

# Tabla de Contenido.

---

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SUSTRATOS DE BAJO COSTO PARA LA EXTRACCIÓN DE SELENIO DESDE RESIDUOS LÍQUIDOS MINEROS VIA PROCESOS DE ADSORCIÓN. ....	i
Agradecimientos.....	ii
Capítulo 1. Introducción.....	1
<b>1. Contexto</b> .....	1
<b>2. Objetivos</b> .....	2
<b>3. Hipótesis</b> .....	3
<b>4. Alcances</b> .....	4
<b>5. Estructura de la Tesis</b> .....	4
Capítulo 2. Revisión bibliográfica .....	5
<b>1. El elemento selenio y su relevancia para el ser humano y la industria</b> .....	5
1.1. El selenio: su ciclo y relevancia para el ser humano.....	5
1.2. Usos industriales del selenio. ....	6
<b>2. Residuos Líquidos industriales con contenido de selenio.</b> .....	7
<b>3. Tratamiento de residuos líquidos conteniendo selenio.</b> .....	8
3.1. Precipitación de selenio. ....	9
3.2. Adsorción de selenio.....	11
3.2.1. El proceso de Adsorción: fundamentos. ....	11
3.2.2 Factores que afectan la adsorción. ....	13
3.2.3. Termodinámica y cinética de procesos de adsorción .....	14
3.2.4. Modelos matemáticos avanzados de caracterización del proceso de adsorción. ....	19
3.2.5. El proceso de adsorción aplicado a iones de selenio en medio acuoso .....	22
<b>4. Desarrollo conceptual del proceso de tratamiento de residuos líquidos</b> .....	28
4.1. Teoría de reactores – tanques agitados en sistemas en batch. ....	28
4.2. Modelo Cinético de Fogler (2006) y escalamiento. ....	29
<b>5. Conclusión de la revisión bibliográfica</b> .....	30
Capítulo 3. Materiales y Métodos. ....	31
<b>1. Preparación y síntesis de sustratos.</b> .....	31

1.1. Ferrihidrita .....	31
1.2. Corteza de Pino (CP).....	31
1.3. Silicato de Calcio Nano-estructurado (CaSil).....	32
1.4. Ferrihidrita en presencia de corteza de pino – corteza de pino modificada (Fh-CP). .....	32
1.5. Ferrihidrita en presencia de silicato de calcio (CaSil) – silicato de calcio modificado (Fh-CaSil). .....	32
<b>2. Técnicas de caracterización de sustratos.....</b>	<b>32</b>
2.1. Espectroscopía Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).....	32
2.2. Estudios de superficie específica y aplicación de Isoterma Brunauer, Emmett y Teller (BET). .....	33
2.3. Distribución de tamaño de partículas por difracción láser. ....	34
2.4. Análisis mineralógico vía SEM/EDS.....	35
<b>3. Métodos experimentales.....</b>	<b>36</b>
3.1. Absorbancia UV - visible: Determinación de concentración de selenio. ....	36
3.2. Experimentos de adsorción – estudios termodinámicos .....	37
3.2.1. Experimentos preliminares: Determinación del pH óptimo de adsorción. .	37
3.2.2. Experiencias para determinación de parámetros de isothermas de adsorción. ....	38
3.3. Experimentos cinéticos de adsorción.....	38
<b>4. Métodos de Modelación matemática.....</b>	<b>39</b>
4.1 Modelación de isothermas de adsorción .....	39
4.2. Modelación de cinética de adsorción .....	39
4.3. Método DIS.....	39
Capítulo 4. Resultados. ....	40
<b>1. Desarrollo de una metodología espectrofotométrica para la determinación de la concentración de selenio en solución acuosa.....</b>	<b>40</b>
1.1. Curva de calibración vs calidad de agua .....	40
<b>2. Síntesis y caracterización de los sustratos .....</b>	<b>45</b>
2.1. Balance de masa en síntesis de sustrato de hierro tipo Ferrihidrita.....	45
2.2. Superficie específica (BET) .....	48
2.3. Distribución de tamaños de partícula por difracción láser. ....	51
2.4. Análisis SEM/EDS.....	52

2.5. Comentarios generales sobre la caracterización.....	54
<b>3. Estudios de adsorción preliminares.....</b>	<b>55</b>
3.1 Determinación del pH óptimo de adsorción para cada sustrato .....	55
<b>4. Estudios termodinámicos .....</b>	<b>58</b>
4.1. Isotermas de adsorción.....	59
4.1.1. Modelo de Langmuir.....	59
4.1.2. Modelo de Freundlich. ....	60
4.2. Método DIS en baja resolución .....	64
4.2.1. Aplicación de spline-cúbica .....	64
4.2.2. Aplicación del método DIS .....	65
4.3. Observaciones respecto al estudio termodinámico de adsorción. ....	70
<b>5. Estudios cinéticos de adsorción.....</b>	<b>71</b>
5.1. Cinética de Adsorción. ....	71
5.2. Estudio del orden cinético de adsorción química .....	73
5.2.1. Ajuste para modelos cinéticos simples.....	73
5.2.2. Aplicación del modelo mixto de adsorción.....	80
<b>6. Desarrollo conceptual del proceso de tratamiento de residuos líquidos en tanque agitado: sustrato de corteza modificada con ferrihidrita .....</b>	<b>84</b>
6.1. Desarrollo de modelo Fogel.....	84
6.2. Caso de estudio para escalamiento. ....	89
Capítulo 5. Conclusiones .....	91
Capítulo 6. Recomendaciones.....	93
Capítulo 7. Bibliografía.....	94
ANEXOS .....	103