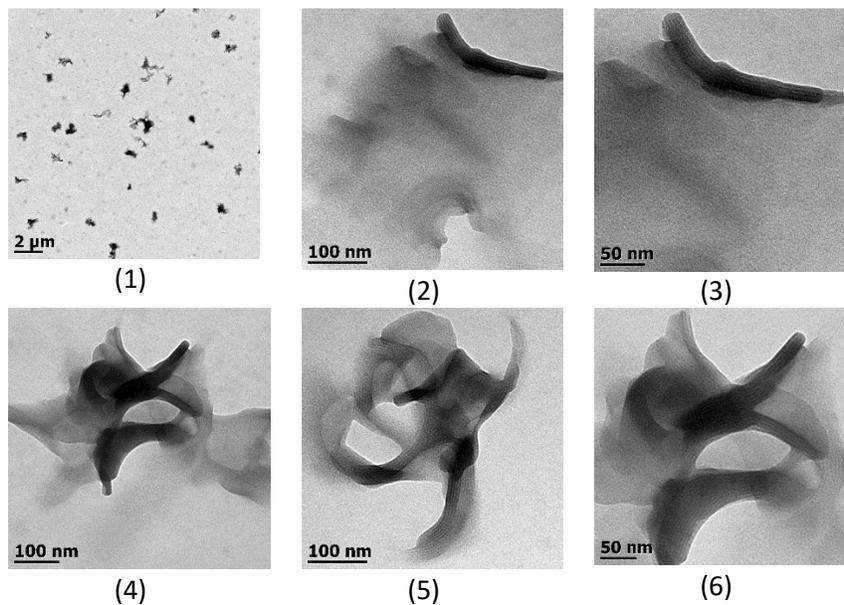


Figura 8 MET del MC sin activar

Las imágenes anteriores corresponden a la MET del MC sin activar, donde en la imagen 1 se observan estructuras alargadas, al aumentar la escala a 100 y 50 nm se observan estructuras alargadas las cuales no permiten el paso del haz de electrones, se observan densidades diferentes en toda la estructura y se presenta una estructura amorfa en todos los sitios de la muestra.

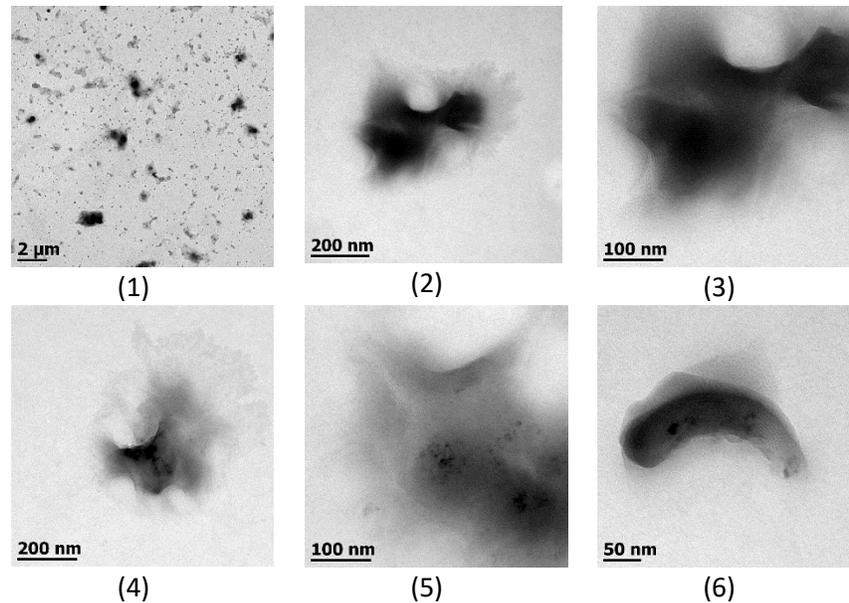


Figura 9 MET del MC pirolizado a 700°C activado con Ácido Fosfórico

Las imágenes presentadas arriba, nos muestran el MC activado con  $H_3PO_4$  A 700°C, aquí podemos observar en la imagen 1 que las estructuras son semiesféricas, en la imagen 2 y 4 observamos que al desplazarnos por la muestra presenta diversos arreglos por lo cual es un material amorfo, en las imágenes con mayor aumento se observa que se guarda una relación con la densidad del material, en todas las estructuras se observa mayor densidad y un tanto más uniforme comparándolas con las imágenes resultantes del lodo y del material carbonoso sin activar.

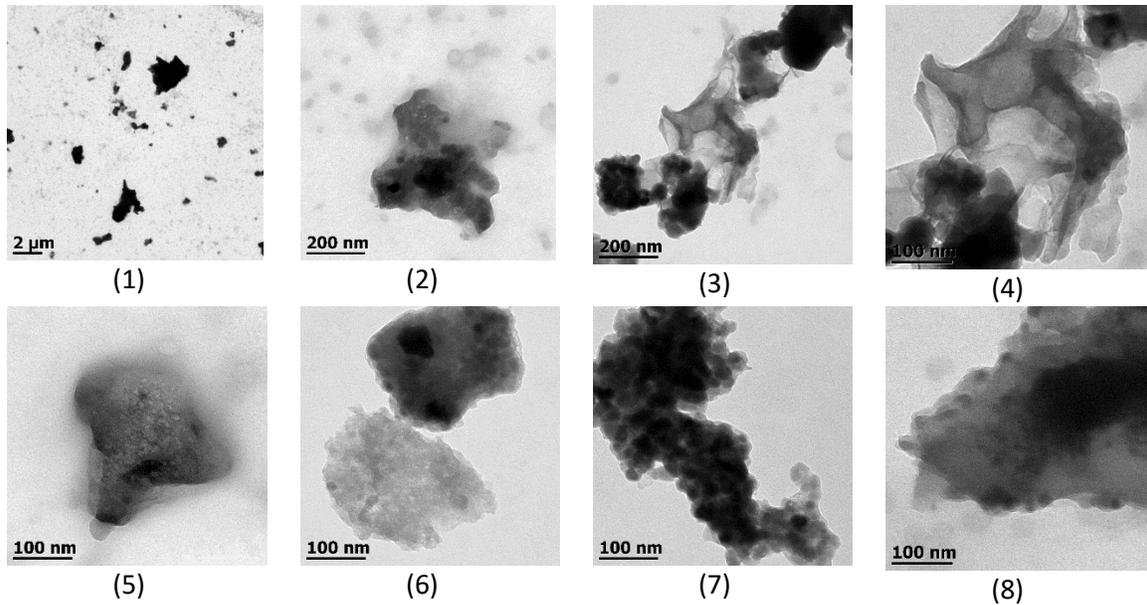


Figura 10 MET del MC pirolizado a 700°C activado con hidróxido de potasio

En las imágenes anteriores se aprecia el MC activado con KOH, aquí podemos ver en la imagen 1 una estructura más esférica que en el material activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, en las imágenes 2 y 3 observamos que el material es amorfo en toda su estructura, con la imagen 3 y 4 observamos que la densidad del MC no es uniforme y presenta aparentemente capas de diversas densidades, con las demás imágenes podemos apreciar que la activación con KOH favorece la formación de estructuras esféricas así como su unión para formar racimos de aglomerados.

La MET del lodo residual muestra mayor densidad en su estructura comparándola contra el MC a sin activar, Comparando el MC activado con ácido fosfórico con el lodo residual y el material sin activar se observa que de algún modo la activación con ácido favorece que haya mayor densidad en sus estructuras, mientras que la activación con hidróxido de potasio favorece la creación de figuras esféricas, así como la aglomeración en racimos del mismo.

Así mismo se realizó una DSC-TGA (Calorimetría de barrido diferencial-Termogravimetría) la cual se observa en las siguientes figuras.

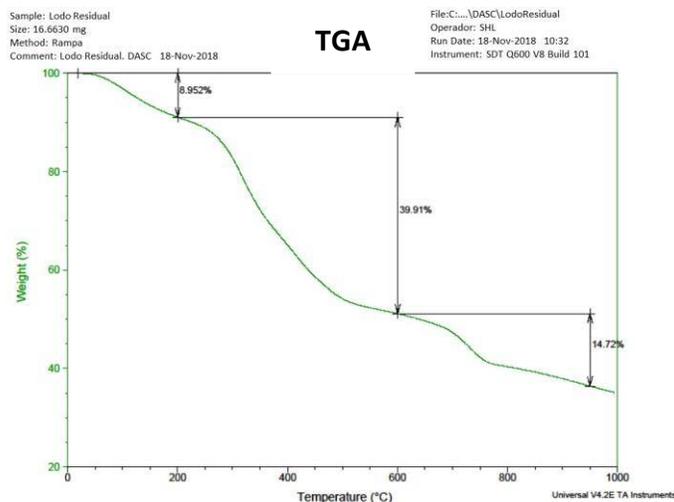


Figura 11 Análisis TGA de la muestra de lodo residual

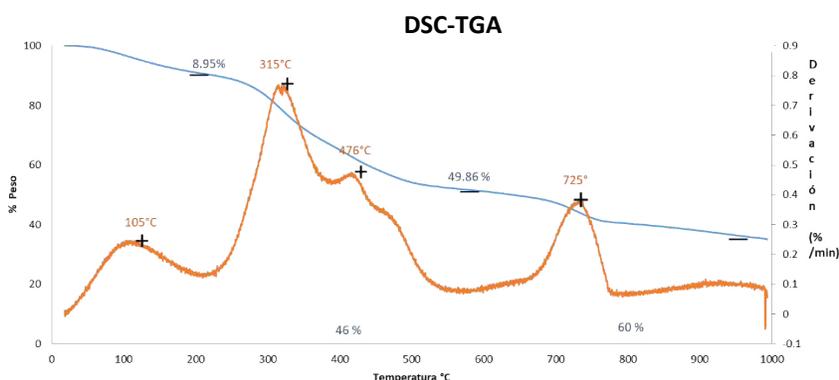
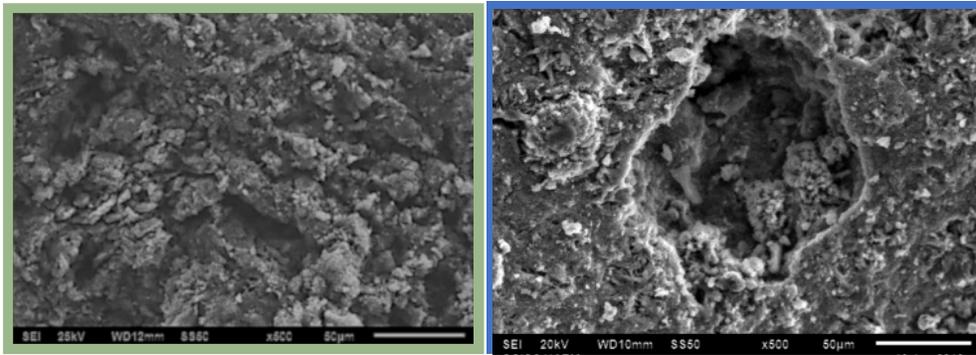


Figura 12 DSC-TGA: Pérdida de peso de la muestra de lodo seco

En la figura 12 observamos la pérdida de peso de la muestra de lodo con el aumento de la temperatura, lo cual coincide con exotermas a 300, 400 y 750°C, lo cual indicaría la liberación de compuestos posiblemente tóxicos al ambiente, lo cual no ocurre a la temperatura de 600°C donde en el intervalo de 550 a 700°C se observa estabilización del material carbonoso.

Así mismo se realizó un estudio de MEB para conocer las características de los materiales al pirolizarse a 600 y 700°C.

En la figura 13 (a) observamos la microscopia de barrido para el material a 600°C donde se observa un material rugoso con grietas que sirven como sitios activos, en la figura (b) se visualiza un macroporo en la estructura.

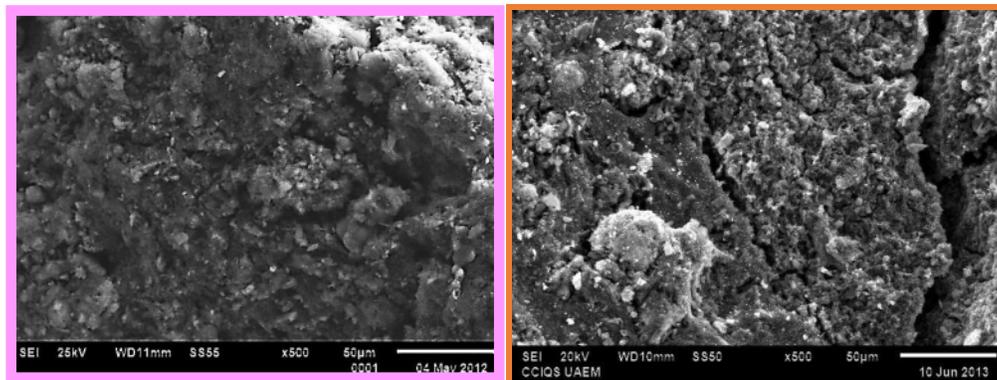


(a)

(b)

Figura 13 MEB del MC pirolizado a 600°C sin activar

En la figura 14 se observa la microscopia electronica de barrido para el MC pirolizado a 700°C sin activar, la estructura denota una superficie rugosa con sitios activos porosos.



(a)

(b)

Figura 14 MEB del MC pirolizado a 700°C sin activar

A continuación, se muestra en la tabla 15 un análisis elemental del lodo sin pirolizar, el análisis del MC pirolizado a 600 y 700°C.

Tabla 15 Análisis Elemental

Elemento	% Peso (Lodo)	% Peso (MC- 600°C)	%Peso (MC-700°C)
C	42.14±10.9	53.41 ±6.04	45.69 ±4.06
O	39.34±9.7	37.41±2.44	30.13 ±1.56
Ca	11.22±7.39	4.57 ±1.79	11.45±3.32
Si	3.37±2.21	3.11 ± 1.02	4.73±0.53

<b>S</b>	1.64±1.40	0.616 ± 0.20	0.99±0.33
<b>P</b>	1.06±1.59	S/D	0.90±0.19
<b>Cu</b>	0.33±0.22	S/D	1.09±0.03
<b>Mg</b>	0.32±0.18	S/D	0.18± 0
<b>Na</b>	0.31±0.06	0.27±0	1.13±0.32
<b>Al</b>	0.17±0.22	0.186 ± 0	0.95±0.27
<b>Fe</b>	0.05±0	0.41±0	0.82±0.39
<b>K</b>	0.04±0	S/D	1.49±0.13
<b>Cl</b>	S/D	S/D	0.46±0.17

La cantidad de carbono dentro del lodo residual es el predominante en la muestra, este material contiene varios óxidos de diversos metales que favorecen a la formación del MC. Al pirolizar a 600°C se muestra un pequeño incremento en la materia carbonosa presente, así como una disminución de los iones presentes en la estructura, cuando este material se piroliza hasta llegar a los 700°C se observa una ligera disminución del material carbonoso, así como un aumento en la generación de los óxidos en la estructura.

#### 4.4 Curva de calibración

En los gráficos 3 y 4 se presenta la curva de calibración del colorante rojo granada®, obtenidos a la absorbancia de 500nm (reportada en la literatura y comprobada experimentalmente), el gráfico resultante de absorbancia contra concentración presenta una tendencia lineal.

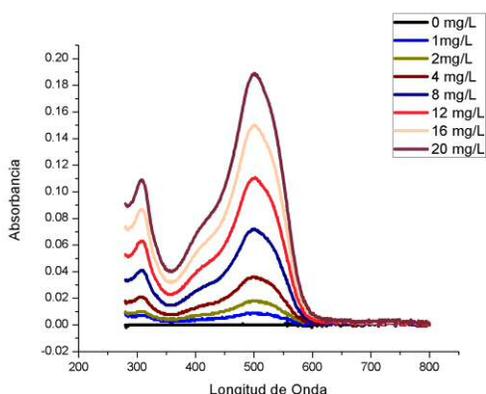


Gráfico 3 Barrido de colorante rojo granada

Se graficaron las concentraciones contra la absorbancia, para obtener la curva estándar (Gráfico 5), que muestra la tendencia de la curva estándar lineal con un coeficiente de correlación de 0.9995.

Tabla 16 Concentración de Colorante rojo granada en solución acuosa por espectrofotómetro UV/Vis, para obtener la curva estándar

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	0
1	0.009
2	0.018
4	0.036
8	0.072
12	0.11
16	0.15
20	0.189

Curva de calibración del colorante rojo granada

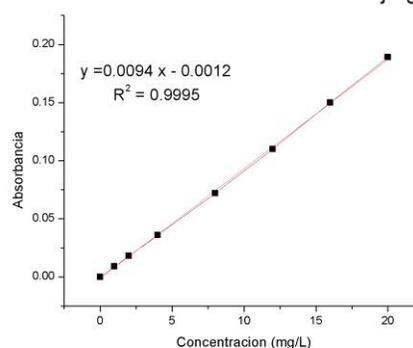


Gráfico 4 Curva de calibración del colorante rojo granada

Para esta curva estándar, se empleó un barrido completo de 220nm a 800 nm para determinar la máxima absorción, la reportada en la literatura es de 500 nm coincidiendo con la observada experimentalmente, el pico pequeño sobresaliente es el fijador del colorante de ropa.

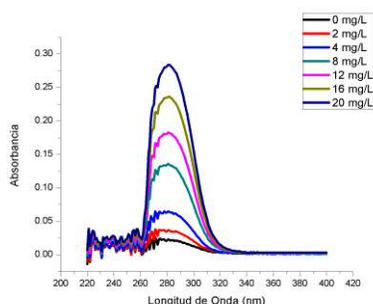


Gráfico 5 Barrido de Cefuroxima por UV/Vis

Resultando en la curva de calibración del gráfico 6 con una tendencia lineal y un coeficiente de correlación del 0.99503.

Tabla 17 Concentración de Cefuroxima en solución acuosa por espectrofotómetro UV/Vis, para obtener la curva estándar

Concentración (mg/L)	Absorbancia (nm)
0	0.023
1	0.038
2	0.037
4	0.065
8	0.136
12	0.183
16	0.236
20	0.284

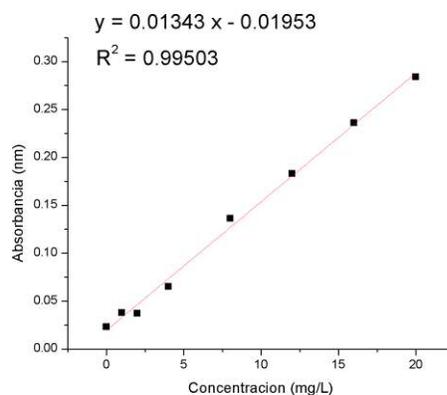
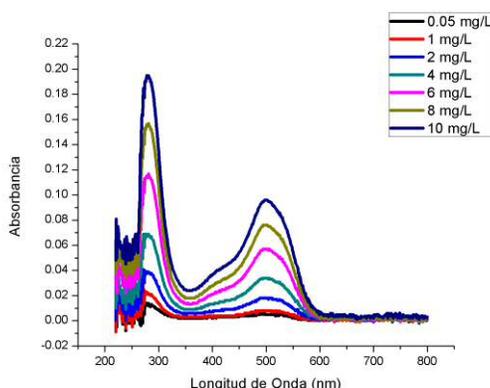


Gráfico 6 Curva de Calibración Estándar para Cefuroxima

Para la curva estándar de la Cefuroxima se empleó un barrido completo de 220 nm a 800 nm para determinar la absorción máxima, el reportado en la literatura es de 271 nm según la farmacopea británica, la absorción observada experimentalmente resulto de 281 nm.

Se realizó un tercer barrido de una mezcla binaria de Colorante rojo granada – Cefuroxima 1:1 y se observó la absorbancia para ambos compuestos, dando el gráfico 8.

Gráfico 7 Barrido de Colorante - Cefuroxima 1:1 en solución acuosa por UV/Vis



Experimentalmente se mostró que ambos compuestos eran observables en solución binaria dando una curva de calibración lineal con un coeficiente de correlación de 0.9966 para el colorante rojo granada y de 0.9981 para la Cefuroxima.

Tabla 18 Concentración de Cefuroxima - Colorante en solución acuosa por espectrofotometría UV/Vis, para obtener la curva estándar

Concentración (mg/L)	Colorante Rojo Granada	Cefuroxima
1	0.014	0.005
2	0.022	0.008
4	0.039	0.018
8	0.069	0.034
12	0.117	0.057
16	0.157	0.076
20	0.195	0.096

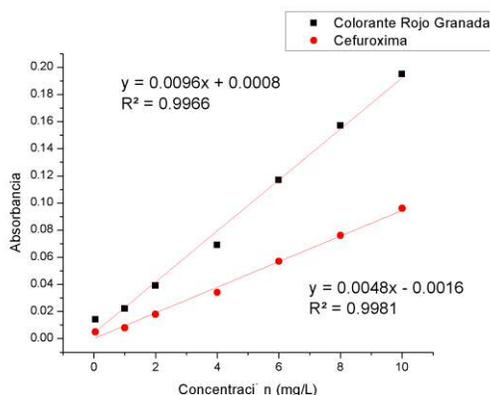


Gráfico 8 Curva de Calibración Estándar para Cefuroxima

Se compararon las curvas de los compuestos por separado y en mezcla, no es observable interferencias en la lectura o movimientos en la absorbancia máxima de la solución binaria, esto se debe las longitudes de onda presentadas en puntos lejanos uno de otro observables con el espectrofotómetro de UV/, no existe reacción química aparente entre la Cefuroxima y el Colorante ni degradación de los mismos con la exposición al haz del equipo.

#### **4.5 Cinéticas de adsorción**

La cinética de la adsorción describe la velocidad a la cual el adsorbato es atrapado dentro del material, lo cual controla el tiempo de residencia de éste en la interface sólido-disolución, además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado.

A continuación, se presentan los gráficos obtenidos para las cinéticas, mientras que los valores correspondientes a las gráficas, se encuentran ubicados en los anexos correspondientes en forma detallada, se mostraran las cinéticas con sus ajustes respectivos a los modelos de Pseudo 1er orden de Lagergren, 2do orden de Elovich y el modelo de Pseudo 2do Orden Ho-Mc kay y Elovich.

En el anexo 2 se muestran los valores obtenidos para la concentración final en cada uno de los tiempos de la cinética #1, esta prueba es el material carbonoso obtenido por la pirolisis a 600°C, durante 1 hora, sin activación alguna, así como sus  $Q_e$  obtenidas por promedio de 2 repeticiones del experimento.

Tabla 19 Cinética del MC #1 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)

Tiempo (min)	Colorante (Qe)	Cefuroxima (Qe)	Binario (Qe)	
			Colorante	Cefuroxima
0	3.63	0.19	6.02	2.76
1.03	3.06	0.22	5.35	2.50
6.75	3.01	0.82	5.03	3.16
13.015	3.38	1.34	5.56	3.07
27.515	3.85	2.20	5.98	3.95
45.04	4.06	3.28	5.87	4.08
70.32	4.37	3.36	6.45	7.79
75.37	2.21	4.07	5.51	6.31
90.28	2.32	3.99	6.46	7.20
120	2.11	4.74	6.47	6.90

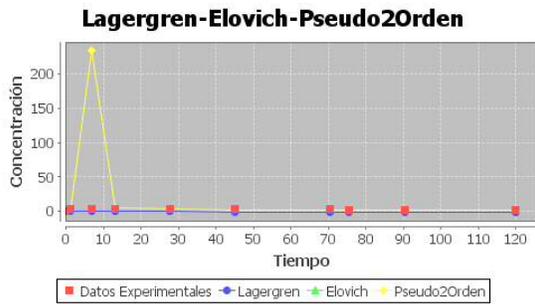


Gráfico 9 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante

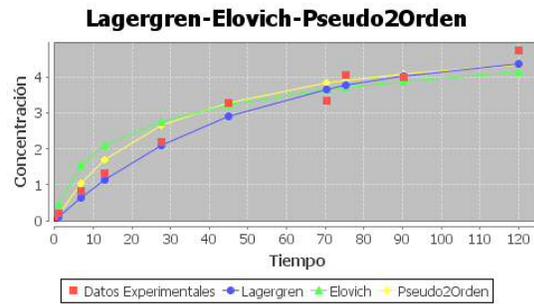


Gráfico 10 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

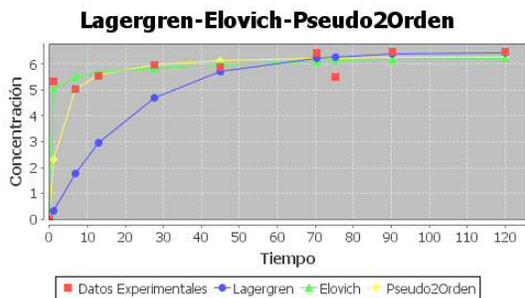


Gráfico 11 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo en una solución binaria 1:1

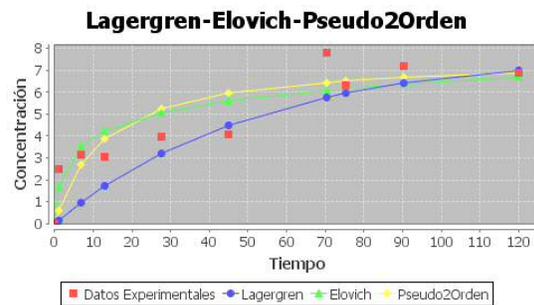


Gráfico 12 Cinética del MC no activado (#1) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución binaria 1:1

En los gráficos anteriores se muestran los 3 modelos ajustados a los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay. En las gráficas 10, 12 y 13 observamos que el modelo que mejor se ajustó en los 3 casos fue el de Ho - Mc Kay, este modelo sugiere la quimisorción o adsorción química debido a una formación de enlaces químicos entre el material adsorbente y el adsorbato en una monocapa en una superficie (Murillo, 2011), mientras que para la Cefuroxima (gráfica 11) ajusto mejor el modelo de Lagergren este modelo asume que la principal fuerza responsable de la adsorción es la diferencia de concentraciones de adsorbato que existe entre la solución y la superficie del adsorbente. El tiempo de equilibrio para la cinética de este material fueron 70 minutos.

En el anexo 3 se muestran los valores obtenidos para la concentración final en cada uno de los tiempos de la cinética #2, esta prueba es el material carbonoso obtenido por la pirolisis a 700°C, durante 1 hora, sin activación, así como sus  $Q_e$  obtenidas.

*Tabla 20 Cinética del MC #2 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs  $Q_e$ )*

tiempo (min)	$Q_e$			
	Colorante	Cefuroxima	Binario	
			Cefuroxima	Colorante
0	10.00	10.00	10.00	10.00
1.38	7.32	5.71	0.50	3.63
5.09	7.53	6.46	1.65	3.83
15.51	7.85	7.80	2.38	4.25
30.54	8.06	10.41	5.19	5.29
50.26	8.17	9.07	5.71	5.50
60.22	8.28	9.74	6.96	6.13
75.03	8.38	9.96	7.38	6.33
90.15	8.49	10.19	6.75	6.33
101.00	8.60	10.41	7.90	6.75
120.34	8.17	10.63	8.31	6.75

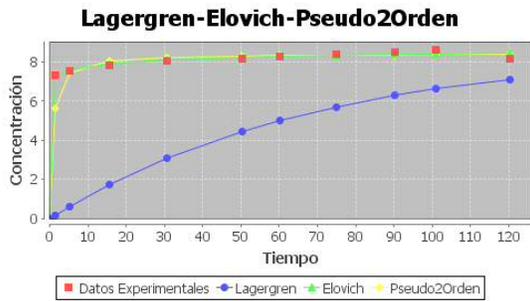


Gráfico 13 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante

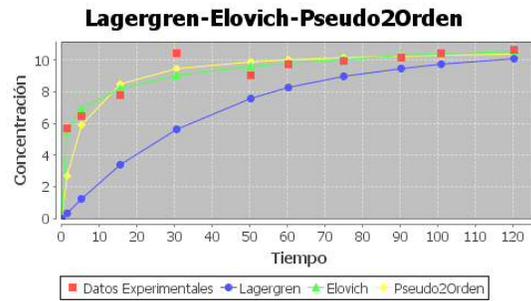


Gráfico 14 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

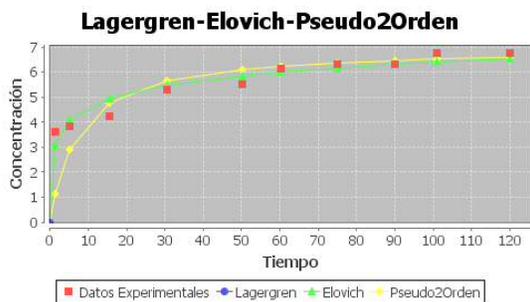


Gráfico 15 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo en una solución binaria 1:1

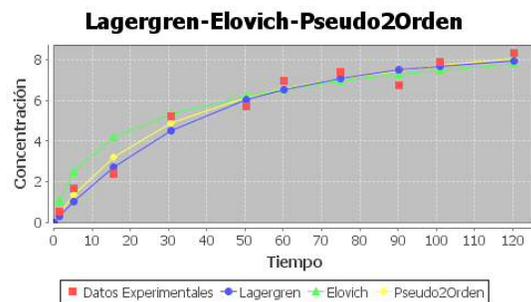


Gráfico 16 Cinética del MC no activado (#2) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución binaria 1:1

Para el material número 2 se observa que los modelos ajustaron mejor para Ho-Mc kay para todos los analitos, lo cual sugiere que este material sin activar es específico para las 2 especies químicas.

En la tabla 20 Podemos observar los datos para la cinética del MC #3, el cual es producto de una pirólisis a 600°C y una activación de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 1.25 M al 25% de impregnación, los resultados de la concentración para cada parámetro se encuentran en el anexo 4.

Tabla 21 Cinética del MC #3 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)

Tiempo (min)	Qe Colorante	Qe Antibiótico	Qe Binario Colorante	Qe Binario Antibiótico
1.01	0.50	-1.43	4.06	-14.01
5.10	1.02	-1.21	4.37	-12.58
15.02	1.44	0.18	4.68	-11.36
30.02	1.65	0.04	5.19	-8.50
51.16	2.90	0.84	5.70	-6.45
60.01	2.38	0.99	5.90	-5.43
75.03	2.90	0.84	6.82	-4.82
90.49	2.90	1.50	6.31	-3.59
100.33	2.90	0.91	6.31	-4.21
121.13	3.11	2.16	6.41	-4.00

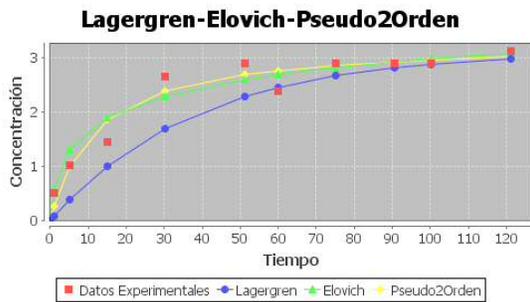


Gráfico 17 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada

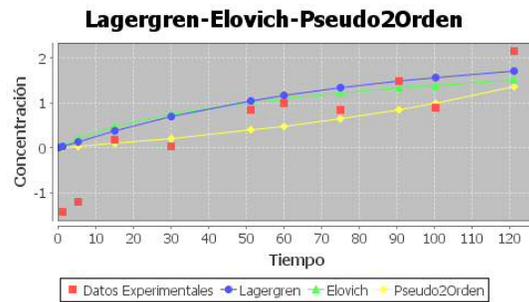


Gráfico 18 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

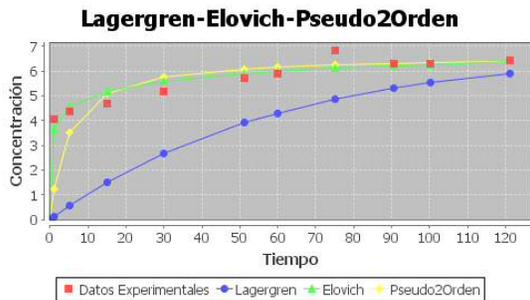


Gráfico 19 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

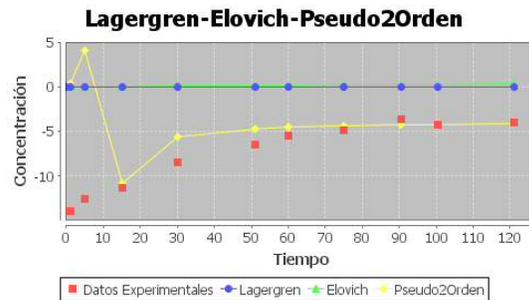


Gráfico 20 Cinética del MC activado (#3) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

Podemos observar que el modelo de Ho-Mc Kay ajusto mejor para el grafico 18, 20 y 21, mientras que el grafico 19 ajusto mejor con el modelo de Elovich el cual supone que los sitios activos en el adsorbente son diferentes (heterogéneos).

En el anexo 5 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #4 pirolizado a 700°C, activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25%. En la siguiente tabla se muestran los datos de Q<sub>e</sub> vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 parámetros de interés.

*Tabla 22 Cinética del MC #4 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Q<sub>e</sub>)*

Tiempo (min)	Q <sub>e</sub> Color	Q <sub>e</sub> Cef	Q <sub>e</sub> Binaria	
			colorante	Cef
1.04	6.47	3.84	3.94	-15.13
5.29	6.47	4.96	4.25	-12.83
15.09	6.57	5.19	4.25	-12.42
31.23	7.00	6.68	4.77	-8.25
50.35	6.57	7.28	4.67	-7.42
60.19	7.00	7.87	4.88	-6.58
75.03	7.21	8.25	5.29	-4.08
90.22	7.32	8.84	5.71	-1.17
100.49	9.45	11.08	5.92	0.08
122.02	7.53	9.81	6.13	0.29

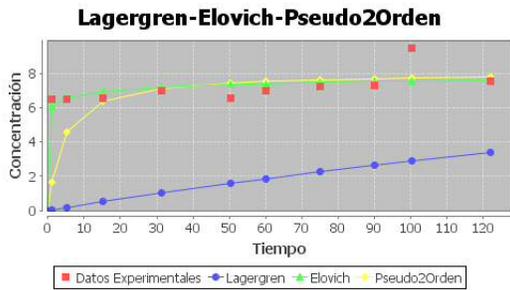


Gráfico 21 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada

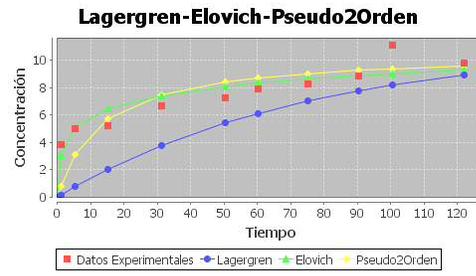


Gráfico 22 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

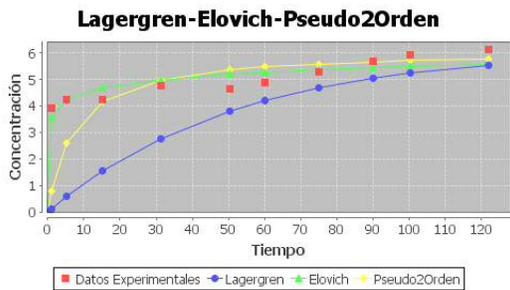


Gráfico 23 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

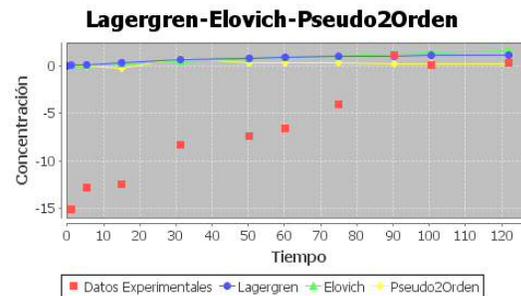


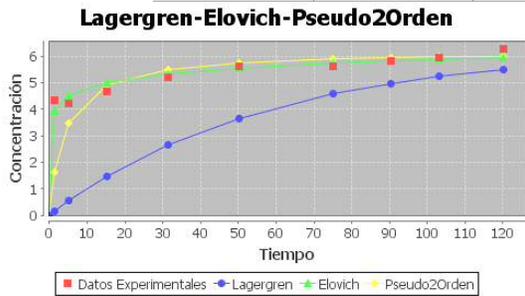
Gráfico 24 Cinética del MC activado (#4) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

Se puede observar en la tabla de ajuste de cinéticas del anexo 5 que el modelo que ajusto mejor para este material es el Ho-Mc Kay para el colorante, mientras que el ajuste de Cefuroxima fue mejor para el de Lagergren, lo cual sugiere que ocurre una quimisorción específica para el colorante, mientras que en la solución binaria podría existir una competencia entre el colorante y la Cefuroxima por los sitios activos del material.

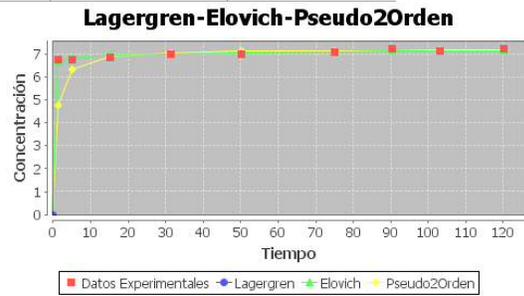
En el anexo 6 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #5 pirolizado a 600°C, activado con KOH al 25%. En la siguiente tabla se muestran los datos de  $Q_e$  vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 para los 4 parámetros de interés.

*Tabla 23 Cinética del MC #5 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)*

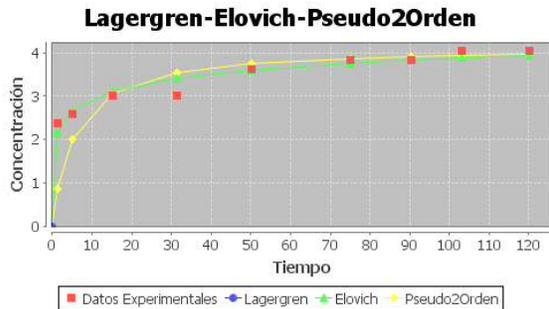
Tiempo (min)	Qe Color	Qe Cef	Qe Binaria	
			colorante	Cef
1.43	4.34	6.76	2.38	5.52
5.17	4.23	6.76	2.58	5.94
15.34	4.66	6.83	3.00	6.25
31.50	5.19	6.98	3.00	6.35
50.28	5.62	6.98	3.63	6.98
75.13	5.62	7.06	3.83	7.40
90.25	5.83	7.21	3.83	7.40
103.19	5.94	7.13	4.04	7.71
120.07	6.26	7.21	4.04	8.75



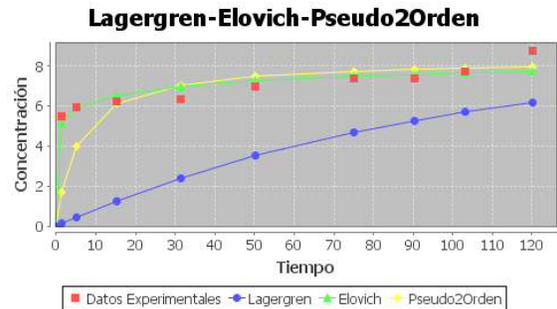
*Gráfico 25 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada*



*Gráfico 26 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima*



*Gráfico 27 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1*



*Gráfico 28 Cinética del MC activado (#5) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1*

El modelo que mejor ajusto para todos los casos fue el de Ho-Mc Kay observado en la correlación obtenida para cada uno de los modelos, el MC 5, lo cual supone una quimisorción para todos los analitos de interés, variación debida a la activación del MC.

En el anexo 7 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #6 pirolizado a 700°C, activado con KOH al 25%. En la siguiente tabla se muestran los datos de Qe vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 para los 4 parámetros de interés.

*Tabla 24 Cinética del MC #6 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)*

<b>tiempo</b>	<b>Qe color</b>	<b>Qe cef</b>	<b>Qe bin cef</b>	<b>Qe bin color</b>
<b>1.14</b>	6.47	2.66	-3.67	4.56
<b>5.11</b>	6.79	3.04	-4.50	4.67
<b>15.17</b>	7.11	3.41	-1.38	5.08
<b>30.09</b>	7.43	3.85	0.71	5.50
<b>50.50</b>	7.74	3.93	3.21	6.33
<b>75.40</b>	8.28	3.93	2.17	6.23
<b>90.13</b>	8.38	4.75	4.46	6.96
<b>100.02</b>	8.28	4.75	3.42	6.65
<b>120.44</b>	8.60	5.27	6.54	7.38

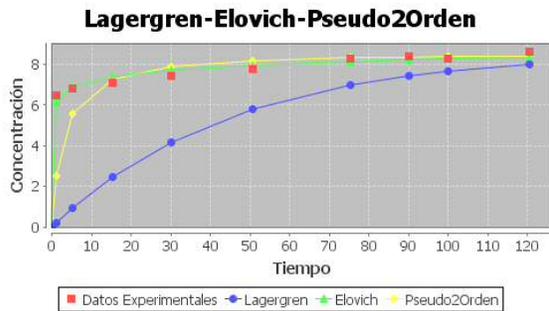


Gráfico 29 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada

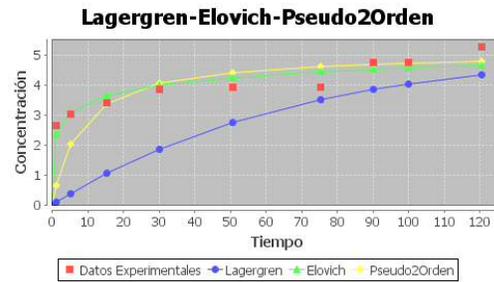


Gráfico 30 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

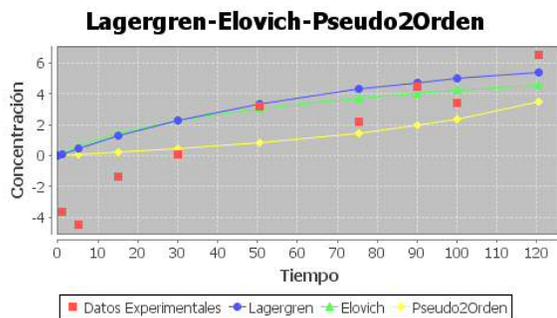


Gráfico 31 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

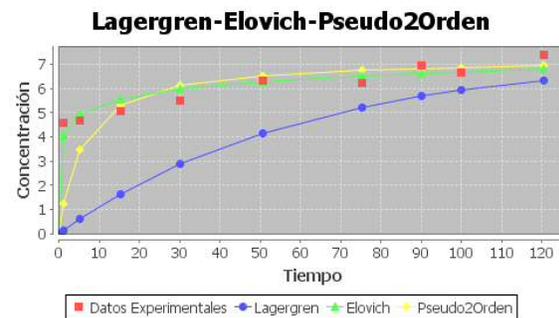


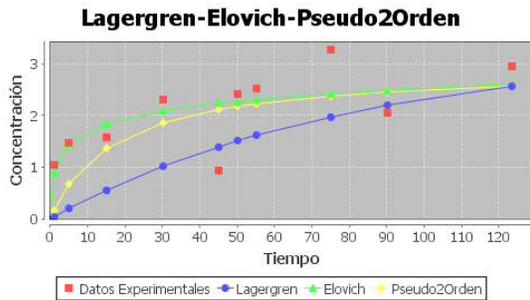
Gráfico 32 Cinética del MC activado (#6) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

Los modelos que mejor se ajustan para el MC 6 fueron el de Ho-Mc Kay para el colorante rojo, Cefuroxima y la solución binaria de Cefuroxima, mientras que el modelo de Elovich ajusto para la solución de colorante rojo en solución binaria.

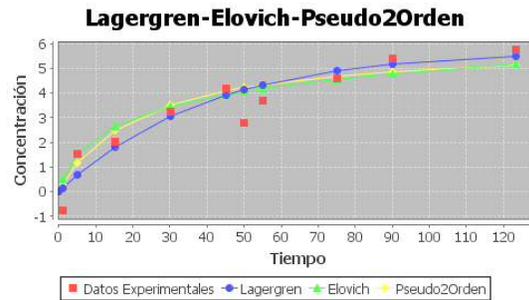
En el anexo 8 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #7 pirolizado a 600°C, activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85%. En la siguiente tabla se muestran los datos de Q<sub>e</sub> vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 parámetros de interés.

*Tabla 25 Cinética del MC #7 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)*

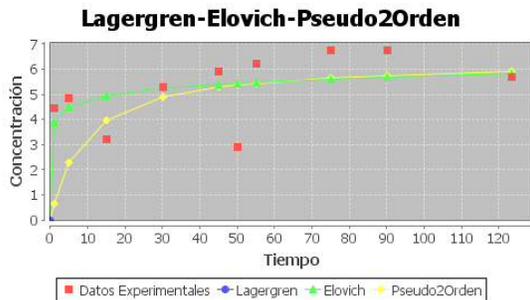
Tiempo (min)	Qe color	Qe cef	Qe sol Binaria	
			Qe color	Qe cef
1.03	1.04	-0.78	4.45	-12.81
5.07	1.47	1.53	4.87	-10.52
15.05	1.57	2.05	3.20	-13.02
30.07	2.31	3.24	5.28	-7.19
45.02	0.93	4.21	5.90	-5.95
50.08	2.42	2.79	2.89	1.54
55.05	2.53	3.69	6.22	-3.66
75.01	3.27	4.58	6.74	-1.58
90.11	3.06	5.40	6.74	-2.20
123.38	2.95	5.77	5.70	4.03



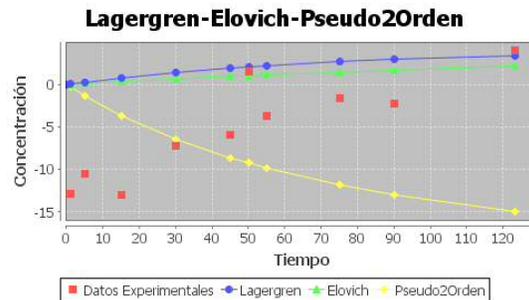
*Gráfico 33 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante*



*Gráfico 34 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima*



*Gráfico 35 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo en una solución binaria 1:1*



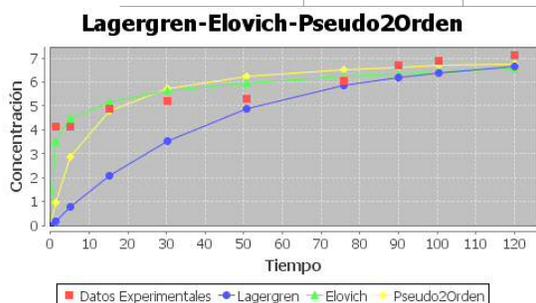
*Gráfico 36 Cinética del MC no activado (#7) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución binaria 1:1*

El modelo de Ho-Mc Kay ajusto mejor para el colorante rojo en sistemas unitarios y binarios, mientras que la Cefuroxima en ambos casos ajusto mejor para el modelo de Elovich.

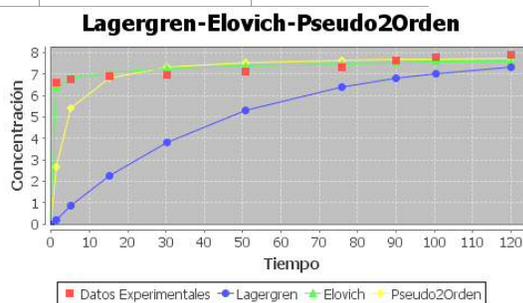
En el anexo 9 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #8 pirolizado a 700°C, activado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85%. En la siguiente tabla se muestran los datos de Q<sub>e</sub> vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 para los 4 parámetros de interés.

*Tabla 26 Cinética del MC #8 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Q<sub>e</sub>)*

Tiempo (min)	Q <sub>e</sub> Color	Q <sub>e</sub> Cef	Q <sub>e</sub> Binaria	
			Cefuroxima	colorante
1.2007	4.13	6.61	2.38	4.98
5.2564	4.13	6.76	2.79	5.19
15.2503	4.87	6.91	3.21	5.50
30.3544	5.19	6.98	3.63	5.81
50.7524	5.30	7.13	4.25	6.65
75.9528	6.04	7.35	4.46	6.65
90.0904	6.68	7.65	4.67	6.65
100.5601	6.89	7.80	4.88	6.75
120.0623	7.11	7.88	5.08	6.96



*Gráfico 37 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada*



*Gráfico 38 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima*

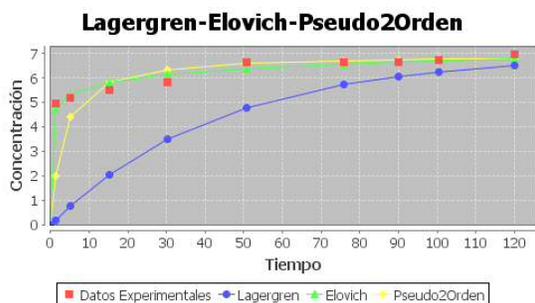


Gráfico 39 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

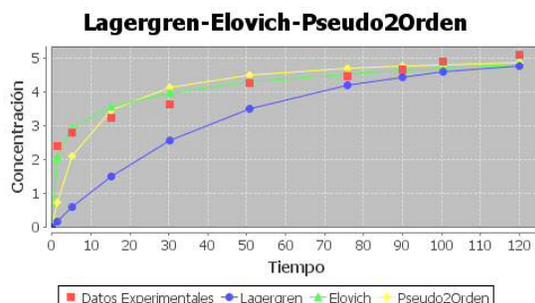


Gráfico 40 Cinética del MC activado (#8) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

En todos los casos se ajustó el modelo de Ho-Mc Kay para el MC 8.

En el anexo 10 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #9 pirolizado a 600°C, activado con KOH al 85%. En la siguiente tabla se muestran los datos de Qe vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 para los 4 parámetros de interés.

Tabla 27 Cinética del MC #9 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)

Tiempo (min)	Qe Color	Qe Cef	Qe Binaria	
			cef	Color
1.1039	5.09	6.16	4.67	5.19
5.2614	5.19	6.24	4.25	4.77
15.0255	5.72	6.46	5.29	5.92
30.218	6.26	6.68	5.50	6.13
50.1381	6.47	6.68	5.92	6.65
76.0839	7.11	6.68	6.13	7.17
90.072	6.89	6.61	6.13	7.27
100.1628	7.11	6.91	6.33	7.38
120.1284	7.00	6.91	6.33	7.06

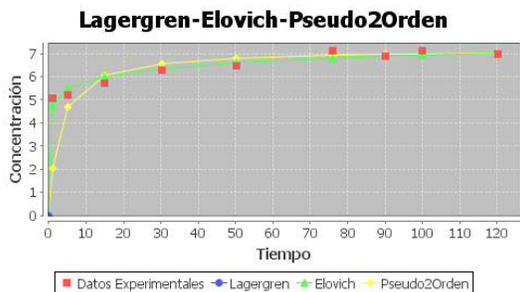


Gráfico 41 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada

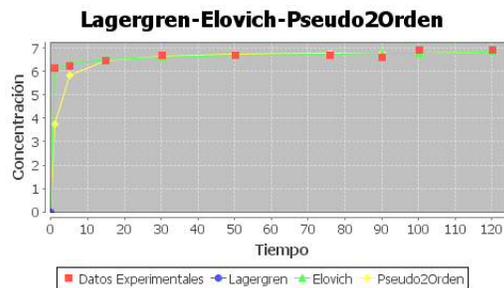


Gráfico 42 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

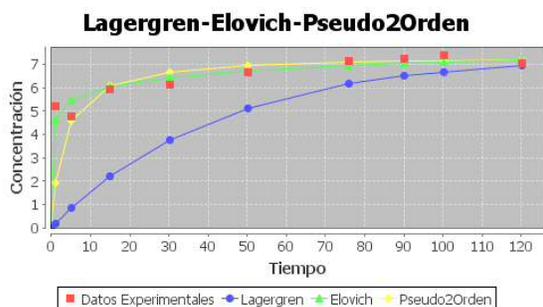


Gráfico 43 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

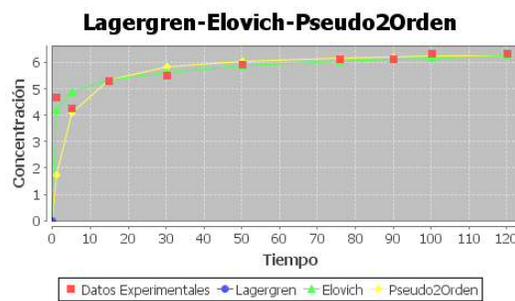


Gráfico 44 Cinética del MC activado (#9) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

El modelo que mejor ajuste para el MC 9 es el de Ho-Mc Kay, lo cual es indicativo de una quimisorción para todos los analitos, el componente mayormente absorbido fue el colorante en sistema unitario y binario.

En el anexo 11 se muestran los resultados de las lecturas para el MC #10 pirolizado a 700°C, activado con KOH al 85%. En la siguiente tabla se muestran los datos de Qe vs Tiempo y se compararon con los 3 modelos para los 4 para los 4 parámetros de interés.

Tabla 28 Cinética del MC #10 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (tiempo vs Qe)

Tiempo (min)	Qe Color	Qe Cef	Qe Binaria	
			cef	colorante
1.3394	7.21	1.77	0.67	3.63

5.4864	7.11	2.07	4.83	3.63
15.0105	7.43	2.81	5.04	3.94
30.0321	7.43	3.04	7.75	4.35
50.0512	7.32	3.63	10.46	4.56
75.0762	7.74	4.60	12.13	4.77
90.0796	7.64	5.05	13.17	5.29
100.1952	7.85	5.12	14.21	5.50
120.0509	7.21	5.12	15.88	5.60

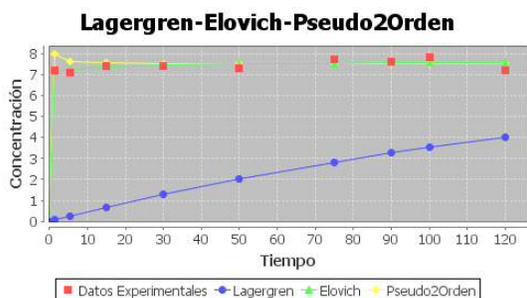


Gráfico 45 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada

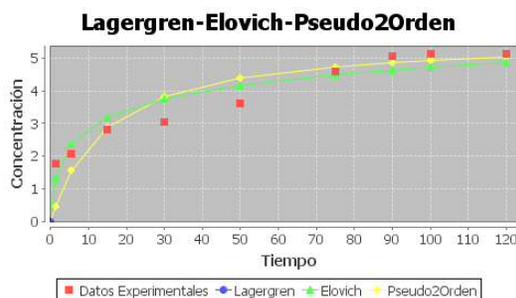


Gráfico 46 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima

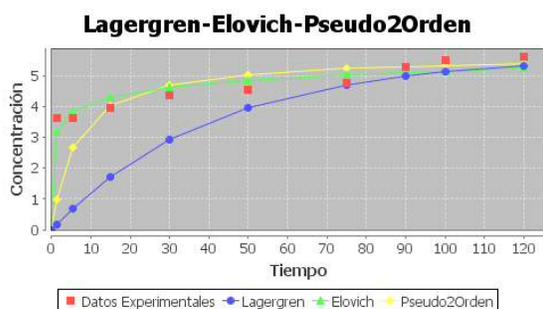


Gráfico 47 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Colorante Rojo Granada en solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

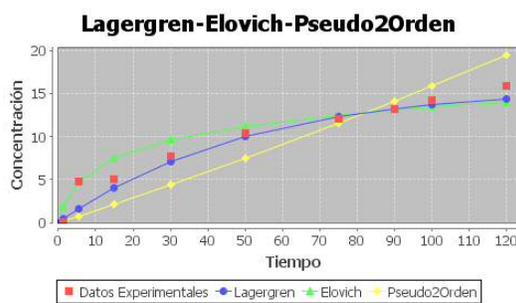


Gráfico 48 Cinética del MC activado (#10) empleando los modelos de Lagergren, Elovich y Ho-Mc Kay para la adsorción de Cefuroxima en una solución acuosa Binaria de Colorante-Cefuroxima 1:1

El modelo de Ho-Mc Kay ajusto mejor para el colorante y Cefuroxima en sistema unitario, así como para la Cefuroxima en solución binaria, mientras que el modelo de Lagergren ajusto mejor para el colorante rojo en el sistema binario.

Los tiempos de equilibrio obtenidos de la cinética se observan en la siguiente tabla.

*Tabla 29 Tiempo de equilibrio para cada material carbonoso*

<b>Prueba</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Prueba</b>	<b>Tiempo</b>
1	70 min	6	70 min
2	70 min	7	80 min
3	60 min	8	70 min
4	60 min	9	50 min
5	60 min	10	70 min

El tiempo de equilibrio para todos los materiales se encuentra en un intervalo cercano de 50 a 70 min.

#### 4.6 Isotermas de adsorción

En esta sección se analizaron las capacidades de adsorción en la remoción de colorante rojo granada y Cefuroxima en sistemas unitarios así como en sistemas binarios. Usualmente, las isotermas de adsorción se llevan a cabo a diferentes concentraciones de adsorbato y una masa fija de adsorbente; en este trabajo, se empleó una masa fija de 10 mg de MC y concentraciones de 1 mg/L a 20 mg/L.

En la siguiente tabla se presentan las cantidades absorbidas de colorante, Cefuroxima en sistema unitario y binario por el material carbonoso 1 utilizando diferentes concentraciones.

*Tabla 30 Isotherma del MC #1 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs Qe)*

concentración (mg/L)	Qe Color	Qe cef	Qe bin cef	Qe bin color
1	0.86	0.44	1.26	0.13
4	3.84	1.65	2.77	2.17
6	5.83	1.63	4.10	3.74
8	7.82	1.47	5.05	4.79
10	9.81	1.90	5.71	5.94
12	11.78	3.46	6.29	7.09
14	13.77	2.69	7.02	7.06
16	15.75	2.31	7.83	9.38
18	17.75	2.29	8.41	11.91
20	19.71	1.90	8.62	11.15

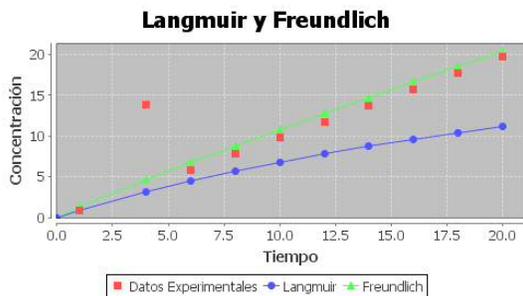


Gráfico 49 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con colorante rojo granada

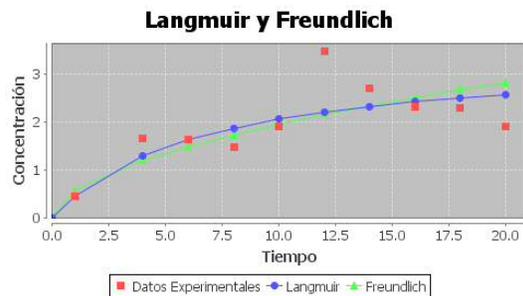


Gráfico 50 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con Cefuroxima

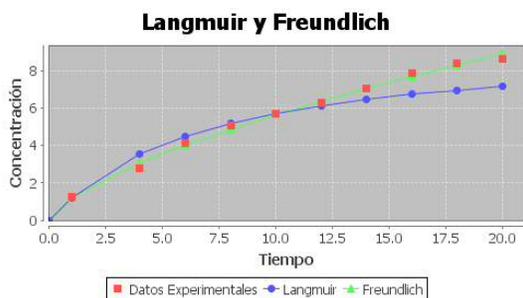


Gráfico 51 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con Solución binaria de Cefuroxima

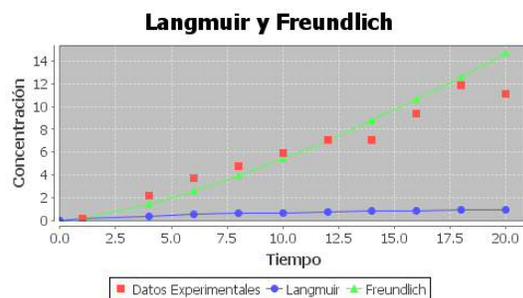


Gráfico 52 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 1 con Solución binaria de Colorante rojo granada

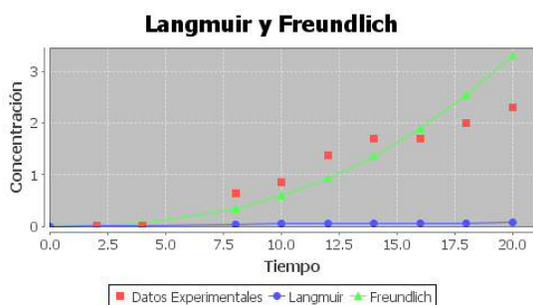
El modelo de Langmuir tuvo un mayor coeficiente de correlación para el colorante y para la Cefuroxima en los dos sistemas de estudio, donde este modelo sugiere una adsorción en monocapa, la cual es característica de una quimisorción, mientras que el modelo de Freundlich ajusto mejor para la adsorción de colorante rojo en solución binaria, la cual se emplea para describir la adsorción de solutos sobre sólidos con multicapas.

A continuación, se presentan los gráficos para las isotermas del material carbonoso 2 para cada uno de los analitos.

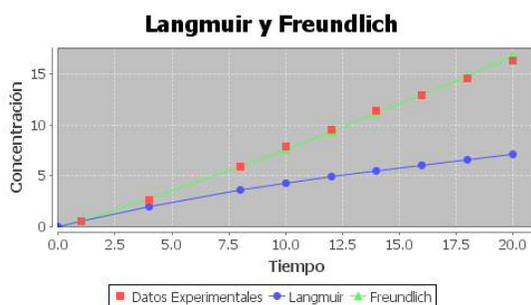
Tabla 31 Cinética del MC #2 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs  $Q_e$ )

co. Inicial	$Q_e$			
	color	cef	bin cef	bin color
2	1.77	0.55	1.67	1.98

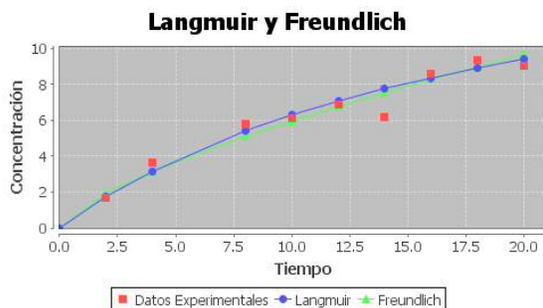
4	3.66	2.55	3.67	3.88
8	7.34	5.95	5.79	7.35
10	9.13	7.88	6.13	9.15
12	10.91	9.50	6.88	10.63
14	12.81	11.35	6.17	12.31
16	14.70	12.98	8.58	14.31
18	16.49	14.54	9.33	16.00
20	18.38	16.31	9.04	17.69



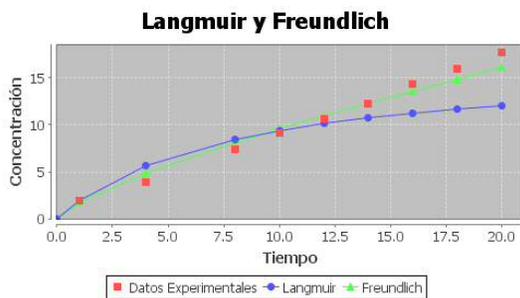
*Gráfico 53 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con colorante rojo granada*



*Gráfico 54 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con Cefuroxima*



*Gráfico 55 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con Solución binaria de Cefuroxima*



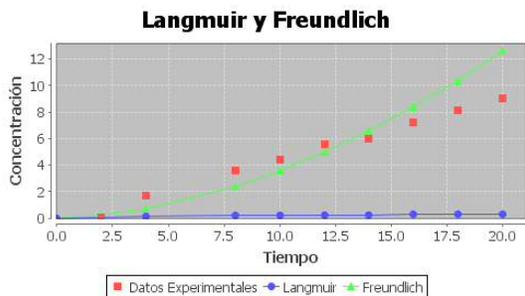
*Gráfico 56 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 2 con Solución binaria de Colorante rojo granada*

El modelo de Freundlich ajusto mejor para el colorante y la Cefuroxima en solución binaria, el colorante en sistema binario ajusto para el modelo de Langmuir donde se observa la formación de una monocapa en el material carbonoso, mientras que la Cefuroxima presento un coeficiente de correlación que ajusto para ambos modelos sugiriendo la presencia de dos capas en el material.

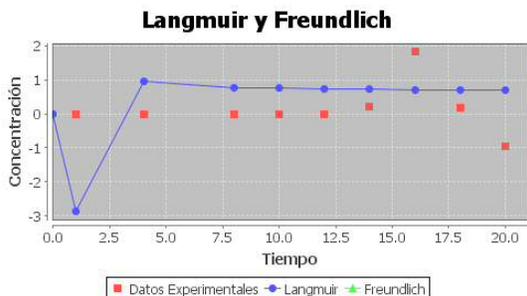
En la siguiente tabla se observan los datos obtenidos para la realización de la isoterma 3.

*Tabla 32 Cinética del MC #3 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs Qe)*

co. Inicial	Qe			
	colorante	Cefuroxima	bin cef	bin color
2	0.81	-5.92	-2.29	0.94
4	1.74	-4.88	-3.63	1.90
8	3.62	-2.97	-1.92	5.27
10	4.45	-1.49	-2.00	6.75
12	5.60	-0.38	-0.83	8.33
14	6.00	0.20	-0.29	10.13
16	7.26	1.83	-0.17	11.60
18	8.09	2.27	0.17	13.08
20	9.02	3.37	-0.96	14.35

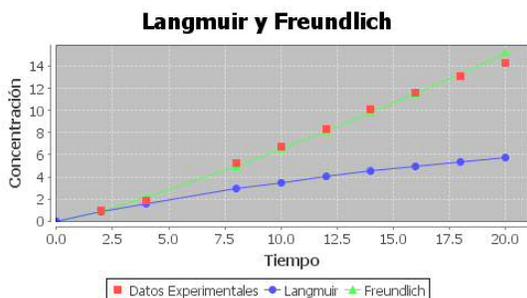


*Gráfico 57 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con colorante rojo granada*



*Gráfico 58 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con Cefuroxima*

NO AJUSTA CON  
NINGUN MODELO



*Gráfico 59 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con Solución binaria de Cefuroxima*

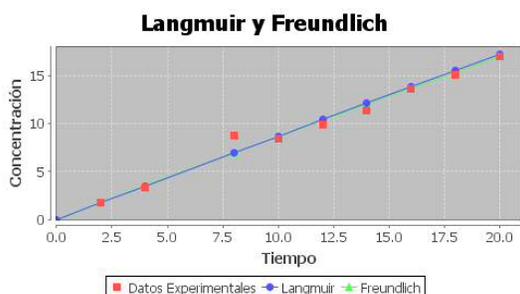
*Gráfico 60 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 3 con Solución binaria de Colorante rojo granada*

El modelo de Langmuir ajusta mejor para todos los analitos de interés, lo cual muestra una absorción en monocapa, mientras que para la solución binaria de Cefuroxima no se ajustó ninguno de los modelos empleados.

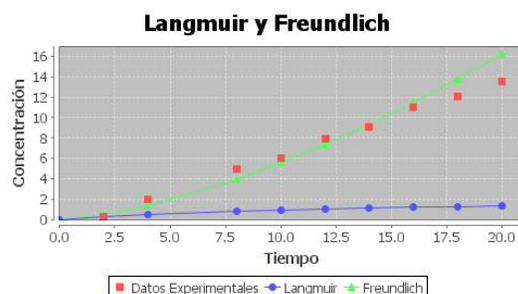
Las isothermas siguientes corresponden al material carbonoso 4, donde se observa la absorción de colorante rojo y Cefuroxima en solución unitaria, así como en solución binaria.

*Tabla 33 Cinética del MC #4 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs Qe)*

Co. Inicial	Qe			
	color	cef	bin cef	bin color
2	1.77	0.32	1.25	1.67
4	3.34	1.95	1.38	3.04
8	6.81	4.91	1.42	5.90
10	8.49	6.01	4.88	8.10
12	9.96	7.94	0.63	8.54
14	11.85	9.12	0.96	10.02
16	13.64	10.97	3.58	12.02
18	15.11	12.08	1.83	12.88
20	17.00	13.56	0.29	14.25



*Gráfico 61 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con colorante rojo granada*



*Gráfico 62 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con Cefuroxima*

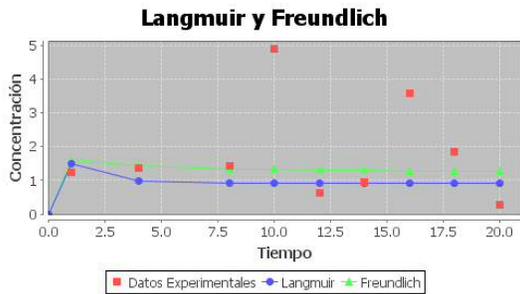


Gráfico 63 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con Solución binaria de Cefuroxima

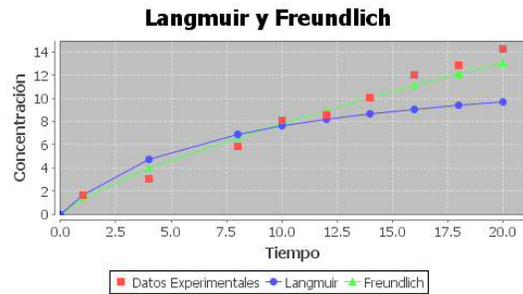


Gráfico 64 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 4 con Solución binaria de Colorante rojo granada

El modelo de Freundlich ajusto para la solución de colorante rojo en solución y solución binaria, mientras que la Cefuroxima de ambos casos ajusto para el modelo de Langmuir.

Las siguientes isotermas describen el comportamiento del material carbonoso 5.

Tabla 34 Cinética del MC #5 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs  $Q_e$ )

Co. Inicial	$Q_e$			
	color	cef	bin cef	bin color
2	0.81	-0.27	1.04	1.56
4	1.74	1.73	2.42	3.15
8	3.62	5.06	5.17	6.21
10	4.45	6.46	6.33	7.58
12	5.60	7.42	7.71	9.06
14	6.21	8.97	8.88	10.54
16	7.04	10.97	10.25	12.23
18	8.30	12.67	11.63	13.60
20	9.23	14.08	12.38	15.08

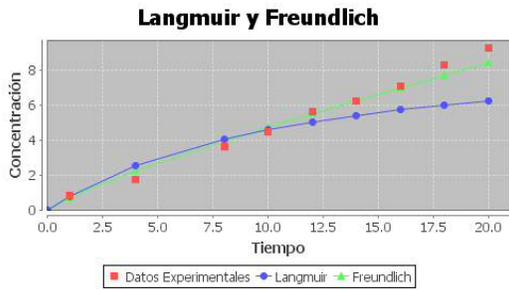


Gráfico 65 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con colorante rojo granada

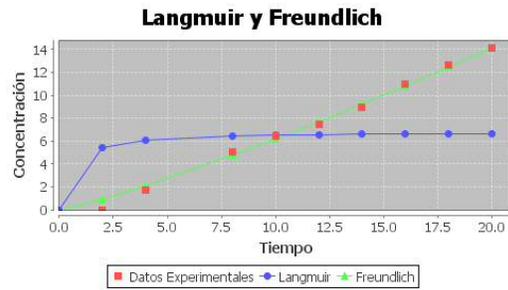


Gráfico 66 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con Cefuroxima

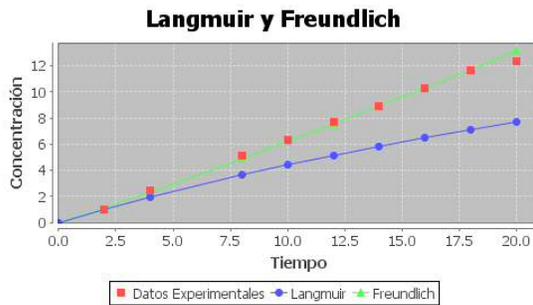


Gráfico 67 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con Solución binaria de Cefuroxima

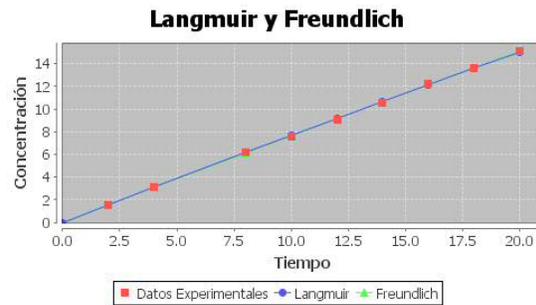


Gráfico 68 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 5 con Solución binaria de Colorante rojo granada

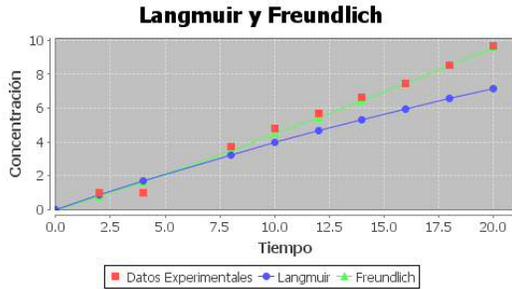
El modelo de Freundlich ajusto para todos los analitos exceptuando al de la solución binaria de colorante donde se ajustó mejor el modelo de Langmuir, el ajuste mayoritario de Freundlich sugiere la presencia de varias capas en el material.

En la tabla 35 se observan los datos obtenidos para las isotermas del material carbonoso 6.

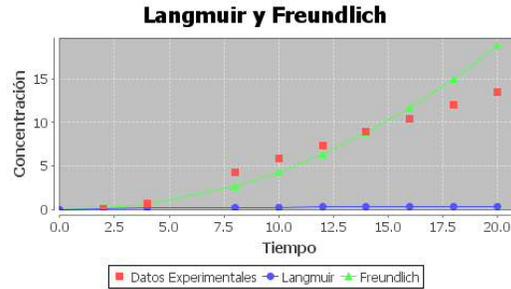
Tabla 35 Cinética del MC #6 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs  $Q_e$ )

co. Inicial	$Q_e$			
	color	cef	bin cef	bin color
2	1.02	0.10	0.98	1.67
3	0.96	0.65	2.04	2.25
8	3.72	4.24	4.28	6.21
10	4.77	5.86	5.23	7.58

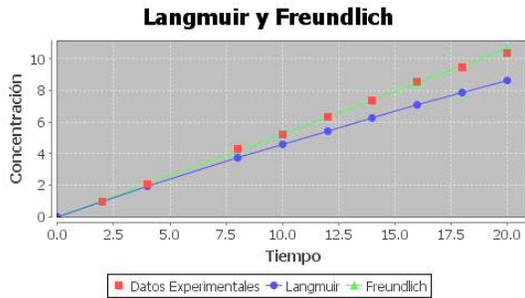
12	5.70	7.34	6.30	9.17
14	6.64	8.90	7.36	10.54
16	7.47	10.45	8.53	11.92
18	8.51	12.00	9.49	13.50
20	9.66	13.48	10.34	15.19



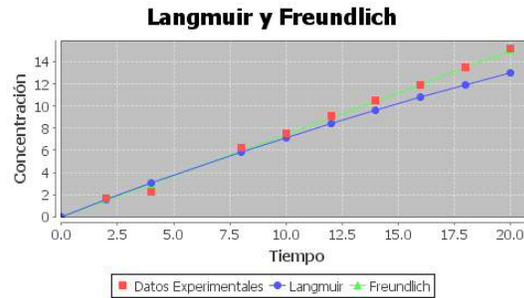
*Gráfico 69 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con colorante rojo granada*



*Gráfico 70 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con Cefuroxima*



*Gráfico 71 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con Solución binaria de Cefuroxima*



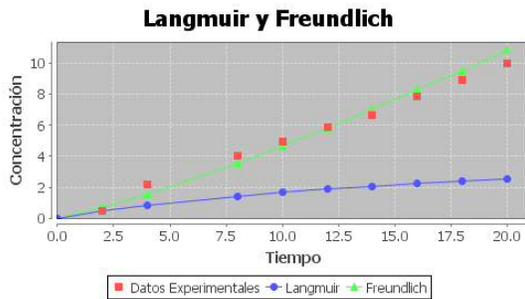
*Gráfico 72 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 6 con Solución binaria de Colorante rojo granada*

El modelo que mejor ajuste para todos los casos fue el de Freundlich que propone una estructura de monocapa para la absorción de este material carbonoso.

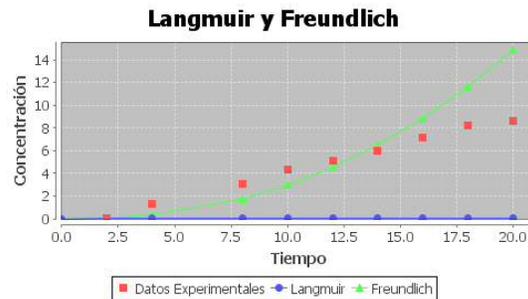
En la siguiente tabla se presentan los datos para graficar los modelos de Langmuir y Freundlich para isotermas del MC 7.

*Tabla 36 Cinética del MC #7 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs Qe)*

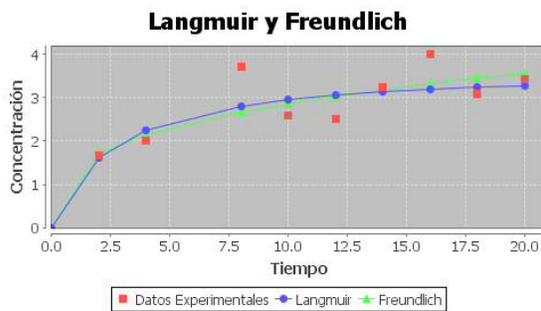
co. Inicial	Qe			
	color	cef	bin cef	bin color
2	0.49	0.02	1.67	1.77
4	2.17	1.28	2.00	3.25
8	4.04	3.12	3.71	6.21
10	4.98	4.38	2.58	7.69
12	5.91	5.11	2.50	9.17
14	6.64	5.99	3.25	10.96
16	7.89	7.17	4.00	12.44
18	8.94	8.21	3.08	13.81
20	9.98	8.64	3.42	15.40



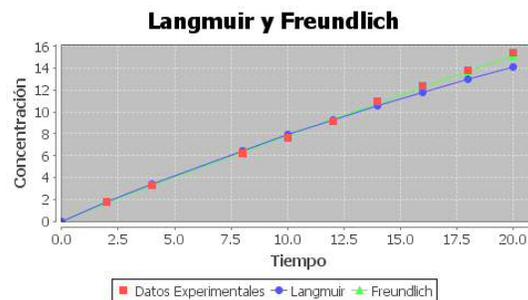
*Gráfico 73 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con colorante rojo granada*



*Gráfico 74 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con Cefuroxima*



*Gráfico 75 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con Solución binaria de Cefuroxima*



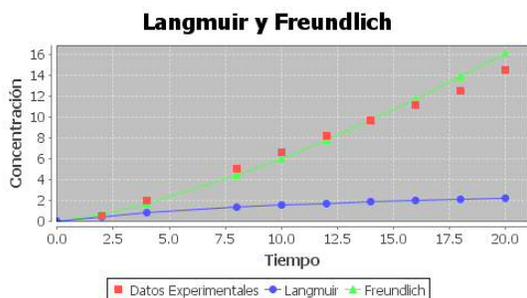
*Gráfico 76 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 7 con Solución binaria de Colorante rojo granada*

El modelo de Freundlich ajusto mejor para la solución de Cefuroxima y colorante el sistema unitario y binario, mientras que la Cefuroxima en sistema binario ajusto para el modelo de monocapa de Langmuir.

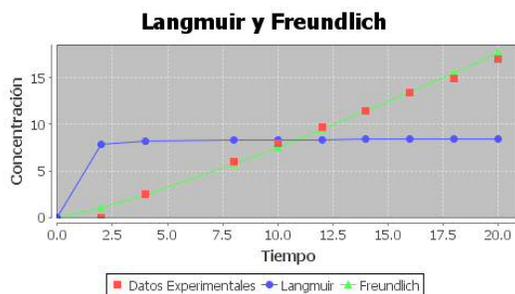
En la tabla 37 se presentan los datos para graficar los modelos de Langmuir y Freundlich para isotermas del MC 8.

*Tabla 37 Cinética del MC #8 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs Qe)*

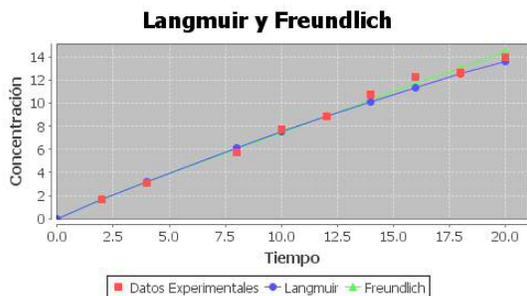
Co. Inicial	Qe			
	color	cef	bin cef	bin color
2	0.49	0.00	1.67	0.63
4	1.96	2.49	3.08	2.21
8	5.00	5.99	5.79	4.54
10	6.57	7.92	7.71	6.54
12	8.15	9.66	8.88	8.02
14	9.62	11.41	10.75	9.60
16	11.19	13.27	12.31	11.08
18	12.55	14.97	13.94	12.67
20	14.55	16.97	15.44	14.04



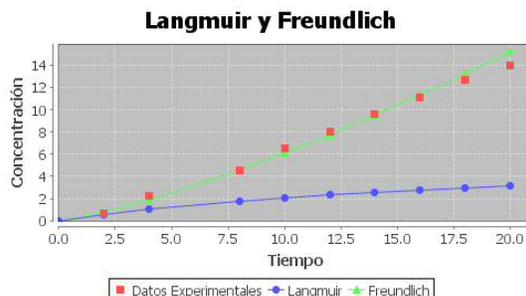
*Gráfico 77 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con colorante rojo granada*



*Gráfico 78 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con Cefuroxima*



*Gráfico 79 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con Solución binaria de Cefuroxima*



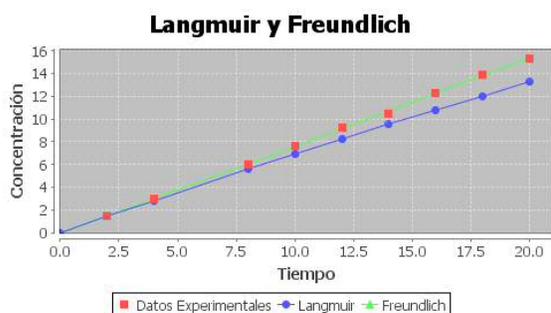
*Gráfico 80 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 8 con Solución binaria de Colorante rojo granada*

El modelo que mejor se ajusto fue el de Freundlich para el colorante en sus dos formas, así como la Cefuroxima presentando multicapas, mientras que la Cefuroxima en solución binaria ajusto para el modelo de Langmuir.

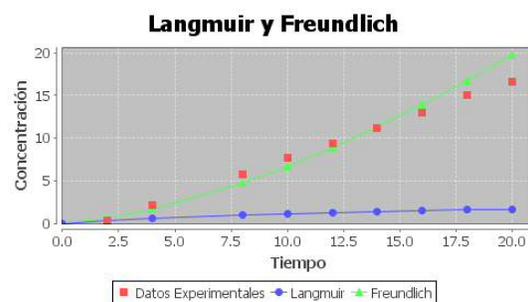
En la siguiente tabla se presentan los datos para graficar los modelos de Langmuir y Freundlich para isoterma del MC 9.

*Tabla 38 Isotherma del MC #9 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs Qe)*

Co. Inicial	Qe			
	color	cef	bin cef	bin color
2	1.45	0.40	1.25	2.05
4	3.02	2.17	2.63	3.15
8	6.06	5.80	5.58	6.42
10	7.64	7.65	6.75	7.79
12	9.21	9.43	8.13	9.17
14	10.47	11.13	9.50	10.65
16	12.26	12.98	10.88	12.23
18	13.94	14.98	12.25	13.81
20	15.30	16.61	13.63	15.19



*Gráfico 81 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con colorante rojo granada*



*Gráfico 82 Isotherma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con Cefuroxima*

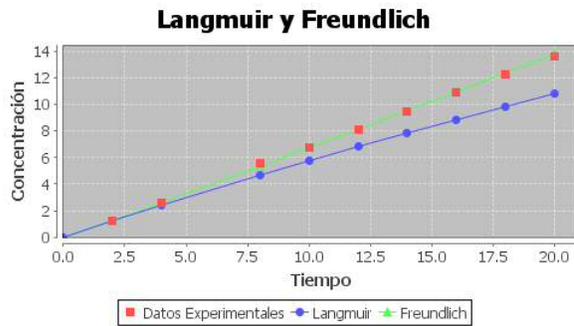


Gráfico 83 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con Solución binaria de Cefuroxima

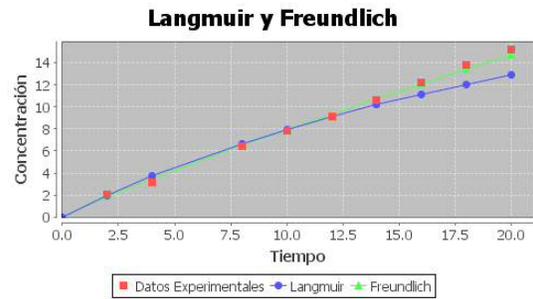


Gráfico 84 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 9 con Solución binaria de Colorante rojo granada

Todos los analitos ajustaron mejor para el modelo de multicapa de Freundlich.

En la tabla 39 se presentan los datos para graficar los modelos de Langmuir y Freundlich para isotermas del MC 10.

Tabla 39 isoterma del MC #10 en Colorante, Cefuroxima y Solución Binaria Colorante- Cefuroxima (Concentración vs  $Q_e$ )

co. Inicial	$Q_e$			
	color	cef	bin cef	bin color
2	0.81	0.10	1.25	1.56
4	1.64	1.28	1.58	3.04
8	3.09	3.20	1.83	5.90
10	3.91	4.23	1.54	7.27
12	4.00	5.11	1.46	8.65
14	5.26	6.14	1.38	10.13
16	5.87	6.80	1.92	11.50
18	6.91	7.69	1.63	12.98
20	7.43	9.01	3.63	14.56

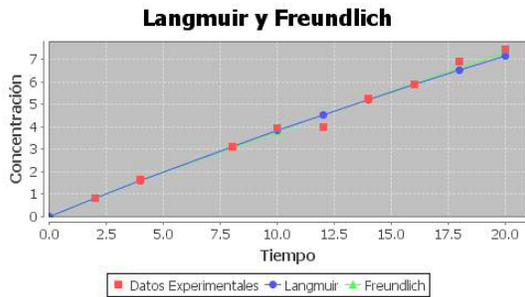


Gráfico 85 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con colorante rojo granada

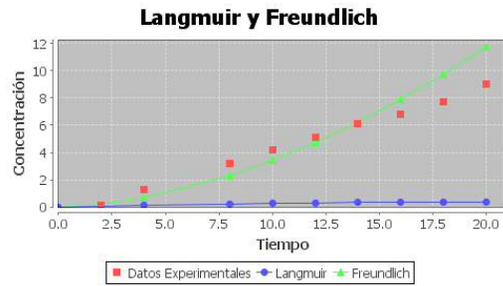


Gráfico 86 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con Cefuroxima

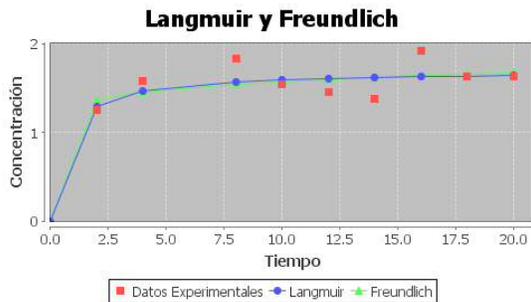


Gráfico 87 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con Solución binaria de Cefuroxima

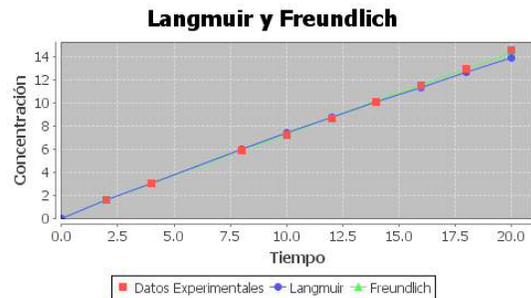


Gráfico 88 Isoterma ajustada al modelo de Langmuir y Freundlich para el MC 10 con Solución binaria de Colorante rojo granada

El modelo de Langmuir ajusto mejor para el colorante, y Cefuroxima en solución binaria, se observa que la Cefuroxima y el colorante rojo binario siguen un comportamiento de Freundlich.

En la siguiente tabla observamos la capacidad de adsorción ( $Q_e$ ) para cada analito siguiendo el modelo de Langmuir.

Prueba	Analito	Qe max
1	Cefuroxima	3.4186
	Colorante	31.8564
	Bin cef	9.5713
	Bin color	1.5224
2	Cefuroxima	20.5158
	Colorante	0.1492
	Bin cef	18.5471
	Bin color	16.6749
3	Cefuroxima	0.654
	Colorante	0.478
	Bin cef	0
	Bin color	16.4184
4	Cefuroxima	2.2986
	Colorante	712.2258
	Bin cef	0.8848
	Bin color	13.1634
5	Cefuroxima	6.8275
	Colorante	9.8395
	Bin cef	30.6436
	Bin color	349.5063

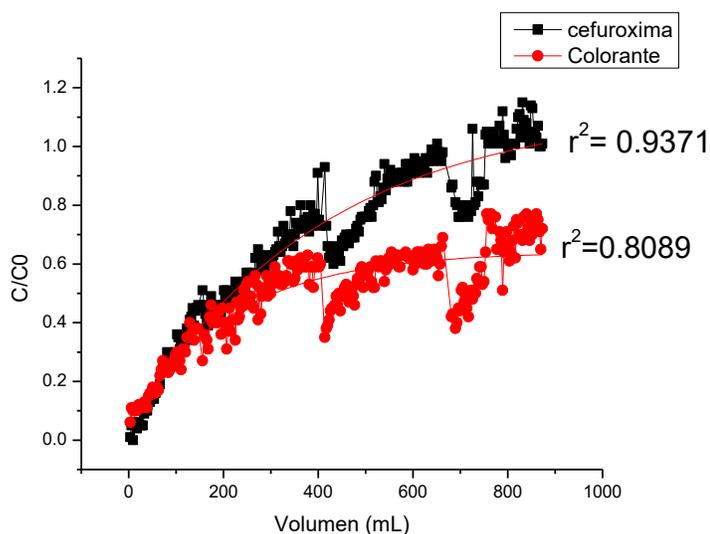
6	Cefuroxima	0.5936
	Colorante	38.53
	Bin cef	77.0806
	Bin color	72.5512
7	Cefuroxima	0.11
	Colorante	5.1881
	Bin cef	3.7086
	Bin color	66.7891
8	Cefuroxima	8.4856
	Colorante	4.183
	Bin cef	71.8018
	Bin color	6.5638
9	Cefuroxima	2.909
	Colorante	159.5931
	Bin cef	82.4686
	Bin color	33.867
10	Cefuroxima	0.61
	Colorante	52.7394
	Bin cef	1.6948
	Bin color	116.693

Se puede observar que los materiales 4,6, 9 y 10 son materiales con gran capacidad adsorbente según el modelo de Langmuir, este modelo implica un tiempo de equilibrio para lograr su completa adsorción, la curva de carga ayudara a corroborar la adsorción real para cada material mediante el modelo de Bohart-Adams.

## 4.7 Curva de carga

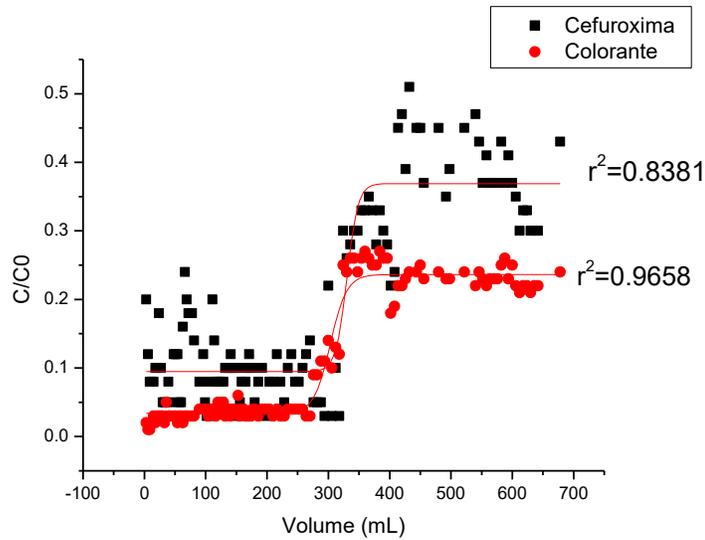
En este tipo de estudio, el agua residual fluye por una columna empacada con el sorbente, los analitos se separan gradualmente, y el agua residual se va purificando conforme desciende a través de la columna.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima obtenidas a partir de experimentos en columnas empacadas con el material MC 1 se presentan a continuación, donde se graficó  $C_e/C_0$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



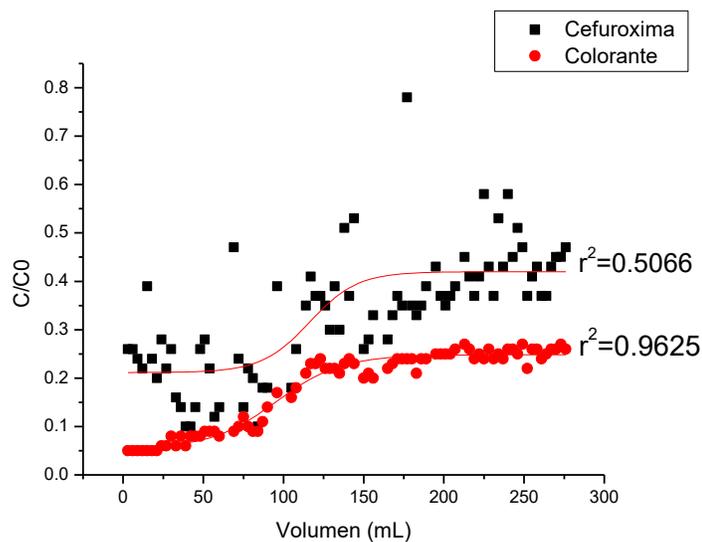
Se observa que a medida que aumenta el volumen la saturación de la columna empleada aumenta. El punto de quiebre de la columna es en 0.4 para el colorante y 0.5 para la Cefuroxima, el límite de operación para esta columna fue de 0.8 para el colorante y 1 para el antibiótico.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima con el material MC 2 se presentan a continuación, graficando  $C_e/C_0$  vs Volumen de lecho, ajustado al modelo de Thomas-Adams.



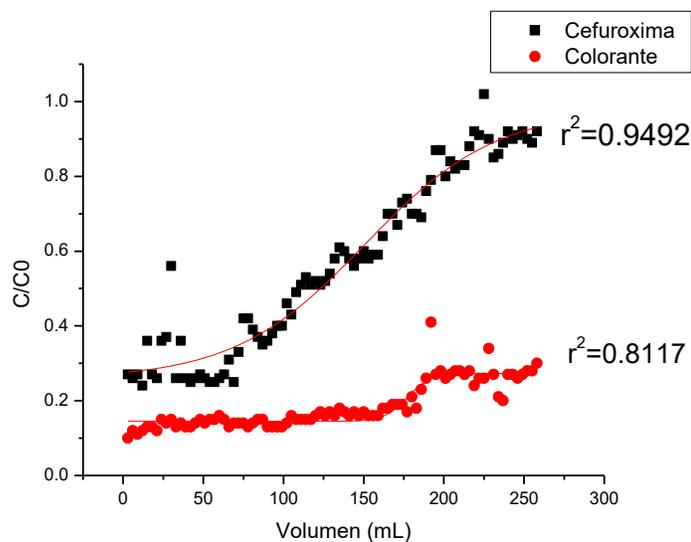
En este material se observa un crecimiento exponencial, donde el coeficiente de correlación del colorante es mayor que el de la Cefuroxima, así mismo se observa que el punto de ruptura se alcanza en 0.05 para el colorante y a 0.15 en la Cefuroxima, el límite de operación en 0.2 para el colorante y 0.3 para la Cefuroxima.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima para el material MC 3 se presenta a continuación, donde se graficó  $C_e/C_0$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



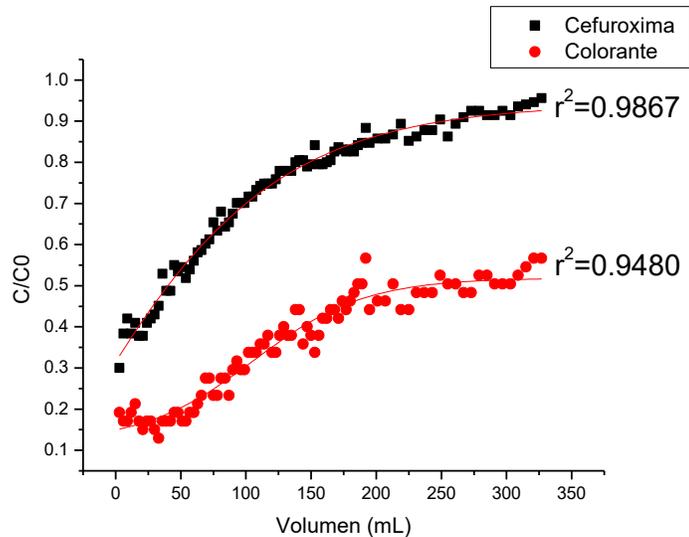
En el MC 3 se observa un mayor coeficiente de correlación para el colorante en un cremento exponencial siguiendo el modelo de Thomas, el punto de ruptura del colorante se encuentra en 0.2 aproximadamente, mientras que en la Cefuroxima se encuentra en 0.4 aproximadamente.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima obtenidas a partir de experimentos en columnas empacadas con el material MC 4 se presentan a continuación, donde se graficó  $C_e/C_o$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



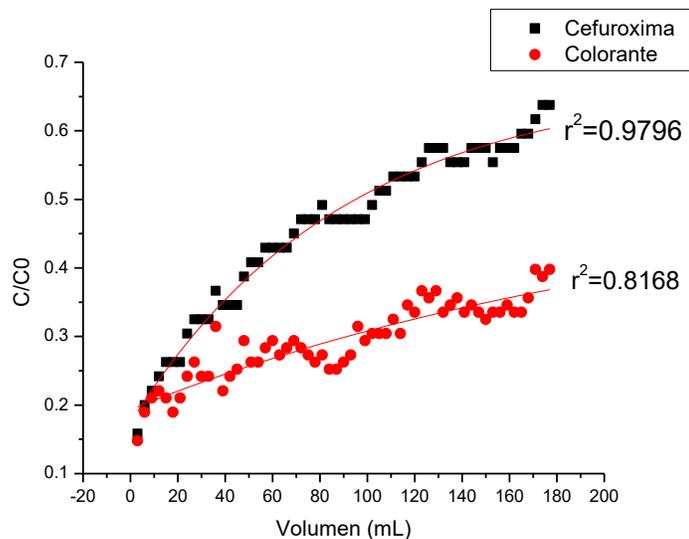
El MC 4 presenta un mayor coeficiente de correlación para la Cefuroxima, se observa que el colorante no llega al punto de saturación como el caso de la Cefuroxima, el punto de quiebre para la Cefuroxima está en 0.5 aproximadamente, mientras que en el colorante no se apreció, lo cual es indicativo de que el material absorbe más colorante que antibiótico.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima obtenidas a partir de experimentos en columnas empacadas con el material MC 5 se presentan a continuación, donde se graficó  $C_e/C_o$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



En esta curva de carga podemos observar el coeficiente de correlación de la Cefuroxima es superior al del colorante, el punto de quiebre para la Cefuroxima y el colorante se encuentran 0.6 y 0.25 respectivamente.

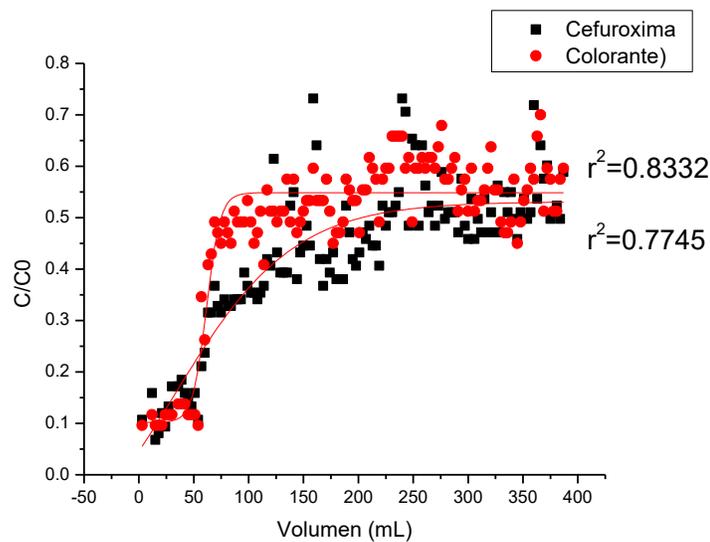
La siguiente curva de carga muestra el colorante y la Cefuroxima empleando el material MC 6, graficando  $C_e/C_o$  vs Volumen de lecho.



En este material se observa un coeficiente de correlación mayor para la Cefuroxima, el punto de quiebre para el antibiótico es de 0.4, para el colorante es de 0.25 aproximadamente, el punto límite de operación de

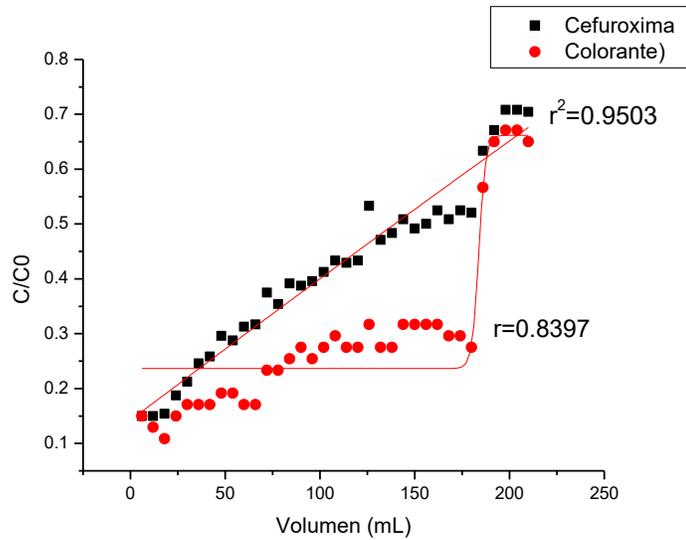
la columna es de 0.6 y 0.3 para la Cefuroxima y el colorante respectivamente.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima obtenidas a partir de experimentos en columnas empacadas con el material MC 7 se presentan a continuación, donde se graficó  $C_e/C_o$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



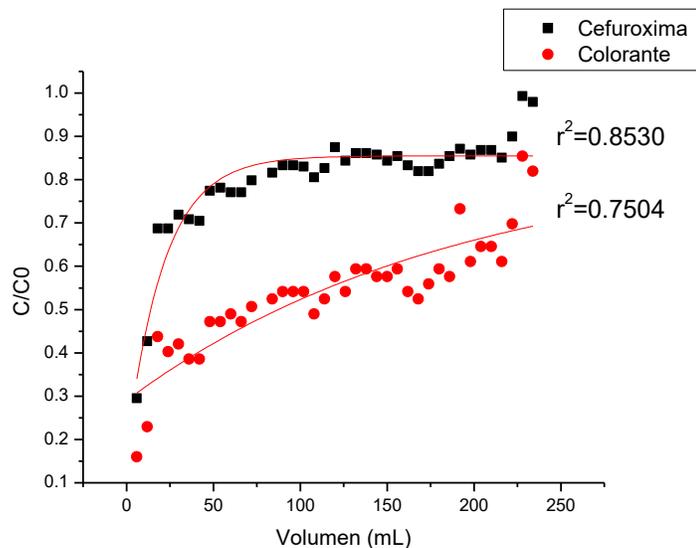
El MC 7 muestra una correlación de 0.7745 y 0.8332 para la Cefuroxima y el colorante respectivamente, el punto de quiebre es de 0.2 para el antibiótico, así como para el colorante, el punto límite de operación de esta columna es de 0.5 y 0.55 para el fármaco y el colorante.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima obtenidas a partir de experimentos en columnas empacadas con el material MC 8 se presentan a continuación, donde se graficó  $C_e/C_o$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



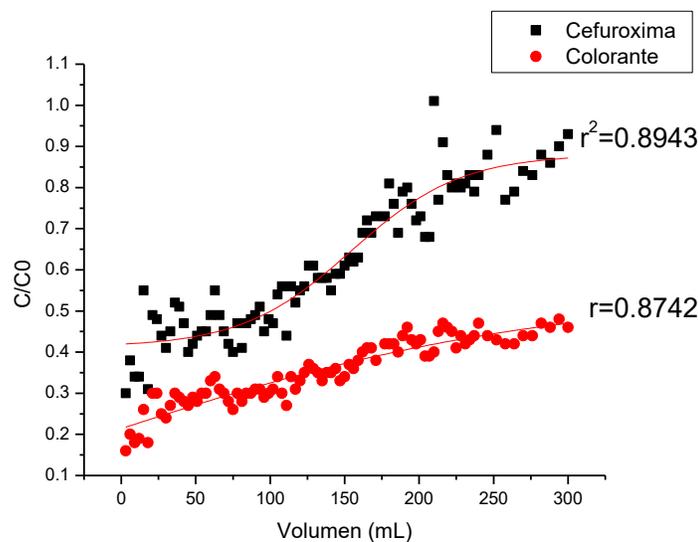
La Cefuroxima presenta una correlación de 0.9503, un punto de quiebre de 0.4 y no se llegó al punto máximo de saturación de la columna, mientras que el colorante presenta un coeficiente de 0.8397, un punto de quiebre de 0.25 y un punto de saturación en 0.67 aproximadamente.

Las curvas de carga del material MC 9 se presenta a continuación, donde se graficó  $C_e/C_0$  vs Volumen de lecho y se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



Se observa que la Cefuroxima fue absorbida muy pronto dado que llego de forma rápida a su punto de saturación, el cual fue de 0.8 en menos de 100 mL, mientras que el colorante no llego a su punto máximo de saturación.

Las curvas de carga para el colorante y la Cefuroxima obtenidas a partir de experimentos en columnas empacadas con el material MC 10 se presentan a continuación, donde se graficó  $C_e/C_o$  vs Volumen de lecho, se ajustó al modelo de Thomas-Adams.



La Cefuroxima con un coeficiente de correlación de 0.8942, llego al punto de saturación a 0.9, con un punto de quiebre de 0.6 y un límite de operación para la columna de 0.8, mientras que el colorante rojo no llego a la saturación de la columna, lo cual hace de este material bueno para la adsorción de colorante.

Para evitar tener puntos de quiebre y saturación muy cortos como los observados en algunos de los casos anteriores, es necesario modificar el tiempo de contacto, esto puede hacerse incrementado la altura de la columna o bien, disminuyendo la velocidad de flujo, para este estudio el tiempo de flujo fue de 1.26 mL/min.

Se calculó la capacidad de adsorción máxima real empleando el modelo de Bohard- Adams mediante la siguiente ecuación:

Donde:

En la siguiente tabla se observan las capacidades de adsorción real para cada material:

*Tabla 40 Capacidad máxima de adsorción para los MC en función del modelo de Bohart- Adams*

Prueba	Analito	t <sub>R</sub> (min)	C <sub>0</sub> (mg/L)	C <sub>e</sub> (mg/L)	m (g)	N <sub>0</sub> ( $\frac{m}{C_0 - C_e}$ )
1	Cefuroxima	44.28	10	1	1.257	389.9599
	Colorante	11.07	10	1		97.48998
2	Cefuroxima	22.14	10	1	1.198	204.5825
	Colorante	354.24	10	1		3273.3195
3	Cefuroxima	57.1212	10	1	1.303	485.289
	Colorante	89.05	10	1		756.5491
4	Cefuroxima	0	10	1	1.086	0
	Colorante	3.69	10	1		37.6135

5	Cefuroxima	0	10	1	1.375	0
	Colorante	0	10	1		0
6	Cefuroxima	0	10	1	1.903	0
	Colorante	0	10	1		0
7	Cefuroxima	25.83	10	1	1.523	173.2095
	Colorante	22.14	10	1		160.9256
8	Cefuroxima	0	10	1	1.32	0
	Colorante	0	10	1		0
9	Cefuroxima	0	10	1	1.309	0
	Colorante	3.69	10	1		31.2057
10	Cefuroxima	0	10	1	1.741	0
	Colorante	1.23	10	1		7.8209

## 4.8 Análisis estadístico del diseño de experimentos

Los siguientes datos representan el análisis estadístico de la Qe para cada ana lito correlacionando los factores Temperatura (°C), Activador e Impregnación (%)

### 4.8.1 Efectos para Qe (CEFUROXIMA mg/g)

Regresión factorial: Qe (CEFUROXIMA mg/g) vs. TEMPERATURA (°cc), ACTIVADOR, IMPREGNACIÓN (%)

\* NOTA \* Este diseño incluye algunas corridas divergentes.

\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	68.1216	9.7317	3.86	0.374
Lineal	3	3.0018	1.0006	0.40	0.789
TEMPERATURA (°cc)	1	0.2285	0.2285	0.09	0.814
ACTIVADOR	1	2.9009	2.9009	1.15	0.478
IMPREGNACIÓN (%)	1	0.0017	0.0017	0.00	0.983
Interacciones de 2 términos	3	55.5280	18.5093	7.34	0.263
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	1	29.7474	29.7474	11.80	0.180
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	1	11.7532	11.7532	4.66	0.276
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	17.9938	17.9938	7.14	0.228
Interacciones de 3 términos	1	2.8245	2.8245	1.12	0.482

TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	2.8245	2.8245	1.12	0.482
Error	1	2.5213	2.5213		
Total	8	70.6429			

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad.	
		(ajustado)	(pred)	*
1.58787		96.43%	71.45%	

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		2.917	0.576	5.07	0.124	
TEMPERATURA (°cc)	-0.347	-0.173	0.576	-0.30	0.814	1.17
ACTIVADOR	1.235	0.617	0.576	1.07	0.478	1.17
IMPREGNACIÓN (%)	0.038	0.019	0.741	0.03	0.983	1.19
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	-3.954	-1.977	0.576	-3.43	0.180	1.17
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	3.199	1.600	0.741	2.16	0.276	1.21
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	-3.959	-1.979	0.741	-2.67	0.228	1.21
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	-1.568	-0.784	0.741	-1.06	0.482	1.21

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 Q_e (\text{CEFUROXIMA mg/g}) = & 25.9 - 0.0355 \text{ TEMPERATURA } (^\circ\text{cc}) + 18.1 \text{ ACTIVADOR} \\
 & - 0.489 \text{ IMPREGNACIÓN } (\%) - 0.0239 \text{ TEMPERATURA } (^\circ\text{cc}) * \text{ACTIVADOR} \\
 & + 0.000753 \text{ TEMPERATURA } (^\circ\text{cc}) * \text{IMPREGNACIÓN } (\%) \\
 & + 0.193 \text{ ACTIVADOR} * \text{IMPREGNACIÓN } (\%) \\
 & - 0.000369 \text{ TEMPERATURA } (^\circ\text{cc}) * \text{ACTIVADOR} * \text{IMPREGNACIÓN } (\%)
 \end{aligned}$$

Estructura de alias

Factor	Nombre
A	TEMPERATURA (°cc)
B	ACTIVADOR
C	IMPREGNACIÓN (%)

Alias

- I
- A
- B
- C
- AB
- AC
- BC
- ABC

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Qe (CEFUROXIMA mg/g)	Ajuste	Resid	Resid est.
1	0.65	0.65	-0.00	* X
2	0.11	0.11	0.00	* X
3	6.83	6.83	-0.00	* X
4	2.91	2.91	0.00	* X
5	2.30	2.30	0.00	* X
6	8.49	8.49	0.00	* X

X poco común X

En color rojo observamos el rechazo del Ho (hipótesis nula) con respecto a F (Fisher) y P (significación muestral), con un nivel de confianza al 95%, por lo tanto, con este nivel de confianza no se encuentran diferencias en la capacidad de adsorción por efecto de la temperatura, activador o impregnación, sin en cambio en verde se muestra que con un nivel de

confianza del 80% el efecto del activador si influye en la Qe de material para la adsorción de la solución de Cefuroxima.

## 4.8.2 Efectos para Qe (Colorante mg/g)

### Regresión factorial: Qe (COLORANTE mg/g) vs. TEMPERATURA (°cc), ACTIVADOR, IMPREGNACIÓN (%)

\* NOTA \* Este diseño incluye algunas corridas divergentes.  
\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	423771	60539	339207.71	0.001
Lineal	3	223254	74418	416975.51	0.001
TEMPERATURA (°cc)	1	115502	115502	647172.86	0.001
ACTIVADOR	1	80564	80564	451414.00	0.001
IMPREGNACIÓN (%)	1	41832	41832	234392.84	0.001
Interacciones de 2 términos	3	316456	105485	591050.76	0.001
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	1	126095	126095	706530.96	0.001
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	1	103536	103536	580125.66	0.001
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	108445	108445	607631.26	0.001
Interacciones de 3 términos	1	48057	48057	269271.20	0.001
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	48057	48057	269271.20	0.001
Error	1	0	0		
Total	8	423771			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.422458	100.00%	100.00%	*

#### Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		150.887	0.153	985.24	0.001
TEMPERATURA (°cc)	246.405	123.202	0.153	804.47	0.001
ACTIVADOR	-205.791	-102.895	0.153	-671.87	0.001
IMPREGNACIÓN (%)	-190.873	-95.436	0.197	-484.14	0.001
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	-257.457	-128.728	0.153	-840.55	0.001
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	-300.285	-150.142	0.197	-761.66	0.001
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	307.321	153.661	0.197	779.51	0.001
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	204.582	102.291	0.197	518.91	0.001

Término	VIF
Constante	
TEMPERATURA (°cc)	1.17
ACTIVADOR	1.17
IMPREGNACIÓN (%)	1.19
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	1.17
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	1.21
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1.21
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1.21

#### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 Q_e \text{ (COLORANTE mg/g)} = & -3307.16 + 5.46689 \text{ TEMPERATURA (°cc)} + 2746.70 \text{ ACTIVADOR} \\
 & + 43.6803 \text{ IMPREGNACIÓN (\%)} - 4.62039 \text{ TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR} \\
 & - 0.070655 \text{ TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (\%)} \\
 & - 27.6735 \text{ ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (\%)} \\
 & + 0.048137 \text{ TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (\%)}
 \end{aligned}$$

#### Estructura de alias

Factor	Nombre
--------	--------

A TEMPERATURA (°cc)  
 B ACTIVADOR  
 C IMPREGNACIÓN (%)

Alias

I  
 A  
 B  
 C  
 AB  
 AC  
 BC  
 ABC

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Qe (COLORANTE mg/g)	Ajuste	Resid	Resid est.	
1	0.478	0.478	-0.000	*	X
2	5.188	5.188	-0.000	*	X
3	9.839	9.839	0.000	*	X
4	159.593	159.593	0.000	*	X
5	712.226	712.226	0.000	*	X
6	4.183	4.183	-0.000	*	X

X poco común X

Para la adsorción del colorante en un sistema unitario, se observa que se aceptan todas las hipótesis nulas, esto quiere decir, que la temperatura, el activador y la impregnación tienen un papel importante en la adsorción del colorante rojo granada con una confianza del 95%.

### 4.8.3 Efectos para Qe (BIN-Cefuroxima mg/g)

#### Regresión factorial: Qe (BIN-CEFUROXI vs. TEMPERATURA (°cc, ACTIVADOR, IMPREGNACIÓN (%))

\* NOTA \* Este diseño incluye algunas corridas divergentes.  
 \* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	7513.6	1073.37	0.42	0.832
Lineal	3	2543.9	847.98	0.33	0.818
TEMPERATURA (°cc)	1	11.3	11.33	0.00	0.958
ACTIVADOR	1	1349.1	1349.10	0.53	0.599
IMPREGNACIÓN (%)	1	1525.3	1525.31	0.60	0.581
Interacciones de 2 términos	3	832.4	277.45	0.11	0.944
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	1	619.6	619.59	0.24	0.708
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	1	9.6	9.58	0.00	0.961
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	309.3	309.29	0.12	0.786
Interacciones de 3 términos	1	2927.6	2927.63	1.15	0.478
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	2927.6	2927.63	1.15	0.478
Error	1	2543.6	2543.57		
Total	8	10057.2			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
50.4338	74.71%	0.00%	*

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		24.6	18.3	1.35	0.406	
TEMPERATURA (°cc)	2.4	1.2	18.3	0.07	0.958	1.17
ACTIVADOR	26.6	13.3	18.3	0.73	0.599	1.17
IMPREGNACIÓN (%)	36.4	18.2	23.5	0.77	0.581	1.19
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	-18.0	-9.0	18.3	-0.49	0.708	1.17
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	-2.9	-1.4	23.5	-0.06	0.961	1.21
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	-16.4	-8.2	23.5	-0.35	0.786	1.21
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	-50.5	-25.2	23.5	-1.07	0.478	1.21

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 Q_e \text{ (BIN-CEFUROXIMA mg/g)} = & -28 + 0.053 \text{ TEMPERATURA (°cc)} - 189 \text{ ACTIVADOR} \\
 & + 0.87 \text{ IMPREGNACIÓN (\%)} + 0.324 \text{ TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR} \\
 & - 0.0007 \text{ TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (\%)} \\
 & + 7.53 \text{ ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (\%)} \\
 & - 0.0119 \text{ TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (\%)}
 \end{aligned}$$

Estructura de alias

Factor	Nombre
A	TEMPERATURA (°cc)
B	ACTIVADOR
C	IMPREGNACIÓN (%)

Alias

I  
A  
B  
C  
AB  
AC  
BC  
ABC

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Qe (BIN-CEFUROXIMA mg/g)	Ajuste	Resid	Resid est.
1	0.0	0.0	-0.0	* X
2	3.7	3.7	0.0	* X
3	30.6	30.6	-0.0	* X
4	82.5	82.5	-0.0	* X
5	0.9	0.9	0.0	* X
6	71.8	71.8	0.0	* X

X poco común X

Se observa que para la solución binaria de Cefuroxima, ningún factor influye en la capacidad de adsorción, a 95 ni a 80% de confianza.

#### 4.8.4 Efectos para Qe (BIN-Colorante mg/g)

Regresión factorial: Qe (BIN-COLORANT vs. TEMPERATURA (°cc, ACTIVADOR, IMPREGNACIÓN (%))

\* NOTA \* Este diseño incluye algunas corridas divergentes.  
\* NOTA \* Este diseño no es ortogonal.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	95323.8	13617.7	15.63	0.192
Lineal	3	60552.4	20184.1	23.17	0.151

TEMPERATURA (°cc)	1	20277.3	20277.3	23.28	0.130
ACTIVADOR	1	38881.2	38881.2	44.63	0.095
IMPREGNACIÓN (%)	1	5611.4	5611.4	6.44	0.239
Interacciones de 2 términos	3	38571.0	12857.0	14.76	0.189
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	1	13222.9	13222.9	15.18	0.160
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	1	15985.3	15985.3	18.35	0.146
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	11692.5	11692.5	13.42	0.170
Interacciones de 3 términos	1	28789.4	28789.4	33.05	0.110
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	1	28789.4	28789.4	33.05	0.110
Error	1	871.1	871.1		
Total	8	96194.9			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
29.5144	99.09%	92.76%	*

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		92.7	10.7	8.66	0.073	
TEMPERATURA (°cc)	-103.2	-51.6	10.7	-4.82	0.130	1.17
ACTIVADOR	143.0	71.5	10.7	6.68	0.095	1.17
IMPREGNACIÓN (%)	-69.9	-35.0	13.8	-2.54	0.239	1.19
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR	-83.4	-41.7	10.7	-3.90	0.160	1.17
TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (%)	118.0	59.0	13.8	4.28	0.146	1.21
ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	-100.9	-50.5	13.8	-3.66	0.170	1.21
TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (%)	158.3	79.2	13.8	5.75	0.110	1.21

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 Q_e \text{ (BIN-COLORANTE mg/g)} = & 1566 - 2.212 \text{ TEMPERATURA (°cc)} + 1693 \text{ ACTIVADOR} \\
 & - 18.87 \text{ IMPREGNACIÓN (\%)} - 2.417 \text{ TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR} \\
 & + 0.02776 \text{ TEMPERATURA (°cc)*IMPREGNACIÓN (\%)} \\
 & - 25.40 \text{ ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (\%)} \\
 & + 0.03726 \text{ TEMPERATURA (°cc)*ACTIVADOR*IMPREGNACIÓN (\%)}
 \end{aligned}$$

Estructura de alias

Factor	Nombre
A	TEMPERATURA (°cc)
B	ACTIVADOR
C	IMPREGNACIÓN (%)

Alias

- I
- A
- B
- C
- AB
- AC
- BC
- ABC

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Qe (BIN-COLORANTE mg/g)	Ajuste	Resid	Resid est.
1	16.4	16.4	0.0	* X
2	66.8	66.8	0.0	* X
3	349.5	349.5	0.0	* X
4	33.9	33.9	-0.0	* X
5	13.2	13.2	0.0	* X
6	6.6	6.6	0.0	* X

X poco común X

En color rojo se observa que se rechazó la Hipótesis nula (Ho) para todos los factores con una confianza de 95%, mientras que el efecto del

activador juega un importante papel para la adsorción de colorante en solución binaria cuando el nivel de confianza es del 90% dado que se acepta la  $H_a$  (Hipótesis alterna).

# *Capítulo 5:* *Conclusiones*

Los materiales carbonosos activados elaborados a partir de lodos residuales son adsorbentes que tienen una gran capacidad de adsorción para colorante rojo y Cefuroxima ya sea en solución unitaria o binaria, para este experimento se obtuvieron dos  $q_e$  máximas de 485.28.9 g/g y 3273.3195 g/g para la Cefuroxima del material carbonoso 3 y colorante rojo del MC 2 respectivamente.

La pirólisis a 700°C favorece la formación de material carbonoso, así como óxidos que le confieren propiedades favorables para la adsorción de la Cefuroxima y el colorante rojo granada, el activador empieza a tener un efecto con un nivel de confianza del 90% aproximadamente.

La adsorción de colorante es mayor en los materiales carbonosos, por lo cual se podría decir que este proceso es más sensible para la adsorción de colorante rojo, el material 2 demostró ser el mejor adsorbente con una capacidad de 3273.3195 gramos de colorante por cada gramo de material carbonoso para la retención de Cefuroxima y colorante.

Se demostró por los modelos de Freundlich y Langmuir que los mecanismos responsables para que se lleve a cabo la retención de los analitos son Fisisorción y quimisorción, siendo este último el fenómeno más observado dentro del presente estudio, en ambos materiales se presenta superficie heterogénea observable por las microscopias.

La adsorción de colorante y Cefuroxima son independientes del medio en el que se encuentren (ácido o básico), la adsorción de los materiales depende principalmente de la estructura del material.

El tiempo de flujo está directamente ligado con la correcta adsorción que presentaran los materiales, si el flujo es muy rápido, al pasar por la columna no será absorbido el analito efectivamente, en la solución binaria

se mostró una competencia por los sitios porosos de los MC lo cual afectó significativamente la adsorción de cada uno de los analitos.

Los estudios de adsorción en la columna de carga indican una mayor capacidad de sorción del material carbonoso para colorante rojo granada, mientras que la Cefuroxima presentó una adsorción relativamente constante en grandes intervalos de volumen tratado.

La activación con ácido fosfórico mostró mejores resultados para la adsorción de la Cefuroxima y colorante rojo® en sistemas unitarios y binarios, mientras que la activación con hidróxido de potasio mostró poca adsorción para todos los analitos.

Para todos los adsorbentes se mostraron capacidades de adsorción inferiores a las obtenidas en las isothermas respectivas, esto debido a que no se cumple con la permanencia necesaria en la columna para permitir su debida adsorción, bajando de este modo su rendimiento.

# *Referencias*

- Alvarado Diaz, M. E. (2015). Efecto de la temperatura sobre las propiedades de los materiales carbonosos provenientes de la pirólisis de lodos residuales y su aplicación como sorbentes de iones en soluciones bimetalicas de cadmio y cromo.
- APHA/AWWA/WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Standard Methods*. <https://doi.org/ISBN9780875532356>
- Bagreev, A., Bandosz, T. J., & Locke, D. C. (2001). Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. *Carbon*, *39*(13), 1971–1979. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00026-4)
- Bandosz, T. J., & Block, K. (2006). Effect of pyrolysis temperature and time on catalytic performance of sewage sludge / industrial sludge-based composite adsorbents. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.04.006>
- Barrios Ziolo, L. F., & Cardona-gallo, S. A. (2016). Estudio De La Toxicidad Asociada Al Vertimiento De Aguas Residuales Con Presencia De Colorantes Y Pigmentos En El Área Metropolitana Del Valle De Aburrá. *EIA*, *13*, 61–74.
- Chandran, C. B., Singh, D., & Nigam, P. (2002). Remediation of Textile Effluent Using Agricultural Residues. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *102–103*(1–6), 207–212. <https://doi.org/10.1385/ABAB:102-103:1-6:207>
- Colin Cruz, A. (2007). *Obtención de un carbón activado proveniente de la pirólisis de lodos residuales y su evaluación como material de sorción*. Universidad autónoma del estado de México.

- Cortazar Martínez, A., Coronel Olivares, C., Escalante Lozada, A., & González Ramírez, C. (2012). Biotechnology applied to the degradation of textile industry dyes. *Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 28. Retrieved from <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>
- Ding, R., Zhang, P., Seredych, M., & Bandosz, T. J. (2012). Removal of antibiotics from water using sewage sludge- and waste oil sludge-derived adsorbents. *Water Research*, 46(13), 4081–4090. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2012.05.013>
- Elouear, Z., Bouzid, J., & Boujelben, N. (2009). Removal of nickel and cadmium from aqueous solutions by sewage sludge ash: Study in single and binary systems. *Environmental Technology*, 30(6), 561–570. <https://doi.org/10.1080/09593330902824940>
- Espigares García M., P. L. J. A. (2018). Aguas Residuales: Composición. Retrieved April 12, 2018, from <http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/IndiDoc2.htm>
- Fenner, R. A. (2017). Water: An essential resource and a critical hazard. *Green Energy and Technology*, 11(9783319544564), 75–97. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54458-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54458-8_5)
- Gatica, J., & Cytryn, E. (2013). Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in the soil microbiome. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), 3529–3538. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1505-4>
- Gutierrez S., Eriela. (2011). *Remoción de azul índigo y cadmio presentes en soluciones acuosas empleando un material zeolitico modificado y un material carbonoso activado.*

- Hwang, H.-R., Choi, W.-J., Kim, T.-J., Kim, J.-S., & Oh, K.-J. (2008). The preparation of an adsorbent from mixtures of sewage sludge and coal-tar pitch using an alkaline hydroxide activation agent. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *83*(2), 220–226. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2008.09.011>
- J Torres-Pérez, M Solache-Ríos, A. C.-C. (2008). Sorption and desorption of dye remazol yellow onto a Mexican surfactant-modified clinoptilolite-rich tuff and a carbonaceous material from pyrolysis of sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, *187*, 303–313.
- Julcour Lebigue, C., Andriantsiferana, C., N'Guessan Krou, Ayrat, C., Mohamed, E., Wilhelm, A.-M., ... Graham, N. J. D. (2010). Application of sludge-based carbonaceous materials in a hybrid water treatment process based on adsorption and catalytic wet air oxidation. *Journal of Environmental Management*, *91*(12), 2432–2439. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2010.06.008>
- Li, B., & Zhang, T. (2010a). Biodegradation and adsorption of antibiotics in the activated sludge process. *Environmental Science and Technology*, *44*(9), 3468–3473. <https://doi.org/10.1021/es903490h>
- Li, B., & Zhang, T. (2010b). Biodegradation and adsorption of antibiotics in the activated sludge process. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es903490h>
- Lin, Q. H., Cheng, H., & Chen, G. Y. (2012). Preparation and characterization of carbonaceous adsorbents from sewage sludge using a pilot-scale microwave heating equipment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *93*, 113–119. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2011.10.006>

- Mahapatra, K., Ramteke, D. S., & Paliwal, L. J. (2012). Production of activated carbon from sludge of food processing industry under controlled pyrolysis and its application for methylene blue removal. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *95*, 79–86. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2012.01.009>
- Mendoza Castillo, D. I., Jauregui Rinco, J., & Bonilla Petriciolet, A. (2016). Statistical analysis and modeling of multicomponent sorption of heavy metals in water using bone char. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *15*(1), 525–542. <https://doi.org/CC BY-NC 3.0>
- Metcalf, E., & Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Murillo, Y. S. . G. L. M. J. C. (2011). Determination of the 2,4-dinitrofenol adsorption kinetic on bovine bone char by UV-Vis spectrophotometry. *Revista Colombiana de Química*, *40*, 91–103.
- Nathanson Jerry A. (2008). *Basic Environmental Technology Water Supply, Waste Management, and Pollution Control. Encyclopædia Britannica, inc.* Retrieved from <https://www.britannica.com/science/pollution-environment>
- Núñez Lidia, Tornello Carina, Puentes Noel, M. J. (2012). Bacterias resistentes a antibióticos en aguas grises como agentes de riesgo sanitario. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, *7*, 235–243. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.638>
- Ocampo-Pérez, R., Rivera-Utrilla, J., Gómez-Pacheco, C., Sánchez-Polo, M., & López-Peñalver, J. J. (2012). Kinetic study of tetracycline adsorption on sludge-derived adsorbents in aqueous phase. *Chemical*

*Engineering Journal*, 213, 88–96.  
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2012.09.072>

Ortega, G. C. C., Arrieta, B. M. C., Guerrero, J. F. S., & Taboada, J. E. V. (2013). Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Prospect*, 11(1), 66–75.

Pedroza, M. M., Sousa, J. F., Vieira, G. E. G., & Bezerra, M. B. D. (2014). Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 108–115.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.009>

Rubio Clemente Ainhoa, Chica Arrieta Edwin Lenin, P. M. G. A. (2013). Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes Processos de tratamento de águas residuárias para a remoção de contaminantes orgânicos emergentes. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science ISSN:*, 8(1980–993X), 93–103.  
<https://doi.org/10.4136/1980-993X>

Sociedad Química del Perú., A. E., Robles, J. R., & Carriazo, J. G. (2015). SUNSET YELLOW DYE ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING ACTIVATED CARBONS DERIVED FROM AGRICULTURAL WASTE. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(2), 135–147.  
Retrieved from  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2015000200006&lang=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000200006&lang=pt)

Tsai, J.-H., Chiang, H.-M., Huang, G.-Y., & Chiang, H.-L. (2008). Adsorption characteristics of acetone, chloroform and acetonitrile on

sludge-derived adsorbent, commercial granular activated carbon and activated carbon fibers. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 1183–1191. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2007.11.065>

Valencia, J. S., & Castellar, G. C. (2013). Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo ( II ) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 66(1), 141–158.

Valtierra, M. (2004). Materiales Inorganicos con poros Ordenados. *Conciencia Tecnológica*, 24, 7. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402405>

Velghe, I., Carleer, R., Yperman, J., Schreurs, S., & D’Haen, J. (2012). Characterisation of adsorbents prepared by pyrolysis of sludge and sludge/disposal filter cake mix. *Water Research*, 46(8), 2783–2794. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2012.02.034>

Wang, X., Liang, X., Wang, Y., Wang, X., Liu, M., Yin, D., ... Zhang, Y. (2011). Adsorption of Copper (II) onto activated carbons from sewage sludge by microwave-induced phosphoric acid and zinc chloride activation. *Desalination*, 278(1–3), 231–237. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.05.033>

Xu, G., Yang, X., & Spinoso, L. (2015). Development of sludge-based adsorbents: Preparation, characterization, utilization and its feasibility assessment. *Journal of Environmental Management*, 151, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.001>

Yilmaz, A. E., Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M., & Karakaş, İ. H. (2011). Waste utilization: The removal of textile dye (Bomplex Red CR-L) from aqueous solution on sludge waste from electrocoagulation as adsorbent. *Desalination*, 277(1–3), 156–163.

<https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.04.018>

Yuan, H., Lu, T., Huang, H., Zhao, D., Kobayashi, N., & Chen, Y. (2015). Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *112*, 284–289.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.010>

# *Anexos*

## Anexo 1: Rampas de temperatura

Tiempo (min)	Temperatura a 600°C	Temperatura a 700°C
0	20	20
1	30	27
2	55	48
3	85	77
4	122	113
5	160	152
6	200	193
7	242	235
8	284	277
9	326	320
10	368	362
12	450	445
14	529	521
16	600	595
18	-----	665
20	-----	700

## Anexo 2: Datos para la obtención de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 1

Valores de absorción para la cinética para el MC #1 para el colorante rojo granada (color), la Cefuroxima (Cef) y la solución binaria de colorante – Cefuroxima 1:1, a diferentes tiempos. La concentración final se calculó con las curvas de calibración de los gráficos 4, 6 y 8 del capítulo 3, mientras que la  $Q_e$  se calculó mediante la siguiente ecuación

Tiempo (min)	Colorante (abs)	Cefuroxima (abs)	Solución Binaria (Abs)		masa	Co. Inicial (mg/L)	Co. Final Col.	Co. Final Cef	Co. Final Binaria		Qe colorante	Qe Cefuroxima	Qe sol binaria	
			Colorante	Cefuroxima					Co. Final Col.	Co. Final Cef			colorante	Cefuroxima
0	0.082	0.139	0.032	0.078	10	10	8.85	8.92	3.25	16.58	6.75	1.08	6.75	1.15
1.02	0.089	0.163	0.044	0.106	10	10	9.60	10.71	4.50	22.42	5.50	-0.71	5.50	0.40
8.05	0.078	0.143	0.05	0.108	10	10	8.43	9.22	5.13	22.83	4.88	0.78	4.88	1.57
15	0.086	0.141	0.044	0.099	10	10	9.28	9.07	4.50	20.96	5.50	0.93	5.50	0.72
30.02	0.075	0.133	0.039	0.086	10	10	8.11	8.47	3.98	18.25	6.02	1.53	6.02	1.89
50.03	0.069	0.111	0.038	0.077	10	10	7.47	6.83	3.88	16.38	6.13	3.17	6.13	2.53
90.63	0.007	0.113	0.031	0.072	10	10	0.87	6.98	3.15	15.33	6.85	3.02	6.85	9.13

Los gráficos se presentan en el apartado experimental, en la siguiente tabla se muestran los valores de los ajustes para los diferentes modelos cinéticos del MC 1

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.0266$ $Q_e = 4.37$ $K = -0.003$ RMSE= 3.7623	$r^2 = 0.0228$ $a = ?$ $b = -12.2743$ RMSE= ?	$r^2 = 0.9219$ $Q_e = 2.2412$ $K = -0.0667$ RMSE= 73.2601
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.9483$ $Q_e = 4.74$ $K = -0.0211$ RMSE= 0.2372	$r^2 = 0.8994$ $a = 5651$ $b = 1.0223$ RMSE= 0.4359	$r^2 = 0.9132$ $Q_e = 5.374$ $K = 0.0066$ RMSE= 0.2807
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.6273$ $Q_e = 6.47$ $K = -0.0473$ RMSE= 2.1231	$r^2 = 0.5549$ $a = 79136874.04$ $b = 3.8994$ RMSE= 0.3251	$r^2 = 0.9914$ $Q_e = 6.3816$ $K = 0.0863$ RMSE= 0.998
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.8828$ $Q_e = 7.79$ $K = -0.0191$ RMSE= 1.3403	$r^2 = 0.7058$ $a = 3.766$ $b = 0.9005$ RMSE= 1.0168	$r^2 = 0.9176$ $Q_e = 7.5713$ $K = 0.0107$ RMSE= 1.0868

## Isoterma MC 1

concentración (mg/L)	volumen (mL)	masa	L color	L cef	L bin cef	L bin color	Co. Fin Color	Co. Fin Cef	Co. Fin bin cef	Co. Fin bin color	Qe Color	Qe cef	Qe bin cef	Qe bin color
1	10	10	0.012	0.027	0.016	0.007	0.14	0.56	-0.26	0.87	0.86	0.44	1.26	0.13
4	10	10	0.028	0.051	0.036	0.016	0.16	2.35	1.23	1.83	3.84	1.65	2.77	2.17
6	10	10	0.041	0.078	0.045	0.02	0.17	4.37	1.90	2.26	5.83	1.63	4.10	3.74
8	10	10	0.057	0.107	0.059	0.029	0.18	6.53	2.95	3.21	7.82	1.47	5.05	4.79
10	10	10	0.059	0.128	0.077	0.037	0.19	8.10	4.29	4.06	9.81	1.90	5.71	5.94
12	10	10	0.088	0.134	0.096	0.045	0.22	8.54	5.71	4.91	11.78	3.46	6.29	7.09
14	10	10	0.103	0.171	0.113	0.064	0.23	11.31	6.98	6.94	13.77	2.69	7.02	7.06
16	10	10	0.119	0.203	0.129	0.061	0.25	13.69	8.17	6.62	15.75	2.31	7.83	9.38
18	10	10	0.119	0.23	0.148	0.056	0.25	15.71	9.59	6.09	17.75	2.29	8.41	11.91
20	10	10	0.158	0.262	0.172	0.082	0.29	18.10	11.38	8.85	19.71	1.90	8.62	11.15

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.9629$ $q_0=31.8564$ $b=0.0271$ RMSE=5.7904	$r^2= 0.8117$ $K_F=1.3251$ $n=1.0963$ RMSE=3.0087
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9646$ $q_0= 3.4186$ $b=0.15$ RMSE= 0.5041	$r^2= 0.7675$ $K_F= 0.5653$ $n=1.8659$ RMSE=0.5658
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9767$ $q_0=9.5713$ $b=0.1476$ RMSE=0.8156	$r^2= 0.9953$ $K_F=1.2242$ $n=1.5106$ RMSE= 0.1614
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9721$ $q_0=1.5224$ $b=0.081$ RMSE= 6.6045	$r^2= 0.9584$ $K_F= 0.1968$ $n= 0.6952$ RMSE= 1.4113

Curva de carga 1

volumen	C/C0 cef	C/C0 color
3	0.01	0.06
6	0.05	0.11
9	0.00	0.10
12	0.06	0.11
15	0.06	0.10
18	0.04	0.10
21	0.06	0.12
24	0.10	0.12
27	0.05	0.11
30	0.05	0.12
33	0.09	0.13
36	0.10	0.13
39	0.10	0.11
42	0.14	0.15
45	0.13	0.16
48	0.14	0.16
51	0.16	0.18
54	0.14	0.16
57	0.16	0.16
60	0.18	0.18
63	0.18	0.17
66	0.19	0.22
69	0.23	0.24
72	0.25	0.27
75	0.26	0.26
78	0.26	0.26
81	0.30	0.26
84	0.24	0.23
87	0.25	0.24
90	0.28	0.26
93	0.27	0.25
96	0.28	0.27
99	0.30	0.29
102	0.36	0.30
105	0.35	0.30
108	0.31	0.27

111	0.33	0.24
114	0.33	0.31
117	0.34	0.31
120	0.34	0.30
123	0.38	0.35
126	0.36	0.35
129	0.41	0.40
132	0.42	0.35
135	0.45	0.37
138	0.39	0.34
141	0.44	0.38
144	0.45	0.38
147	0.46	0.38
150	1.60	0.11
153	0.83	0.22
156	0.51	0.27
159	0.46	0.36
162	0.43	0.35
165	0.40	0.34
168	0.39	0.31
171	0.43	0.42
174	0.49	0.46
177	0.43	0.40
180	0.42	0.40
183	0.46	0.42
186	0.44	0.40
189	0.45	0.40
192	0.45	0.44
195	0.43	0.36
198	0.46	0.45
201	0.51	0.40
204	0.48	0.37
207	0.51	0.31
210	0.49	0.39
213	0.47	0.45
216	0.48	0.37
219	0.50	0.41
222	0.50	0.41

225	0.54	0.34
228	0.53	0.47
231	0.51	0.41
234	0.52	0.42
237	0.51	0.45
240	0.52	0.48
243	0.54	0.51
246	0.51	0.46
249	0.57	0.53
252	0.57	0.54
255	0.56	0.49
258	0.56	0.49
261	0.57	0.46
264	0.55	0.45
267	0.62	0.56
270	0.62	0.53
273	0.65	0.41
276	0.63	0.52
279	0.59	0.43
282	0.58	0.49
285	0.61	0.51
288	0.59	0.52
291	0.63	0.56
294	0.62	0.49
297	0.61	0.54
300	0.61	0.50
303	0.62	0.53
306	0.63	0.56
309	0.64	0.59
312	0.65	0.55
315	0.71	0.56
318	0.66	0.56
321	0.64	0.53
324	0.66	0.53
327	0.73	0.55
330	0.67	0.54
333	0.68	0.56
336	0.70	0.61
339	0.69	0.61

342	0.78	0.60
345	0.70	0.60
348	0.66	0.54
351	0.70	0.55
354	0.74	0.61
357	0.72	0.58
360	0.73	0.60
363	0.80	0.62
366	0.72	0.59
369	0.74	0.61
372	0.75	0.59
375	0.74	0.59
378	0.76	0.63
381	0.71	0.53
384	0.80	0.59
387	0.73	0.59
390	0.77	0.52
393	0.77	0.59
396	0.75	0.59
399	0.91	0.62
402	0.75	0.59
405	0.73	0.60
408	3.57	0.20
411	1.47	0.26
414	0.93	0.35
417	0.73	0.38
420	0.66	0.39
423	0.62	0.41
426	0.65	0.44
429	0.62	0.45
432	0.60	0.45
435	0.61	0.46
438	0.66	0.49
441	0.61	0.46
444	0.64	0.50
447	0.61	0.44
450	0.68	0.49
453	0.66	0.49
456	0.69	0.52

459	0.70	0.53
462	0.69	0.52
465	0.67	0.47
468	0.70	0.52
471	0.69	0.51
474	0.70	0.49
477	0.69	0.46
480	0.72	0.53
483	0.73	0.55
486	0.71	0.54
489	0.75	0.58
492	0.76	0.59
495	0.76	0.52
498	0.76	0.58
501	0.76	0.58
504	0.76	0.56
507	0.78	0.58
510	0.79	0.59
513	0.76	0.54
516	0.80	0.52
519	0.88	0.52
522	0.90	0.61
525	0.81	0.60
528	0.81	0.59
531	0.83	0.61
534	0.82	0.61
537	0.86	0.60
540	0.94	0.54
543	0.85	0.58
546	0.89	0.59
549	0.88	0.62
552	0.92	0.60
555	0.88	0.64
558	0.88	0.61
561	0.90	0.63
564	0.88	0.61
567	0.91	0.63
570	0.90	0.59
573	0.90	0.59

576	0.91	0.63
579	0.91	0.63
582	0.88	0.63
585	0.94	0.64
588	0.88	0.63
591	0.94	0.62
594	0.91	0.62
597	0.91	0.62
600	0.91	0.58
603	0.96	0.60
606	0.95	0.60
609	0.92	0.64
612	0.91	0.64
615	0.94	0.61
618	0.93	0.64
621	0.92	0.62
624	0.94	0.60
627	0.96	0.64
630	0.91	0.60
633	0.95	0.65
636	0.96	0.61
639	0.99	0.61
642	0.95	0.64
645	0.96	0.65
648	0.99	0.64
651	1.01	0.62
654	0.98	0.56
657	0.98	0.60
660	0.95	0.66
663	0.98	0.69
666	1.01	0.65
669	4.56	0.25
672	1.67	0.40
675	1.21	0.48
678	1.03	0.37
681	0.86	0.42
684	0.87	0.43
687	1.33	0.40
690	0.81	0.38

693	0.80	0.40
696	0.76	0.45
699	0.76	0.44
702	0.80	0.51
705	0.77	0.52
708	0.77	0.47
711	0.80	0.49
714	0.80	0.45
717	0.76	0.42
720	0.80	0.48
723	0.78	0.51
726	1.06	0.48
729	0.80	0.51
732	0.81	0.50
735	0.88	0.55
738	0.83	0.54
741	0.88	0.59
744	0.87	0.59
747	0.87	0.53
750	0.87	0.54
753	1.04	0.64
756	1.05	0.77
759	1.01	0.75
762	1.03	0.75
765	1.01	0.77
768	1.01	0.72
771	1.05	0.76
774	1.02	0.76
777	1.01	0.65
780	1.01	0.65
783	1.07	0.71

786	1.01	0.68
789	1.12	0.51
792	1.04	0.64
795	0.96	0.65
798	1.01	0.71
801	1.00	0.66
804	1.01	0.61
807	0.97	0.64
810	1.01	0.68
813	1.01	0.73
816	1.01	0.62
819	1.06	0.75
822	1.10	0.74
825	1.11	0.70
828	1.03	0.69
831	1.15	0.68
834	1.09	0.76
837	1.06	0.70
840	1.08	0.77
843	1.04	0.72
846	1.01	0.68
849	1.14	0.74
852	1.13	0.70
855	1.05	0.76
858	1.05	0.73
861	1.03	0.77
864	1.07	0.75
867	1.00	0.71
870	1.00	0.65
873	1.01	0.72

### Anexo 3: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 2

#### Cinética 2

tiempo (min)	absorbancia				Concentración final				Qe			
	Color	Cef	Binario		Colorante	Cef	Binario		Color	Cef	Binario	
			Cef	Color			Cef	Color			Cef	Color
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.38	0.02	0.08	0.09	0.03	2.68	4.29	9.50	6.38	7.32	5.71	0.50	3.63
5.09	0.02	0.07	0.08	0.03	2.47	3.54	8.35	6.17	7.53	6.46	1.65	3.83
15.51	0.02	0.05	0.07	0.03	2.15	2.20	7.63	5.75	7.85	7.80	2.38	4.25
30.54	0.02	0.01	0.05	0.02	1.94	-0.41	4.81	4.71	8.06	10.41	5.19	5.29
50.26	0.02	0.03	0.04	0.02	1.83	0.93	4.29	4.50	8.17	9.07	5.71	5.50
60.22	0.02	0.02	0.03	0.02	1.72	0.26	3.04	3.88	8.28	9.74	6.96	6.13
75.03	0.01	0.02	0.03	0.02	1.62	0.04	2.63	3.67	8.38	9.96	7.38	6.33
90.15	0.01	0.02	0.03	0.02	1.51	-0.19	3.25	3.67	8.49	10.19	6.75	6.33
101.00	0.01	0.01	0.02	0.01	1.40	-0.41	2.10	3.25	8.60	10.41	7.90	6.75
120.34	0.02	0.01	0.02	0.01	1.83	-0.63	1.69	3.25	8.17	10.63	8.31	6.75

Los gráficos se presentan en el apartado experimental, en la siguiente tabla se muestran los valores de los ajustes para los diferentes modelos cinéticos del MC 2

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.586$ Qe= 8.6 K= 0.0145 RMSE= 4.5045	$r^2 = 0.9016$ a= $1.2759 \times 10^{11}$ b= 3.7513 RMSE= 0.1222	$r^2 = 0.9987$ Qe= 8.418 K= 0.1721 RMSE= 0.568
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.5909$ Qe= 10.63 K= 0.0248 RMSE= 3.2315	$r^2 = 0.9032$ a= 95.6465 b= 0.8692 RMSE= 0.5225	$r^2 = 0.9958$ Qe= 10.7264 K= 0.226 RMSE= 1.0827
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = \text{-----}$ Qe= 6.75 K= $\text{-----}$ RMSE= $\text{-----}$	$r^2 = 0.9033$ a= 29.4598 b= 1.2909 RMSE= 0.3499	$r^2 = 0.9918$ Qe= 6.9891 K= 0.0198 RMSE= 0.8984
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.9014$ Qe= 8.31 K= 0.256 RMSE= 0.4614	$r^2 = 0.9285$ a= 1.0435 b=0.5441 RMSE= 0.7555	$r^2 = 0.9551$ Qe= 10.3162 K= 0.0028 RMSE= 0.4443

## Isoterma 2

co. Inicial	Absorbancia				Concentracion final				Qe			
	color	cef	Bin Lcef	Bin color	color	Cef	Bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
2	0.001	0	0	0.001	0.23	1.45	0.33	0.02	1.77	0.55	1.67	1.98
4	0.002	0	0	0.002	0.34	1.45	0.33	0.13	3.66	2.55	3.67	3.88
8	0.005	0.008	0.009	0.007	0.66	2.05	2.21	0.65	7.34	5.95	5.79	7.35
10	0.007	0.009	0.017	0.009	0.87	2.12	3.88	0.85	9.13	7.88	6.13	9.15
12	0.009	0.014	0.023	0.014	1.09	2.50	5.13	1.38	10.91	9.50	6.88	10.63
14	0.01	0.016	0.036	0.017	1.19	2.65	7.83	1.69	12.81	11.35	6.17	12.31
16	0.011	0.021	0.034	0.017	1.30	3.02	7.42	1.69	14.70	12.98	8.58	14.31
18	0.013	0.027	0.04	0.02	1.51	3.46	8.67	2.00	16.49	14.54	9.33	16.00
20	0.014	0.03	0.051	0.023	1.62	3.69	10.96	2.31	18.38	16.31	9.04	17.69

	Langmuir	Freundlich
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.5881$ $q_0=0.1492$ $b=0.0451$ RMSE=1.3681	$r^2= 0.8852$ $K_F=0.002$ $n=0.4033$ RMSE= 0.4425
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9994$ $q_0=20.5158$ $b=0.0262$ RMSE= 5.4919	$r^2= 0.994$ $K_F= 0.5463$ $n= 0.8752$ RMSE=0.2263
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9811$ $q_0=18.5471$ $b=0.513$ RMSE= 0.6093	$r^2= 0.9534$ $K_F= 1.1942$ $n= 1.434$ RMSE= 0.6077
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9462$ $q_0=16.6749$ $b= 0.1295$ RMSE= 2.7385	$r^2= 0.9763$ $K_F=1.7012$ $n= 1.3349$ RMSE= 0.8387

Curva de carga 2

Volumen	C/C0 cef	C/C0 color
3	.020	.02
6	0.12	0.01
9	0.08	0.01
12	0.08	0.02
15	0.08	0.03
18	0.10	0.02
21	0.10	0.03
24	0.18	0.03
27	0.10	0.03
30	0.05	0.03
33	0.05	0.02
36	0.03	0.05
39	0.08	0.03
42	0.05	0.03
45	0.20	0.02
48	0.12	0.03
51	0.12	0.03
54	0.12	0.02
57	0.05	0.03
60	0.05	0.03
63	0.16	0.02
66	0.24	0.03
69	0.20	0.03
72	0.18	0.03
75	0.24	0.03
78	0.18	0.03
81	0.14	0.03
84	0.28	0.03
87	0.22	0.04
90	0.08	0.04
93	0.24	0.04
96	0.12	0.04
99	0.05	0.04
102	0.03	0.04
105	0.08	0.03
108	0.03	0.04

111	0.20	0.04
114	0.14	0.04
117	0.08	0.03
120	0.08	0.05
123	0.08	0.04
126	0.05	0.04
129	0.08	0.05
132	0.10	0.03
135	0.10	0.04
138	0.10	0.04
141	0.12	0.03
144	0.10	0.04
147	0.10	0.04
150	0.10	0.04
153	0.03	0.06
156	0.05	0.03
159	0.08	0.04
162	0.10	0.04
165	0.08	0.03
168	0.10	0.03
171	0.12	0.03
174	0.10	0.03
177	0.10	0.04
180	0.05	0.04
186	0.08	0.03
192	0.10	0.04
198	0.03	0.04
204	0.08	0.04
210	0.08	0.03
216	0.12	0.04
222	0.08	0.03
228	0.05	0.03
234	0.10	0.04
240	0.12	0.04
246	0.08	0.04
252	0.08	0.04
258	0.10	0.04
264	0.12	0.03

270	0.14	0.03
276	0.05	0.09
282	0.05	0.09
288	0.05	0.11
294	0.03	0.11
300	0.22	0.14
306	0.03	0.10
312	0.10	0.13
318	0.03	0.12
324	0.30	0.25
330	0.26	0.24
336	0.28	0.26
342	0.30	0.26
348	0.30	0.24
354	0.33	0.26
360	0.33	0.27
366	0.35	0.26
372	0.33	0.25
378	0.28	0.25
384	0.33	0.27
390	0.30	0.26
396	0.28	0.26
402	0.22	0.18
408	0.24	0.19
414	0.45	0.22
420	0.47	0.22
426	0.39	0.23
432	0.51	0.24
438	0.58	0.27
444	0.45	0.24
450	0.45	0.25
456	0.37	0.23

462	0.60	0.24
468	0.55	0.41
474	0.66	0.24
480	0.45	0.24
486	0.64	0.25
492	0.35	0.23
498	0.39	0.23
504	0.66	0.26
510	0.72	0.25
516	0.58	0.25
522	0.45	0.24
528	0.76	0.25
534	0.60	0.26
540	0.47	0.22
546	0.43	0.24
552	0.37	0.23
558	0.41	0.22
564	0.37	0.23
570	0.37	0.23
576	0.37	0.23
582	0.43	0.25
588	0.37	0.26
594	0.41	0.23
600	0.37	0.25
606	0.35	0.22
612	0.30	0.21
618	0.33	0.22
624	0.33	0.22
630	0.30	0.21
636	0.30	0.22
642	0.30	0.22
678	0.43	0.24

## Anexo 4: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 3

### Cinética 3

Tiempo (min)	Co. inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
		color	Cef	Bin Cef	Bin color	Color	Cef	Bin color	Bin Cef	Color	Cef	Bin color	Bin cef
1.01	10	0.088	0.173	0.115	0.057	9.5	11.5	5.9	24.3	0.5	-1.4	4.1	-14.0
5.10	10	0.083	0.17	0.108	0.054	9.0	11.2	5.5	22.8	1.0	-1.2	4.4	-12.6
15.02	10	0.079	0.151	0.102	0.051	8.5	9.8	5.2	21.6	1.4	0.2	4.7	-11.4
30.02	10	0.077	0.153	0.088	0.046	8.3	10.0	4.7	18.7	1.6	0.0	5.2	-8.5
51.16	10	0.065	0.142	0.078	0.041	7.0	9.1	4.2	16.6	2.9	0.8	5.7	-6.5
60.01	10	0.07	0.14	0.073	0.039	7.6	9.0	4.0	15.5	2.4	1.0	5.9	-5.4
75.03	10	0.065	0.142	0.07	0.03	7.0	9.1	3.0	14.9	2.9	0.8	6.8	-4.8
90.49	10	0.065	0.133	0.064	0.035	7.0	8.5	3.6	13.7	2.9	1.5	6.3	-3.6
100.33	10	0.065	0.141	0.067	0.035	7.0	9.1	3.6	14.3	2.9	0.9	6.3	-4.2
121.13	10	0.063	0.124	0.066	0.034	6.8	7.8	3.5	14.1	3.1	2.2	6.4	-4.0

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.7829$ Qe= 3.11 K= 0.0258 RMSE= 0.4674	$r^2 = 0.9212$ a= 0.9613 b= 1.7199 RMSE= 0.2499	$r^2 = 0.9818$ Qe= 3.294 K= 0.026 RMSE= 0.2256
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.7905$ Qe= 2.16 K= 0.013 RMSE= 0.735	$r^2 = 0.8727$ a= 0.0461 b= 1.4678 RMSE= 0.7518	$r^2 = 0.0117$ Qe= -1.7428 K= 0.0021 RMSE= 0.7203
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.9881$ Qe= 6.82 K= 0.0166 RMSE= 2.409	$r^2 = 0.8544$ a= 331.2219 b= 1.7515 RMSE= 0.3443	$r^2 = 0.9935$ Qe= 6.6256 K= 0.0336 RMSE= 0.9933
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.9088$ Qe= 0 K= 0.0111 RMSE= 8.3473	$r^2 = 0.9156$ a= 0.0036 b= 0.4156 RMSE= 8.4611	$r^2 = 0.9612$ Qe= -3.79 K= 0.0271 RMSE= 7.0852

### Isoterma 3

co. Inicial	Absorbancia				concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	colorante	cef	bin cef	bin color
2	0.01	0.011	0.019	0.011	1.19	7.92	4.29	1.06	0.81	-5.92	-2.29	0.94

4	0.02	0.024	0.035	0.021	2.26	8.88	7.63	2.10	1.74	-4.88	-3.63	1.90
8	0.04	0.052	0.046	0.027	4.38	10.97	9.92	2.73	3.62	-2.97	-1.92	5.27
10	0.051	0.059	0.056	0.032	5.55	11.49	12.00	3.25	4.45	-1.49	-2.00	6.75
12	0.059	0.071	0.06	0.036	6.40	12.38	12.83	3.67	5.60	-0.38	-0.83	8.33
14	0.074	0.09	0.067	0.038	8.00	13.80	14.29	3.88	6.00	0.20	-0.29	10.13
16	0.081	0.095	0.076	0.043	8.74	14.17	16.17	4.40	7.26	1.83	-0.17	11.60
18	0.092	0.116	0.084	0.048	9.91	15.73	17.83	4.92	8.09	2.27	0.17	13.08
20	0.102	0.128	0.099	0.055	10.98	16.63	20.96	5.65	9.02	3.37	-0.96	14.35

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.8514$ $q_0= 0.478$ $b= 0.0824$ RMSE= 5.5768	$r^2= 0.88$ $K_F= 0.05553$ $n= 0.5521$ RMSE= 1.6035
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.054$ $q_0=0.654$ $b=-0.8146$ RMSE=1.3073	$r^2= -----$ $K_F=-----$ $n=-----$ RMSE=-----
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= -----$ $q_0= -----$ $b= -----$ RMSE= -----	$r^2= -----$ $K_F= -----$ $n= -----$ RMSE= -----
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9973$ $q_0=16.4184$ $b=0.027$ RMSE=5.2063	$r^2= 0.9966$ $K_F= 0.3898$ $n=0.8179$ RMSE=0.3534

### Curva de carga 3

tiempo	C/C0 Cef	C/C0 Color
0	0.26	0.05
3.87	0.26	0.05
7.74	0.24	0.05
11.61	0.22	0.05
15.48	0.39	0.05
19.35	0.24	0.05
23.22	0.20	0.05
27.09	0.28	0.06

30.96	0.22	0.06
34.83	0.26	0.08
38.7	0.16	0.06
42.57	0.14	0.08
46.44	0.10	0.06
50.31	0.10	0.08
54.18	0.14	0.08
58.05	0.26	0.08
61.92	0.28	0.09
65.79	0.22	0.09

69.66	0.12	0.09
73.53	0.14	0.08
77.4	1.62	0.08
81.27	0.47	0.09
85.14	0.24	0.10
89.01	0.14	0.12
92.88	0.22	0.10
96.75	0.20	0.09
100.62	0.10	0.09
104.49	0.18	0.11
108.36	0.18	0.14
112.23	0.39	0.17
116.1	1.10	0.18
119.97	0.18	0.16
123.84	0.26	0.18
127.71	2.16	0.24
131.58	0.35	0.21
135.45	0.41	0.23
139.32	0.37	0.23
143.19	0.37	0.24
147.06	0.35	0.22
150.93	0.30	0.22
154.8	0.39	0.22
158.67	0.30	0.21
162.54	0.51	0.23
166.41	0.37	0.24
170.28	0.53	0.23
174.15	0.26	0.20
178.02	0.28	0.21
181.89	0.33	0.20
185.76	1.66	0.22
189.63	0.28	0.22
193.5	0.33	0.23
197.37	0.37	0.24

205.11	0.35	0.24
208.98	0.78	0.24
212.85	0.35	0.24
216.72	0.33	0.21
220.59	0.35	0.24
224.46	0.39	0.24
228.33	0.43	0.25
232.2	0.37	0.25
236.07	0.35	0.25
239.94	0.37	0.25
243.81	0.39	0.26
247.68	1.64	0.31
251.55	0.45	0.27
255.42	0.41	0.26
259.29	0.37	0.24
263.16	0.41	0.25
267.03	0.58	0.24
270.9	0.43	0.26
274.77	0.37	0.24
278.64	0.53	0.25
282.51	0.43	0.24
286.38	0.58	0.26
290.25	0.45	0.26
294.12	0.51	0.25
297.99	0.47	0.27
301.86	0.37	0.22
305.73	0.41	0.26
309.6	0.43	0.26
313.47	0.37	0.24
317.34	0.37	0.25
321.21	0.43	0.26
325.08	0.45	0.26
328.95	0.45	0.27
332.82	0.47	0.26

## Anexo 5: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 4

### Cinética 4

tiempo	Lectura				Concentración				Qe			
	color	Cef	binario		Color	Cef	Co. binario		Color	Cef	binario	
			color	Cef			Color	Cef			Color	Cef
1.04	0.032	0.102	0.059	0.119	3.53	6.16	6.06	25.13	6.47	3.84	3.94	-15.13
5.29	0.032	0.087	0.056	0.108	3.53	5.04	5.75	22.83	6.47	4.96	4.25	-12.83
15.09	0.031	0.084	0.056	0.106	3.43	4.81	5.75	22.42	6.57	5.19	4.25	-12.42
31.23	0.027	0.064	0.051	0.086	3.00	3.32	5.23	18.25	7.00	6.68	4.77	-8.25
50.35	0.031	0.056	0.052	0.082	3.43	2.72	5.33	17.42	6.57	7.28	4.67	-7.42
60.19	0.027	0.048	0.05	0.078	3.00	2.13	5.13	16.58	7.00	7.87	4.88	-6.58
75.03	0.025	0.043	0.046	0.066	2.79	1.75	4.71	14.08	7.21	8.25	5.29	-4.08
90.22	0.024	0.035	0.042	0.052	2.68	1.16	4.29	11.17	7.32	8.84	5.71	-1.17
100.49	0.004	0.005	0.04	0.046	0.55	-1.08	4.08	9.92	9.45	11.08	5.92	0.08
122.02	0.022	0.022	0.038	0.045	2.47	0.19	3.88	9.71	7.53	9.81	6.13	0.29

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.8616$ Qe= 9.45 K= 0.0037 RMSE= 5.5739	$r^2 = 0.3287$ a= $2.329 \times 10^7$ b= 2.9995 RMSE= 0.6908	$r^2 = 0.968$ Qe= 8.0273 K= 0.0315 RMSE= 1.7616
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.9872$ Qe= 11.08 K= 0.0133 RMSE= 2.6117	$r^2 = 0.8125$ a= 10.9305 b= 0.7467 RMSE= 0.9206	$r^2 = 0.9534$ Qe= 10.5672 K= 0.0074 RMSE= 1.3962
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.8255$ Qe= 6.13 K= 0.0193 RMSE= 2.0468	$r^2 = 0.7282$ a= 1879.3616 b= 2.3717 RMSE= 0.3735	$r^2 = 0.9815$ Qe= 6.1265 K= 0.0229 RMSE= 1.1764
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.8979$ Qe= 1.17 K= 0.0242 RMSE= 8.8944	$r^2 = 0.793$ a= 0.0166 b= 0.2936 RMSE= 8.8595	$r^2 = 0.3318$ Qe= 0.1801 K= -0.2293 RMSE= 0.3318

### Isoterma 4

Co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	Bin cef	Bin color	color	cef	Bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color

2	0.001	0.003	0.002	0.004	0.23	1.68	0.75	0.33	1.77	0.32	1.25	1.67
4	0.005	0.008	0.011	0.01	0.66	2.05	2.63	0.96	3.34	1.95	1.38	3.04
8	0.01	0.022	0.03	0.021	1.19	3.09	6.58	2.10	6.81	4.91	1.42	5.90
10	0.013	0.034	0.023	0.019	1.51	3.99	5.13	1.90	8.49	6.01	4.88	8.10
12	0.018	0.035	0.053	0.034	2.04	4.06	11.38	3.46	9.96	7.94	0.63	8.54
14	0.019	0.046	0.061	0.039	2.15	4.88	13.04	3.98	11.85	9.12	0.96	10.02
16	0.021	0.048	0.058	0.039	2.36	5.03	12.42	3.98	13.64	10.97	3.58	12.02
18	0.026	0.06	0.076	0.05	2.89	5.92	16.17	5.13	15.11	12.08	1.83	12.88
20	0.027	0.067	0.093	0.056	3.00	6.44	19.71	5.75	17.00	13.56	0.29	14.25

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	r <sup>2</sup> = 0.9948 q <sub>0</sub> =712.2258 b=0.0012 RMSE=0.7104	r <sup>2</sup> = 0.9856 K <sub>F</sub> = 0.9219 n= 1.027 RMSE=0.6787
<b>Cefuroxima</b>	r <sup>2</sup> = 0.9157 q <sub>0</sub> = 2.2986 b= 0.0672 RMSE=7.5969	r <sup>2</sup> = 0.9665 K <sub>F</sub> = 0.1593 n= 0.6484 RMSE= 1.1434
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	r <sup>2</sup> = 0.0205 q <sub>0</sub> =0.8848 b= -2.4339 RMSE=1.6523	r <sup>2</sup> = 0.0072 K <sub>F</sub> = 1.577 n= -13.2142 RMSE= 1.4859
<b>Sol. Bin Colorante</b>	r <sup>2</sup> = 0.9272 q <sub>0</sub> = 13.1634 b=0.1387 RMSE= 2.2999	r <sup>2</sup> = 0.9681 K <sub>F</sub> = 1.4101 n=1.344 RMSE= 0.7031

#### Curva de carga 4

volumen	C/C0 cef	C/C0 color
3	0.27	0.10
6	0.26	0.12
9	0.27	0.11
12	0.24	0.12
15	0.36	0.13
18	0.27	0.13
21	0.26	0.12

24	0.36	0.15
27	0.37	0.14
30	0.56	0.15
33	0.26	0.13
36	0.36	0.14
39	0.26	0.13
42	0.25	0.13
45	0.26	0.14
48	0.27	0.15

51	0.26	0.14
54	0.25	0.15
57	0.25	0.15
60	0.26	0.16
63	0.27	0.15
66	0.31	0.13
69	0.25	0.14
72	0.33	0.14
75	0.42	0.14
78	0.42	0.13
81	0.39	0.14
84	0.37	0.15
87	0.35	0.15
90	0.36	0.13
93	0.38	0.13
96	0.40	0.13
99	0.40	0.13
102	0.46	0.14
105	0.43	0.16
108	0.49	0.15
111	0.51	0.15
114	0.53	0.15
117	0.51	0.15
120	0.52	0.16
123	0.51	0.17
126	0.52	0.16
129	0.54	0.17
132	0.58	0.16
135	0.61	0.18
138	0.60	0.17
141	0.58	0.16
144	0.56	0.17
147	0.58	0.16
150	0.60	0.17
153	0.58	0.16

156	0.59	0.16
159	0.59	0.16
162	0.64	0.18
165	0.70	0.18
168	0.70	0.19
171	0.67	0.19
174	0.73	0.19
177	0.74	0.17
180	0.70	0.21
183	0.70	0.18
186	0.69	0.23
189	0.76	0.26
192	0.79	0.41
195	0.87	0.27
198	0.87	0.28
201	0.80	0.26
204	0.84	0.27
207	0.82	0.28
210	0.83	0.28
213	0.83	0.27
216	0.88	0.28
219	0.92	0.24
222	0.91	0.26
225	1.02	0.26
228	0.90	0.34
231	0.85	0.27
234	0.86	0.21
237	0.89	0.20
240	0.92	0.27
243	0.90	0.27
246	0.91	0.26
249	0.92	0.27
252	0.90	0.28
255	0.89	0.28
258	0.92	0.30

## Anexo 6: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 5

### Cinética 5

tiempo	Absorbancia				concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	Cefuroxima	bin cef	bin color
1.43	0.052	0.024	0.035	0.051	5.7	3.2	7.6	4.5	4.34	6.76	2.38	5.52
5.17	0.053	0.024	0.034	0.047	5.8	3.2	7.4	4.1	4.23	6.76	2.58	5.94
15.34	0.049	0.023	0.032	0.044	5.3	3.2	7.0	3.8	4.66	6.83	3.00	6.25
31.50	0.044	0.021	0.032	0.043	4.8	3.0	7.0	3.6	5.19	6.98	3.00	6.35
50.28	0.04	0.021	0.029	0.037	4.4	3.0	6.4	3.0	5.62	6.98	3.63	6.98
75.13	0.04	0.02	0.028	0.033	4.4	2.9	6.2	2.6	5.62	7.06	3.83	7.40
90.25	0.038	0.018	0.028	0.033	4.2	2.8	6.2	2.6	5.83	7.21	3.83	7.40
103.19	0.037	0.019	0.027	0.03	4.1	2.9	6.0	2.3	5.94	7.13	4.04	7.71
120.07	0.034	0.018	0.027	0.02	3.7	2.8	6.0	1.3	6.26	7.21	4.04	8.75

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.9653$ Qe= 6.26 K= 0.0175 RMSE= 2.462	$r^2 = 0.8808$ a= 1921.35 b= 2.2131 RMSE= 0.2388	$r^2 = 0.9959$ Qe= 6.2044 K= 0.0396 RMSE= 0.9619
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = ----$ Qe= 7.21 K= ---- RMSE= ----	$r^2 = 0.8441$ a= ---- b= 9.3275 RMSE= 0.0662	$r^2 = 0.9998$ Qe= 7.2093 K= 0.1866 RMSE= 0.692
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = ----$ Qe= 4.04 K= ---- RMSE= ----	$r^2 = 0.9155$ a= 61.1442 b= 2.492 RMSE= 0.1749	$r^2 = 0.9944$ Qe= 4.1526 K= 0.0437 RMSE= 0.5748
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.9754$ Qe= 8.75 K= 0.0102 RMSE= 3.8601	$r^2 = 0.7897$ a= 2615.43 b= 1.7006 RMSE= 0.4359	$r^2 = 0.984$ Qe= 8.3259 K= 0.0214 RMSE= 1.4995

### Isoterma 5

Co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	color
2	0.010	0.011	0.003	0.005	1.19	2.27	0.96	0.44	0.81	-0.27	1.04	1.56
4	0.020	0.011	0.006	0.009	2.26	2.27	1.58	0.85	1.74	1.73	2.42	3.15
8	0.040	0.020	0.012	0.018	4.38	2.94	2.83	1.79	3.62	5.06	5.17	6.21

10	0.051	0.028	0.016	0.024	5.55	3.54	3.67	2.42	4.45	6.46	6.33	7.58
12	0.059	0.042	0.019	0.029	6.40	4.58	4.29	2.94	5.60	7.42	7.71	9.06
14	0.072	0.048	0.023	0.034	7.79	5.03	5.13	3.46	6.21	8.97	8.88	10.54
16	0.083	0.048	0.026	0.037	8.96	5.03	5.75	3.77	7.04	10.97	10.25	12.23
18	0.090	0.052	0.029	0.043	9.70	5.33	6.38	4.40	8.30	12.67	11.63	13.60
20	0.100	0.060	0.035	0.048	10.77	5.92	7.63	4.92	9.23	14.08	12.38	15.08

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.9611$ $q_0= 9.8395$ $b= 0.0868$ $RMSE= 1.4057$	$r^2= 0.9797$ $K_F= 0.6943$ $n= 1.2035$ $RMSE= 0.4135$
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.0044$ $q_0=6.8275$ $b= 1.9305$ $RMSE= 4.3043$	$r^2= 0.9922$ $K_F=0.3986$ $n= 0.8401$ $RMSE= 0.3888$
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9956$ $q_0= 30.6436$ $b= 0.0168$ $RMSE= 2.9628$	$r^2= 0.9978$ $K_F= 0.5233$ $n= 0.9302$ $RMSE= 0.2701$
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9999$ $q_0= 349.5063$ $b=0.0022$ $RMSE= 0.0771$	$r^2= 0.9998$ $K_F= 0.7975$ $n= 1.019$ $RMSE= 0.0644$

### Curva de carga 5

volumen	C/C0 cef	C/C0 color
3	0.30	0.19
6	0.38	0.17
9	0.42	0.17
12	0.38	0.19
15	0.41	0.21
18	0.38	0.17
21	0.38	0.15
24	0.41	0.17
27	0.42	0.17
30	0.43	0.15

33	0.45	0.13
36	0.53	0.17
39	0.49	0.17
42	0.49	0.17
45	0.55	0.19
48	0.53	0.19
51	0.54	0.17
54	0.52	0.17
57	0.54	0.19
60	0.56	0.19
63	0.58	0.21
66	0.59	0.23

69	0.60	0.28
72	0.61	0.28
75	0.65	0.23
78	0.63	0.23
81	0.68	0.28
84	0.64	0.28
87	0.65	0.23
90	0.68	0.30
93	0.70	0.32
96	0.70	0.30
99	0.70	0.30
102	0.72	0.34
105	0.72	0.34
108	0.73	0.34
111	0.74	0.36
114	0.75	0.36
117	0.75	0.38
120	0.75	0.34
123	0.76	0.34
126	0.78	0.38
129	0.78	0.40
132	0.78	0.38
135	0.78	0.38
138	0.80	0.44
141	0.81	0.44
144	0.81	0.36
147	0.79	0.40
150	0.79	0.38
153	0.84	0.34
156	0.79	0.38
159	0.79	0.42
162	0.80	0.42
165	0.81	0.44

168	0.83	0.44
171	0.84	0.42
174	0.83	0.46
177	0.83	0.44
180	0.83	0.46
183	0.83	0.48
186	0.84	0.50
189	0.85	0.50
192	0.88	0.57
195	0.85	0.44
201	0.86	0.46
207	0.86	0.46
213	0.87	0.50
219	0.89	0.44
225	0.85	0.44
231	0.86	0.48
237	0.88	0.48
243	0.88	0.48
249	0.90	0.53
255	0.86	0.50
261	0.89	0.50
267	0.91	0.48
273	0.93	0.48
279	0.93	0.53
285	0.91	0.53
291	0.91	0.50
297	0.93	0.50
303	0.91	0.50
309	0.94	0.53
315	0.94	0.55
321	0.95	0.57
327	0.96	0.57

## Anexo 7: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 6

### Cinética 6

tiempo	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
1.14	0.032	0.079	0.112	0.053	3.53	7.34	23.67	5.44	6.47	2.66	-3.67	4.56
5.11	0.029	0.074	0.116	0.052	3.21	6.96	24.50	5.33	6.79	3.04	-4.50	4.67
15.17	0.026	0.069	0.101	0.048	2.89	6.59	21.38	4.92	7.11	3.41	-1.38	5.08
30.09	0.023	0.063	0.091	0.044	2.57	6.15	19.29	4.50	7.43	3.85	0.71	5.50
50.50	0.02	0.062	0.079	0.036	2.26	6.07	16.79	3.67	7.74	3.93	3.21	6.33
75.40	0.015	0.062	0.084	0.037	1.72	6.07	17.83	3.77	8.28	3.93	2.17	6.23
90.13	0.014	0.051	0.073	0.03	1.62	5.25	15.54	3.04	8.38	4.75	4.46	6.96
100.02	0.015	0.051	0.078	0.033	1.72	5.25	16.58	3.35	8.28	4.75	3.42	6.65
120.44	0.012	0.044	0.063	0.026	1.40	4.73	13.46	2.63	8.60	5.27	6.54	7.38

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.949$ $Q_e = 8.6$ $K = 0.0221$ RMSE= 3.5422	$r^2 = 0.9156$ $a = 248620.19$ $b = 2.156$ RMSE= 0.21	$r^2 = 0.9981$ $Q_e = 8.6124$ $K = 0.0415$ RMSE= 1.4041
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.8674$ $Q_e = 5.27$ $K = 0.0145$ RMSE= 1.7316	$r^2 = 0.8352$ $a = 53.179$ $b = 2.0273$ RMSE= 0.326	$r^2 = 0.9704$ $Q_e = 5.1055$ $K = 0.0252$ RMSE= 0.8209
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.8502$ $Q_e = 6.54$ $K = 0.0143$ RMSE= 2.5697	$r^2 = 0.8321$ $a = 0.131$ $b = 0.4605$ RMSE= 2.5821	$r^2 = 0.0141$ $Q_e = -2.7015$ $K = 0.0017$ RMSE= 2.5737
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.8736$ $Q_e = 7.38$ $K = 0.0163$ RMSE= 2.6683	$r^2 = 0.8381$ $a = 482.4349$ $b = 1.6938$ RMSE= 0.3864	$r^2 = 0.9891$ $Q_e = 7.2578$ $K = 0.0246$ RMSE= 1.2287

### Isoterma 6

co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	color	color	cef	bin cef	bin color
2	0.008	0.006	0.014	0.004	0.98	1.90	3.25	0.33	1.02	0.10	0.98	1.67
3	0.018	0.012	0.02	0.008	2.04	2.35	4.50	0.75	0.96	0.65	2.04	2.25

8	0.039	0.031	0.083	0.018	4.28	3.76	17.63	1.79	3.72	4.24	4.28	6.21
10	0.048	0.036	0.087	0.024	5.23	4.14	18.46	2.42	4.77	5.86	5.23	7.58
12	0.058	0.043	0.09	0.028	6.30	4.66	19.08	2.83	5.70	7.34	6.30	9.17
14	0.068	0.049	0.092	0.034	7.36	5.10	19.50	3.46	6.64	8.90	7.36	10.54
16	0.079	0.055	0.096	0.04	8.53	5.55	20.33	4.08	7.47	10.45	8.53	11.92
18	0.088	0.061	0.099	0.044	9.49	6.00	20.96	4.50	8.51	12.00	9.49	13.50
20	0.096	0.068	0.098	0.047	10.34	6.52	20.75	4.81	9.66	13.48	10.34	15.19

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	r <sup>2</sup> = 0.7851 q <sub>0</sub> = 38.53 b= 0.0114 RMSE= 1.3579	r <sup>2</sup> = 0.9375 K <sub>F</sub> = 0.3505 n= 0.906 RMSE= 0.2935
<b>Cefuroxima</b>	r <sup>2</sup> = 0.9154 q <sub>0</sub> = 0.5936 b= 0.0792 RMSE= 8.0367	r <sup>2</sup> = 0.9714 K <sub>F</sub> = 0.032 n= 0.47 RMSE= 2.216
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	r <sup>2</sup> = 0.9996 q <sub>0</sub> = 77.0806 b= 0.0063 RMSE= 1.0733	r <sup>2</sup> = 0.9995 K <sub>F</sub> = 0.4891 n= 0.973 RMSE=0.1109
<b>Sol. Bin Colorante</b>	r <sup>2</sup> = 0.945 q <sub>0</sub> = 72.5512 b= 0.0109 RMSE= 1.1102	r <sup>2</sup> = 0.981 K <sub>F</sub> = 0.7103 n= 0.9815 RMSE= 0.2799

### Curva de carga 6

volumen	C/C0 cef	C/C0 color
3	0.16	0.15
6	0.20	0.19
9	0.22	0.21
12	0.24	0.22
15	0.26	0.21
18	0.26	0.19
21	0.26	0.21
24	0.30	0.24
27	0.33	0.26

30	0.33	0.24
33	0.33	0.24
36	0.37	0.31
39	0.35	0.22
42	0.35	0.24
45	0.35	0.25
48	0.39	0.29
51	0.41	0.26
54	0.41	0.26
57	0.43	0.28
60	0.43	0.29

63	0.43	0.27
66	0.43	0.28
69	0.45	0.29
72	0.47	0.28
75	0.47	0.27
78	0.47	0.26
81	0.49	0.27
84	0.47	0.25
87	0.47	0.25
90	0.47	0.26
93	0.47	0.27
96	0.47	0.31
99	0.47	0.29
102	0.49	0.30
105	0.51	0.30
108	0.51	0.30
111	0.53	0.33
114	0.53	0.30
117	0.53	0.35
120	0.53	0.34

123	0.55	0.37
126	0.58	0.36
129	0.58	0.37
132	0.58	0.34
135	0.55	0.35
138	0.55	0.36
141	0.55	0.34
144	0.58	0.35
147	0.58	0.34
150	0.58	0.33
153	0.55	0.34
156	0.58	0.34
159	0.58	0.35
162	0.58	0.34
165	0.60	0.34
168	0.60	0.36
171	0.62	0.40
174	0.64	0.39
177	0.64	0.40

## Anexo 8 Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 7

### Cinética 7

Tiempo (min)	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	Color	Cef	Bin color	Bin Cef	Color	Cef	Bin Color	Bin Cef	color	cef	Bin color	Bin cef
1.0339	0.083	0.164	0.054	0.108	8.96	10.7	5.54	22.83	1.04	-0.78	4.45	-2.83
5.0716	0.079	0.133	0.05	0.097	8.53	8.47	5.13	20.54	1.47	1.53	4.87	-0.54
15.0458	0.078	0.126	0.066	0.109	8.43	7.95	6.79	23.04	1.57	2.05	3.20	-3.04
30.0708	0.071	0.11	0.046	0.081	7.68	6.75	4.71	17.21	2.31	3.24	5.28	2.79
45.0163	0.084	0.097	0.04	0.075	9.06	5.78	4.08	15.96	0.93	4.21	5.90	4.03
50.0825	0.07	0.116	0.069	0.039	7.57	7.20	7.10	8.46	2.42	2.79	2.89	11.52
55.051	0.069	0.104	0.037	0.064	7.47	6.31	3.77	13.67	2.53	3.69	6.22	6.32
75.0074	0.062	0.092	0.032	0.054	6.72	5.41	3.25	11.58	3.27	4.58	6.74	8.40
90.1145	0.064	0.081	0.032	0.057	6.94	4.59	3.25	12.21	3.06	5.40	6.74	7.78
123.3766	0.065	0.076	0.042	0.027	7.04	4.22	4.29	5.96	2.95	5.77	5.70	14.01

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.608$ $Q_e = 3.27$ $K = 0.0124$ RMSE= 0.9513	$r^2 = 0.4704$ $a = 3.7416$ $b = 2.7458$ RMSE= 0.5424	$r^2 = 0.6245$ $Q_e = 2.9143$ $K = 0.0202$ RMSE= 0.6562
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.8437$ $Q_e = 5.77$ $K = 0.0252$ RMSE= 0.6462	$r^2 = 0.9136$ $a = 0.5992$ $b = 0.7896$ RMSE= 0.6871	$r^2 = 0.8214$ $Q_e = 6.0491$ $K = 0.0077$ RMSE= 0.6865
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = ?$ $Q_e = 6.74$ $K = ?$ RMSE= ?	$r^2 = 0.197$ $a = 5393.0077$ $b = 2.4635$ RMSE= 1.1524	$r^2 = 0.8091$ $Q_e = 6.3171$ $K = 0.0178$ RMSE= 1.7643
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.5042$ $Q_e = 4.03$ $K = 0.0144$ RMSE= 8.299	$r^2 = 0.6816$ $a = 0.0244$ $b = 0.3074$ RMSE= 7.8544	$r^2 = 0.0034$ $Q_e = -26.1099$ $K = -0.0004$ RMSE= 10.3451

### Isoterma 7

co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
2	0.013	0.007	0	0.003	1.51	1.98	0.33	0.23	0.49	0.02	1.67	1.77
4	0.016	0.017	0.008	0.008	1.83	2.72	2.00	0.75	2.17	1.28	2.00	3.25

8	0.036	0.046	0.019	0.018	3.96	4.88	4.29	1.79	4.04	3.12	3.71	6.21
10	0.046	0.056	0.034	0.023	5.02	5.62	7.42	2.31	4.98	4.38	2.58	7.69
12	0.056	0.073	0.044	0.028	6.09	6.89	9.50	2.83	5.91	5.11	2.50	9.17
14	0.068	0.088	0.05	0.03	7.36	8.01	10.75	3.04	6.64	5.99	3.25	10.96
16	0.075	0.099	0.056	0.035	8.11	8.83	12.00	3.56	7.89	7.17	4.00	12.44
18	0.084	0.112	0.07	0.041	9.06	9.79	14.92	4.19	8.94	8.21	3.08	13.81
20	0.093	0.133	0.078	0.045	10.02	11.36	16.58	4.60	9.98	8.64	3.42	15.40

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.9367$ $q_0= 5.1881$ $b= 0.0468$ RMSE= 4.5734	$r^2= 0.9653$ $K_F= 0.2845$ $n= 0.8228$ RMSE= 0.4912
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.8349$ $q_0= 0.11$ $b= 0.0881$ RMSE= 5.5845	$r^2= 0.8573$ $K_F= 0.0138$ $n= 0.4291$ RMSE= 2.529
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.7827$ $q_0= 3.7086$ $b= 0.3872$ RMSE= 0.4759	$r^2= 0.6872$ $K_F=1.3792$ $n= 3.1597$ RMSE= 0.4826
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9982$ $q_0= 66.7891$ $b= 0.0134$ RMSE= 0.5716	$r^2= 0.9992$ $K_F= 0.8931$ $n= 1.0585$ RMSE=0.1599

### Curva de Carga 7

Volumen	C/C0 Cef	C/C0 color
3	0.11	0.10
12	0.16	0.12
15	0.07	0.10
18	0.08	0.10
21	0.12	0.10
24	0.09	0.12
27	0.13	0.12
30	0.17	0.12
36	0.17	0.14

39	0.18	0.14
42	0.16	0.14
45	0.15	0.12
48	0.13	0.12
51	0.16	0.12
54	0.11	0.10
57	0.21	0.35
60	0.24	0.26
63	0.32	0.41
66	0.32	0.43
69	0.37	0.49

72	0.33	0.47
75	0.32	0.45
78	0.34	0.49
81	0.33	0.47
84	0.33	0.45
87	0.34	0.51
90	0.34	0.49
93	0.34	0.49
96	0.39	0.49
99	0.37	0.53
102	0.35	0.49
105	0.35	0.45
108	0.34	0.47
111	0.35	0.51
114	0.37	0.41
117	0.42	0.55
120	0.41	0.51
123	0.61	0.51
126	0.43	0.49
129	0.39	0.51
132	0.39	0.51
135	0.39	0.58
138	0.52	0.49
141	0.55	0.58
144	0.38	0.47
147	0.43	0.49
150	0.45	0.51
153	0.48	0.53
156	0.45	0.53
159	0.73	0.60
162	0.64	0.53
165	0.42	0.53
168	0.37	0.53
171	0.42	0.58
174	0.39	0.51
177	0.43	0.45
180	0.38	0.47
183	0.38	0.47
186	0.38	0.49

189	0.52	0.58
192	0.47	0.55
195	0.42	0.53
198	0.41	0.53
201	0.43	0.47
204	0.47	0.55
207	0.46	0.55
210	0.48	0.62
213	0.45	0.60
216	0.45	0.58
219	0.41	0.49
222	0.52	0.58
225	0.48	0.60
228	0.51	0.60
231	0.51	0.66
234	0.52	0.66
237	0.55	0.66
240	0.73	0.66
243	0.71	0.60
246	0.48	0.62
249	0.65	0.49
252	0.64	0.60
255	0.48	0.60
258	0.64	0.62
261	0.56	0.60
264	0.51	0.62
267	0.52	0.62
270	0.48	0.60
273	0.52	0.64
276	0.59	0.68
279	0.50	0.58
282	0.51	0.58
285	0.51	0.60
288	0.51	0.62
291	0.47	0.51
294	0.58	0.55
297	0.48	0.58
300	0.46	0.51
303	0.54	0.60

306	0.46	0.51
309	0.50	0.53
312	0.47	0.53
315	0.54	0.55
318	0.47	0.60
321	0.51	0.64
324	0.47	0.55
327	0.56	0.55
330	0.47	0.49
333	0.55	0.47
336	0.51	0.47
339	0.55	0.49
342	0.50	0.58
345	0.46	0.45

348	0.51	0.49
351	0.54	0.53
354	0.50	0.55
357	0.51	0.60
360	0.72	0.58
363	0.54	0.66
366	0.64	0.70
369	0.58	0.51
372	0.60	0.60
375	0.50	0.58
378	0.51	0.51
381	0.52	0.51
384	0.50	0.58
387	0.59	0.60

## Anexo 9: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 8

### Cinética 8

tiempo	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
1.2007	0.054	0.026	0.035	0.049	5.87	3.39	7.63	5.02	4.13	6.61	2.38	4.98
5.2564	0.054	0.024	0.033	0.047	5.87	3.24	7.21	4.81	4.13	6.76	2.79	5.19
15.2503	0.047	0.022	0.031	0.044	5.13	3.09	6.79	4.50	4.87	6.91	3.21	5.50
30.3544	0.044	0.021	0.029	0.041	4.81	3.02	6.38	4.19	5.19	6.98	3.63	5.81
50.7524	0.043	0.019	0.026	0.033	4.70	2.87	5.75	3.35	5.30	7.13	4.25	6.65
75.9528	0.036	0.016	0.025	0.033	3.96	2.65	5.54	3.35	6.04	7.35	4.46	6.65
90.0904	0.03	0.012	0.024	0.033	3.32	2.35	5.33	3.35	6.68	7.65	4.67	6.65
100.5601	0.028	0.01	0.023	0.032	3.11	2.20	5.13	3.25	6.89	7.80	4.88	6.75
120.0623	0.026	0.009	0.022	0.03	2.89	2.12	4.92	3.04	7.11	7.88	5.08	6.96

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.8747$ Qe= 7.11 K= 0.0228 RMSE= 2.0555	$r^2 = 0.8137$ a= 114.3581 b= 1.5205 RMSE= 0.464	$r^2 = 0.9821$ Qe= 7.1987 K= 0.018 RMSE= 1.2077
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.813$ Qe= 7.88 K= 0.022 RMSE= 3.554	$r^2 = 0.7861$ a= 8406985059 b= 3.8086 RMSE= 0.2021	$r^2 = 0.9977$ Qe= 7.8745 K= 0.0536 RMSE= 1.4107
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.91$ Qe= 6.96 K= 0.0229 RMSE= 2.6855	$r^2 = 0.9005$ a= 10050.65 b= 2.1773 RMSE= 0.2252	$r^2 = 0.9981$ Qe= 6.9837 K= 0.0473 RMSE= 1.0557
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.966$ Qe= 5.08 K= 0.023 RMSE= 1.2888	$r^2 = 0.9338$ a= 15.2092 b= 1.6765 RMSE= 0.232	$r^2 = 0.9906$ Qe= 5.165 K= 0.0255 RMSE= 0.6466

### Isoterma 8

Co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
2	0.013	0	0	0.014	1.51	1.45	0.33	1.38	0.49	0.00	1.67	0.63
4	0.018	0.001	0.0028	0.018	2.04	1.51	0.92	1.79	1.96	2.49	3.08	2.21
8	0.027	0.007	0.009	0.034	3.00	2.01	2.21	3.46	5.00	5.99	5.79	4.54
10	0.031	0.008	0.0094	0.034	3.43	2.08	2.29	3.46	6.57	7.92	7.71	6.54

12	0.035	0.012	0.0134	0.039	3.85	2.34	3.13	3.98	8.15	9.66	8.88	8.02
14	0.04	0.015	0.014	0.043	4.38	2.59	3.25	4.40	9.62	11.41	10.75	9.60
16	0.044	0.017	0.0161	0.048	4.81	2.73	3.69	4.92	11.19	13.27	12.31	11.08
18	0.05	0.021	0.0179	0.052	5.45	3.03	4.06	5.33	12.55	14.97	13.94	12.67
20	0.05	0.021	0.0203	0.058	5.45	3.03	4.56	5.96	14.55	16.97	15.44	14.04

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.9532$ $q_0= 4.183$ $b= 0.0562$ RMSE= 7.3725	$r^2= 0.9863$ $K_F= 0.226$ $n= 0.7024$ RMSE= 0.7664
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.0006$ $q_0=8.4856$ $b= 5.9104$ RMSE= 5.2762	$r^2= 0.9986$ $K_F= 0.4467$ $n= 0.8144$ RMSE= 0.4917
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9981$ $q_0= 71.8018$ $b= 0.0118$ RMSE=0.4216	$r^2= 0.9976$ $K_F= 0.8507$ $n= 1.0576$ RMSE= 0.3383
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9656$ $q_0= 6.5638$ $b=0.0465$ RMSE= 6.5895	$r^2= 0.9909$ $K_F= 0.2962$ $n= 0.7609$ RMSE= 0.4807

### Curva de carga 8

Volumen	C/C0 cef	C/C0 color
6	0.15	0.15
12	0.15	0.13
18	0.15	0.11
24	0.19	0.15
30	0.21	0.17
36	0.25	0.17
42	0.26	0.17
48	0.30	0.19
54	0.29	0.19
60	0.31	0.17
66	0.32	0.17

72	0.38	0.23
78	0.35	0.23
84	0.39	0.25
90	0.39	0.28
96	0.40	0.25
102	0.41	0.28
108	0.43	0.30
114	0.43	0.28
120	0.43	0.28
126	0.53	0.32
132	0.47	0.28
138	0.48	0.28
144	0.51	0.32

150	0.49	0.32
156	0.50	0.32
162	0.53	0.32
168	0.51	0.30
174	0.53	0.30
180	0.52	0.28

186	0.63	0.57
192	0.67	0.65
198	0.71	0.67
204	0.71	0.67
210	0.70	0.65

## Anexo 10: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 9

### Cinética 9

Tiempo	Absorbancia				concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
1.1039	0.045	0.032	0.024	0.047	4.91	3.84	5.33	4.81	5.09	6.16	4.67	5.19
5.2614	0.044	0.031	0.026	0.051	4.81	3.76	5.75	5.23	5.19	6.24	4.25	4.77
15.0255	0.039	0.028	0.021	0.04	4.28	3.54	4.71	4.08	5.72	6.46	5.29	5.92
30.218	0.034	0.025	0.02	0.038	3.74	3.32	4.50	3.88	6.26	6.68	5.50	6.13
50.1381	0.032	0.025	0.018	0.033	3.53	3.32	4.08	3.35	6.47	6.68	5.92	6.65
76.0839	0.026	0.025	0.017	0.028	2.89	3.32	3.88	2.83	7.11	6.68	6.13	7.17
90.072	0.028	0.026	0.017	0.027	3.11	3.39	3.88	2.73	6.89	6.61	6.13	7.27
100.162	0.026	0.022	0.016	0.026	2.89	3.09	3.67	2.63	7.11	6.91	6.33	7.38
120.128	0.027	0.022	0.016	0.029	3.00	3.09	3.67	2.94	7.00	6.91	6.33	7.06

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = \text{-----}$ Qe= 7.11 K= ----- RMSE= -----	$r^2 = 0.9131$ a= 763.2697 b= 2.0576 RMSE= 0.2243	$r^2 = 0.9983$ Qe= 7.18 K= 0.0505 RMSE= 1.0485
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = \text{-----}$ Qe= 6.91 K= ----- RMSE= -----	$r^2 = 0.8659$ a= $1.9 \times 10^{16}$ b= 6.4825 RMSE= 0.0908	$r^2 = 0.9991$ Qe= 6.8677 K= 0.1608 RMSE= 0.8131
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.7864$ Qe= 7.38 K= 0.0237 RMSE= 2.6691	$r^2 = 0.8424$ a= 2198.3409 b= 1.8186 RMSE= 0.3558	$r^2 = 0.9973$ Qe= 7.3911 K= 0.0428 RMSE= 1.1224
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = \text{-----}$ Qe= 6.33 K= ----- RMSE= -----	$r^2 = 0.8493$ a= 6027.45 b= 2.2907 RMSE= 0.2751	$r^2 = 0.9988$ Qe= 6.4231 K= 0.0523 RMSE= 0.9899

### Isoterma 9

Co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
2	0.004	0.002	0.002	0.0003	0.55	1.60	0.75	-0.05	1.4	0.4	1.3	2.1
4	0.008	0.005	0.005	0.009	0.98	1.83	1.38	0.85	3.0	2.2	2.6	3.1
8	0.017	0.01	0.01	0.016	1.94	2.20	2.42	1.58	6.1	5.8	5.6	6.4

10	0.021	0.012	0.014	0.022	2.36	2.35	3.25	2.21	7.6	7.7	6.8	7.8
12	0.025	0.015	0.017	0.028	2.79	2.57	3.88	2.83	9.2	9.4	8.1	9.2
14	0.032	0.019	0.02	0.033	3.53	2.87	4.50	3.35	10.5	11.1	9.5	10.6
16	0.034	0.021	0.023	0.037	3.74	3.02	5.13	3.77	12.3	13.0	10.9	12.2
18	0.037	0.021	0.026	0.041	4.06	3.02	5.75	4.19	13.9	15.0	12.3	13.8
20	0.043	0.026	0.029	0.047	4.70	3.39	6.38	4.81	15.3	16.6	13.6	15.2

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.9997$ $q_0=159.5931$ $b= 0.0045$ RMSE= 1.1881	$r^2= 0.9998$ $K_F= 0.7231$ $n= 0.9795$ RMSE= 0.0967
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.926$ $q_0= 2.909$ $b= 0.066$ RMSE= 9.2122	$r^2= 0.9742$ $K_F= 0.1886$ $n= 0.6447$ RMSE= 1.3194
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.9993$ $q_0=82.4686$ $b= 0.0075$ RMSE= 1.6401	$r^2= 0.9995$ $K_F= 0.6234$ $n= 0.9675$ RMSE= 0.1047
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9807$ $q_0= 33.867$ $b= 0.0307$ RMSE= 1.0586	$r^2= 0.9944$ $K_F=1.013$ $n= 1.1189$ RMSE= 0.2573

### Curva de carga 9

volumen	C/C0 cef	C/C0 color
6	0.30	0.16
12	0.43	0.23
18	0.69	0.44
24	0.69	0.40
30	0.72	0.42
36	0.71	0.39
42	0.70	0.39
48	0.77	0.47
54	0.78	0.47
60	0.77	0.49

66	0.77	0.47
72	0.80	0.51
78	7.52	0.51
84	0.82	0.52
90	0.83	0.54
96	0.83	0.54
102	0.83	0.54
108	0.81	0.49
114	0.83	0.52
120	0.88	0.58
126	0.84	0.54
132	0.86	0.59

138	0.86	0.59
144	0.86	0.58
150	0.84	0.58
156	0.85	0.59
162	0.83	0.54
168	0.82	0.52
174	0.82	0.56
180	0.84	0.59
186	0.85	0.58

192	0.87	0.73
198	0.86	0.61
204	0.87	0.65
210	0.87	0.65
216	0.85	0.61
222	0.90	0.70
228	0.99	0.85
234	0.98	0.82

## Anexo 11: Datos para la obtencion de la cinética, isoterma y curva de carga del MC 10

### Cinética 10

tiempo	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
1.3394	0.025	0.091	0.12	0.062	2.79	8.23	25.33	6.38	7.21	1.77	0.67	3.63
5.4864	0.026	0.087	0.1	0.062	2.89	7.93	21.17	6.38	7.11	2.07	4.83	3.63
15.0105	0.023	0.077	0.099	0.059	2.57	7.19	20.96	6.06	7.43	2.81	5.04	3.94
30.0321	0.023	0.074	0.086	0.055	2.57	6.96	18.25	5.65	7.43	3.04	7.75	4.35
50.0512	0.024	0.066	0.073	0.053	2.68	6.37	15.54	5.44	7.32	3.63	10.46	4.56
75.0762	0.02	0.053	0.065	0.051	2.26	5.40	13.88	5.23	7.74	4.60	12.13	4.77
90.0796	0.021	0.047	0.06	0.046	2.36	4.95	12.83	4.71	7.64	5.05	13.17	5.29
100.1952	0.019	0.046	0.055	0.044	2.15	4.88	11.79	4.50	7.85	5.12	14.21	5.50
120.0509	0.025	0.046	0.047	0.043	2.79	4.88	10.13	4.40	7.21	5.12	15.88	5.60

	<i>Lagergren</i>	<i>Elovich</i>	<i>Ho- Mc kay</i>
<i>Colorante Rojo</i>	$r^2 = 0.1563$ Qe= 7.85 K= 0.006 RMSE= 5.5943	$r^2 = 0.3624$ a= 4.9 b= 9.9532 RMSE= 0.1933	$r^2 = 0.9966$ Qe= 7.544 K= -1.7651 RMSE= 0.3626
<i>Cefuroxima</i>	$r^2 = \text{-----}$ Qe= 5.12 K= \text{-----}	$r^2 = 0.8792$ a= 2.6453 b= 1.2281 RMSE= 0.4212	$r^2 = 0.9686$ Qe= 5.6117 K= 0.0126 RMSE= 0.598
<i>Solución Binaria Colorante</i>	$r^2 = 0.8275$ Qe= 5.6 K= 0.0244 RMSE= 1.7726	$r^2 = 0.8173$ a= 417.707 b= 2.2214 RMSE= 0.3087	$r^2 = 0.9897$ Qe= 5.6494 K= 0.029 RMSE= 0.9744
<i>Solución Binaria Cefuroxima</i>	$r^2 = 0.9763$ Qe= 15.88 K= 0.0198 RMSE= 1.2698	$r^2 = 0.9354$ a= 1.9451 b= 0.3051 RMSE= 1.4002	$r^2 = 0.0036$ Qe= 0 K= 0 RMSE= 2.6124

### Isoterma 10

co. Inicial	Absorbancia				Concentración final				Qe			
	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color	color	cef	bin cef	bin color
2	0.01	0.006	0.002	0.005	1.19	1.90	0.75	0.44	0.8	0.1	1.3	1.6
4	0.021	0.017	0.01	0.01	2.36	2.72	2.42	0.96	1.6	1.3	1.6	3.0

8	0.045	0.045	0.028	0.021	4.91	4.80	6.17	2.10	3.1	3.2	1.8	5.9
10	0.056	0.058	0.039	0.027	6.09	5.77	8.46	2.73	3.9	4.2	1.5	7.3
12	0.074	0.073	0.049	0.033	8.00	6.89	10.54	3.35	4.0	5.1	1.5	8.6
14	0.081	0.086	0.059	0.038	8.74	7.86	12.63	3.88	5.3	6.1	1.4	10.1
16	0.094	0.104	0.066	0.044	10.13	9.20	14.08	4.50	5.9	6.8	1.9	11.5
18	0.103	0.119	0.077	0.049	11.09	10.31	16.38	5.02	6.9	7.7	1.6	13.0
20	0.117	0.128	0.077	0.053	12.57	10.99	16.38	5.44	7.4	9.0	3.6	14.6

	<b>Langmuir</b>	<b>Freundlich</b>
<b>Colorante</b>	$r^2= 0.9998$ $q_0=52.7394$ $b= 0.0078$ RMSE= 0.243	$r^2= 0.9956$ $K_F= 0.4245$ $n= 1.0521$ RMSE= 0.2035
<b>Cefuroxima</b>	$r^2= 0.8707$ $q_0= 0.61$ $b= 0.0793$ RMSE= 5.3	$r^2= 0.9265$ $K_F= 0.0558$ $n= 0.5605$ RMSE= 1.2682
<b>Sol. Binaria Cefuroxima</b>	$r^2= 0.3917$ $q_0= 1.6948$ $b= 1.6948$ RMSE= 0.1664	$r^2= 0.2591$ $K_F= 1.2842$ $n= 11.277$ RMSE= 0.1737
<b>Sol. Bin Colorante</b>	$r^2= 0.9999$ $q_0= 116.693$ $b= 0.0068$ RMSE= 0.2609	$r^2= 0.9999$ $K_F= 0.7957$ $n= 1.0366$ RMSE= 0.093

### Curva de carga 10

volumen	C/C0 cef	C/C0 color
3	0.30	0.16
6	0.38	0.20
9	0.34	0.18
12	0.34	0.19
15	0.55	0.26
18	0.31	0.18
21	0.49	0.30
24	0.48	0.30

27	0.44	0.25
30	0.41	0.24
33	0.45	0.27
36	0.52	0.30
39	0.51	0.29
42	0.47	0.28
45	0.40	0.27
48	0.43	0.29
51	0.44	0.28
54	0.45	0.30

57	0.45	0.30
60	0.49	0.33
63	0.55	0.34
66	0.49	0.31
69	0.45	0.30
72	0.43	0.28
75	0.40	0.26
78	0.47	0.30
81	0.41	0.28
84	0.47	0.30
87	0.48	0.30
90	0.49	0.31
93	0.51	0.31
96	0.45	0.29
99	0.48	0.30
102	0.47	0.31
105	0.54	0.34
108	0.56	0.30
111	0.44	0.27
114	0.56	0.34
117	0.52	0.31
120	0.55	0.33
123	0.56	0.35
126	0.61	0.37
129	0.61	0.36
132	0.58	0.35
135	0.58	0.33
138	0.58	0.35
141	0.55	0.35
144	0.59	0.36
147	0.59	0.33
150	0.61	0.34
153	0.63	0.37
156	0.62	0.36
159	0.63	0.38
162	0.69	0.40
165	0.72	0.41
168	0.69	0.41
171	0.73	0.38

174	1.01	0.41
177	0.73	0.42
180	0.81	0.42
183	0.76	0.42
186	0.69	0.40
189	0.79	0.44
192	0.80	0.46
195	0.76	0.43
198	0.72	0.42
201	0.73	0.43
204	0.68	0.39
207	0.68	0.39
210	1.01	0.40
213	0.77	0.45
216	0.91	0.47
219	0.83	0.46
222	0.80	0.45
225	0.81	0.41
228	0.80	0.44
231	0.81	0.42
234	0.83	0.43
237	0.79	0.44
240	0.83	0.47
246	0.88	0.44
252	0.94	0.43
258	0.77	0.42
264	0.79	0.42
270	0.84	0.44
276	0.83	0.44
282	0.88	0.47
288	0.86	0.46
294	0.90	0.48
300	0.93	0.46

