

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	1
1.1	Antecedentes generales	1
1.1.1	Motivación.....	1
1.1.2	Contaminantes solubles	4
1.1.3	Contaminantes particulados.....	10
1.1.4	Óxido de grafeno	21
1.1.5	Remoción de contaminantes con GO	25
1.1.6	Variación del grado de oxidación de óxidos de grafeno	28
2	Objetivos	29
2.1	Objetivo general.....	29
2.2	Objetivos específicos	29
3	Metodología	30
3.1	Síntesis y purificación de GO	30
3.1.1	Síntesis de GO con bajo grado de oxidación (GOB).....	31
3.1.2	Síntesis de GO con alto grado de oxidación (GOA)	31
3.1.3	Purificación y secado.....	32
3.2	Caracterizaciones	33
3.3	Adsorción de colorantes.....	34
3.4	Floculación de material particulado.....	35
4	Resultados	36
4.1	Caracterizaciones	36
4.1.1	XRD.....	37
4.1.2	FTIR.....	40

4.1.3	Potencial Z.....	42
4.2	Adsorción.....	43
4.2.1	Azul de metileno (MB).....	43
4.2.2	Naranja de metilo (MO)	47
4.3	Floculación.....	51
4.3.1	Goethita	51
4.3.2	Caolín.....	55
5	Conclusiones y proyecciones	60
6	Bibliografía.....	61
7	Anexos.....	66
7.1	Isoterma de Langmuir	66
7.2	Isoterma de Freundlich	68
7.3	Datos experimentales transmitancia de remoción de goethita.....	70
7.4	Datos experimentales transmitancia de remoción de caolín	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Escasez de agua. Los colores representan el número de meses en los cuales la extracción de agua supera la recuperación [3].....	2
Figura 1.2: Disponibilidad de agua en Chile por habitante por año dividido por regiones. A) – Media nacional. B) – Umbral para el desarrollo sostenible. [7].....	3
Figura 1.3: Componentes básicos del fenómeno de adsorción en sistema sólido-fluido [15].	6
Figura 1.4: Efecto de la constante de Langmuir (KL) en la forma de isothermas con igual capacidad máxima de adsorción (qm). Las tres isothermas poseen un $qm=190$ [mg/g] con diferentes valores de KL	8
Figura 1.5: Estructura de bloques básicos de filosilicatos [25].	12
Figura 1.6: Estructura bilaminar simplificada de la arcilla caolinita [25].	13
Figura 1.7: Estructura trilaminar simplificada de la arcilla moscovita [25].	13
Figura 1.8 Estructura de goethita. Esferas rojas y moradas corresponden a dos tipos de oxígeno, mientras que azules corresponden a hidrógeno. [27].....	14
Figura 1.9: Esquema de la acción del floculante en la desestabilización y floculación [30].	17
Figura 1.10: Mecanismos de floculación por barrido con sales de aluminio [31].	18
Figura 1.11: Efectos de la adición de floculantes poliméricos. a) Exceso de floculante reestabiliza las partículas inhibiendo la floculación. b) Formación de puentes poliméricos permite la formación de flóculos [30].	20
Figura 1.12: Estructura del óxido de grafeno propuesto por Lerf-Klinowski [34].	21
Figura 1.13: Esquema de los componentes de la doble capa eléctrica y los potenciales eléctricos relacionados a esta [43].	23
Figura 3.1: Metodología simplificada utilizada para los estudios de remoción de contaminantes.	30
Figura 3.2: Diagrama resumido de metodología de síntesis y purificación de óxido de grafeno mediante método modificado de Hummers.	30
Figura 4.1: Óxidos de grafeno sintetizados por método de Hummers modificado. Izquierda: GOB-Bajo grado de oxidación (Negro). Derecha: GOA-Alto grado de oxidación (Café claro).	36

Figura 4.2: Difracción de rayos X (XRD) de grafito, GO de bajo grado de oxidación (GOB) y GO de alto grado de oxidación (GOA).....	37
Figura 4.3: Detalle de XRD para GOB y GOA.	39
Figura 4.4: Espectro FTIR de GO de bajo grado de oxidación (GOB) y GO de alto grado de oxidación (GOA). Rango de frecuencia entre 500 y 2000 cm^{-1}	40
Figura 4.5: Espectro FTIR de GOB y GOA. Rango de frecuencia 2400 y 3700 cm^{-1}	41
Figura 4.6: Potencial Z de los óxidos de grafeno en suspensión (1 g/l) en función del pH.	42
Figura 4.7: Estructura del colorante azul de metileno en solución.....	43
Figura 4.8: Capacidad de adsorción de óxidos de grafeno de alto y bajo grado de oxidación y adsorbente comercial para azul de metileno.....	44
Figura 4.9: Estructura del colorante naranja de metilo en solución.	47
Figura 4.10: Capacidad de adsorción de óxidos de grafeno de alto y bajo grado de oxidación y adsorbente comercial para naranja de metilo.	48
Figura 4.11: Estructura de bastón de goethita Sigma-Aldrich [50].....	51
Figura 4.12: Potencial Z de goethita en función del pH [58].	52
Figura 4.13: Sobrenadantes de solución de goethita tras 30 minutos de sedimentación. Izquierda: Goethita sin GO. Centro: Goethita con 10 [mg/l] GOB. Derecha: Goethita con 10 [mg/l] GOA.....	53
Figura 4.14: Transmitancia de suspensión de goethita (catiónica) en función del tiempo. ...	54
Figura 4.15: Análisis cualitativo de la composición de la arcilla caolín realizado por el laboratorio de caracterización avanzada mineralógica y metalúrgica de la FCFM.	55
Figura 4.16: Gráfico de potencial Z en función de pH para caolín (\circ) y moscovita (\bullet) [61].	56
Figura 4.17: Transmitancia de suspensión de caolín (aniónica) en función del tiempo.	57
Figura 4.18: Comparación entre mediciones experimentales de transmitancia de sistema de caolín con GOB y composición generada a partir de solución de GOB y datos experimentales de caolín.....	58
Figura 7.1: Linealización de isoterma de Langmuir para adsorción de azul de metileno... ..	66
Figura 7.2: Linealización de isoterma de Langmuir para adsorción de naranja de metilo.	67

Figura 7.3: Linealización de isothermas de Freundlich para adsorción de azul de metileno. 68

Figura 7.4: Linealización de isothermas de Freundlich para adsorción de naranja de metilo.
..... 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Aplicaciones de remoción de contaminantes mediante procesos de adsorción y adsorbentes normalmente utilizados [13]. 5

Tabla 1.2: Clasificación de partículas presentes en aguas frescas y residuales por tamaño [29].
..... 15

Tabla 4.1: Ángulo de difracción de peak característico y distancia interplanar de grafito y óxidos de grafeno de distinto grado de oxidación. 38

Tabla 4.2: Coeficientes de isothermas de Langmuir y Freundlich de la adsorción de azul de metileno con carbón activado y dos estructuras de óxido de grafeno con diferente grado de oxidación. 46

Tabla 4.3: Coeficientes de isothermas de Langmuir y Freundlich de la adsorción naranja de metilo con carbón activado y dos estructuras de óxido de grafeno con diferente grado de oxidación. 49

Tabla 7.1: Datos experimentales y desviación estándar de sedimentación de goethita. 70

Tabla 7.2: Datos experimentales y desviación estándar de sedimentación de goethita con GOB con concentraciones 5 y 10 mg/l. 71

Tabla 7.3: Datos experimentales y desviación estándar de sedimentación de goethita con GOA con concentraciones 5 y 10 mg/l. 72

Tabla 7.4: Datos experimentales y desviación estándar de sedimentación de caolín. 73

Tabla 7.5: Datos experimentales y desviación estándar de sedimentación de caolín con GOB con concentraciones 5 y 10 mg/l. 74

Tabla 7.6: Datos experimentales y desviación estándar de sedimentación de caolín con GOA con concentraciones 5 y 10 mg/l. 75