

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El Problema del Arsénico a Nivel Mundial	2
1.2 La Presencia de Arsénico en Chile	3
1.3 Antecedentes Generales	5
1.3.1 Técnicas para la remoción de arsénico	5
1.3.2 Estado del Arte del Carbón Activado	10
1.4 Motivación del Proyecto.....	14
1.5 Descripción del Proyecto.....	14
Capítulo 2.- MARCO TEÓRICO	15
2.1 El Arsénico	15
2.1.1 Especiación del Arsénico en Agua.....	16
2.1.2 Toxicidad del Arsénico	17
2.2 El Carbón Activado	18
2.2.1 Estructura del Carbón activado	18
2.2.2 Composición Química	19
2.3 Precursores para el Carbón Activado	21
2.3.1 Propiedades de un Precursor	22
2.3.2 Selección de Precursores.....	23
2.4 Métodos de Activación del Carbón Activado.....	25
2.4.1 Activación Física.....	25
2.4.2 Activación Química	27
2.5 Proceso de Adsorción	28
2.5.1 Isotermas de Adsorción	29
Capítulo 3.- OBJETIVOS Y LIMITACIONES.....	35
3.1 Objetivo General	35
3.2 Objetivos Específicos	35
3.3 Limitaciones	35
Capítulo 4.- FASE EXPERIMENTAL	37
4.1 Preparación y Análisis Próximos de los Precursores	37
4.1.1 Triturado y Tamizado.....	37

4.1.2	Análisis Próximo.....	38
4.2	Síntesis de Carbones Activados	39
	El sistema utilizado para la activación de carbones consta de	40
4.2.1	Activación física bajo flujo de CO ₂ y/o N ₂	41
4.2.2	Activación Química con ZnCl ₂ y H ₃ PO ₄	42
4.3	Método de impregnación del Hierro.....	43
4.4	Caracterización Carbones Activados	44
4.4.1	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).	44
4.4.2	Área superficial BET	45
4.4.3	pH superficial (pH _{pzc} , Método pH variable).....	45
4.4.4	Difracción de Rayos X (XRD).	45
4.5	Cinéticas de Adsorción de Arsénico	46
4.6	Método Colorimétrico de medición de As(V)	46
4.6.1	Protocolo de preparación de muestras	46
4.6.2	Curva de calibración	48
Capítulo 5.- RESULTADOS Y DISCUSIONES		51
5.1	Síntesis y Caracterización de los Carbones Activados	51
5.1.1	Caracterización de precursores	51
5.1.2	Caracterización y selección de Carbones activados	55
5.1.3	Adsorción de arsénico en carbones seleccionados.....	70
5.2	Modificación del carbón activado: Impregnación con Hierro.....	72
5.2.1	Caracterización de los Carbones modificados	72
5.2.2	Adsorción de arsénicos en carbones modificados con hierro	78
Capítulo 6.- CONCLUSIONES		83
BIBLIOGRAFÍA.....		87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MODELO GLOBAL DE PROBABILIDADES DE ENCONTRAR CONTAMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS. A) EN CONDICIONES REDUCTORAS Y B) EN CONDICIONES OXIDANTES [8].	2
FIGURA 2. TÉCNICAS TRADICIONALES UTILIZADAS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO.	5
FIGURA 3. DIAGRAMA EP-PH PARA ESPECIES ACUOSAS DEL ARSÉNICO EN EL SISTEMA AS-O ₂ -H ₂ O A 25°C Y 1 BAR [30].	16
FIGURA 4. ESPECIACIÓN DEL (A) ARSENITO Y DEL (B) ARSENIATO EN FUNCIÓN DEL PH [30].	17
FIGURA 5. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL (A) ARREGLO ESTRUCTURAL DE LAS CAPAS PLANAS DEL GRAFITO, (B) ESTRUCTURA PROPUESTA DE LAS CAPAS DEL CARBÓN ACTIVADO.	18
FIGURA 6. REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CA Y SU RAMIFICACIÓN DE POROS	19
FIGURA 7. GRUPOS OXIGENADOS EN LA SUPERFICIE DE UN CARBÓN ACTIVO [45].	20
FIGURA 8. ESQUEMATIZACIÓN DE LA PROTONACIÓN Y DESPROTONACIÓN DE LOS GRUPOS OXIGENADOS DEL CA EN MEDIOS ÁCIDOS Y BÁSICOS RESPECTIVAMENTE.	21
FIGURA 9. TIPOS DE ISOTERMAS EN UN SISTEMA SÓLIDO-GAS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN IUPAC.	29
FIGURA 10. ESQUEMA PROCESO DE PREPARACIÓN Y ANÁLISIS PRÓXIMO DEL PRECURSOR.	37
FIGURA 11. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL PLAN DE SÍNTESIS DE CARBONES ACTIVADOS.	40
FIGURA 12. ESQUEMA DEL SISTEMA UTILIZADO PARA REALIZAR LA ACTIVACIÓN DE CARBONES.	40
FIGURA 13. PROGRAMACIÓN DEL HORNO SEGÚN SUS VARIABLES TIEMPO/TEMPERATURA PARA EL CASO DE LA ACTIVACIÓN CON CO ₂ .	41
FIGURA 14. DIAGRAMA DEL PROCESO DE IMPREGNACIÓN CON HIERRO PROPUESTO POR YÜRÜM ET AL. [23]	43
FIGURA 15. ESQUEMA DEL MÉTODO DE IMPREGNACIÓN DE HIERRO	44
FIGURA 16. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN DE AS(V).	48
FIGURA 17. CUADRO RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS ACTIVACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS.	61
FIGURA 18. REPRESENTACIÓN DE LA CARGA SUPERFICIAL SEGÚN EL PH DEL MEDIO, PARA LOS CARBONES CAP-N ₂ (AZUL) Y CAP-CO ₂ (ROJO).	66

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS Y NÚMERO APROXIMADO DE POBLACIÓN AFECTADA NIVEL MUNDIAL [8].	3
TABLA 2. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO TOTAL EN DIFERENTES LOCALIDADES DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA [7].	4
TABLA 3. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO TOTAL Y PH EN AGUAS DE LOS RÍOS DE LA REGIÓN DE ATACAMA [7].	4
TABLA 4. MÁXIMA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN (<i>Q_m</i>) PARA REMOCIÓN DE AS(V) DE SOLUCIONES ACUOSAS [11].	9
TABLA 5. PROPIEDADES DE PRECURSORES DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO [39].	22
TABLA 6. ANÁLISIS PRÓXIMO DE LOS PRECURSORES AGROINDUSTRIALES SELECCIONADOS PARA SINTETIZAR CARBÓN ACTIVADO.	51
TABLA 7. ESPECTROSCOPIA ATÓMICA (ICP) DE LAS CENIZAS DE LOS PRECURSORES DE PINO Y ARROZ, ENFOCADA EN LOS ELEMENTOS DE ALUMINIO, HIERRO, MAGNESIO, CALCIO, POTASIO Y ARSÉNICO.	53
TABLA 8. RENDIMIENTO DE LAS SÍNTESIS FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LOS PRECURSORES DE PINO Y ARROZ, PARA SÍNTESIS CON MASA INICIAL DE 5 GR.	55
TABLA 9. PH SUPERFICIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE DRIFT PARA LOS CARBONES FÍSICOS Y QUÍMICOS, PARA LOS PRECURSORES DE PINO Y ARROZ.	62
TABLA 10. RESUMEN DEL ANÁLISIS DE QUÍMICA SUPERFICIAL DE LOS CARBONES FÍSICOS Y QUÍMICOS A PARTIR DE PINO Y ARROZ. SEÑAL: (✖) NULA, (✓) BAJA, (✓✓) MEDIA, (✓✓✓) ALTA.	63
TABLA 11. ESTUDIO DE TEMPERATURAS VERSUS ÁREA SUPERFICIAL REALIZADO POR CORDERO ET AL. TABLA ADAPTADA [16].	67
TABLA 12. ESTUDIO DE RADIOS DE IMPREGNACIÓN VERSUS ÁREA SUPERFICIAL REALIZADO POR CORDERO ET AL. TABLA ADAPTADA [19].	68
TABLA 13. ÁREA SUPERFICIAL BET DE LOS CARBONES CAP-CO ₂ Y CAP-ZN.	69

TABLA 14. PORCENTAJE DE ADSORCIÓN DE As(V), A PARTIR DE UNA SOLUCIÓN DE 5.000 MG/L CON 1 G/L DE CARBÓN ACTIVADO.....	71
TABLA 15. ÁREAS SUPERFICIALES BET OBTENIDAS PARA LOS CARBONES MODIFICADO CON O SIN OXIDAR.....	74
TABLA 16. PH SUPERFICIAL DE LOS CARBONES OXIDADO E IMPREGNADOS.	77
TABLA 17. PORCENTAJES DE ADSORCIÓN DE As(V) DE LOS CARBONES SIN OXIDAR Y OXIDADOS, DE UNA SOLUCIÓN INICIAL DE 5.000 MG/L, CON 1 G/L DE CA.	79
TABLA 18. PORCENTAJES DE ADSORCIÓN DE As(V) DE LOS CARBONES OXIDADOS A DIFERENTES PH, DE UNA SOLUCIÓN INICIAL DE 5.000 MG/L, CON 1 G/L DE CA.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA EL MÉTODO COLORIMÉTRICO.	48
GRÁFICO 2. ESPECTROSCOPIA FTIR DE LOS PRECURSORES DE PINO Y ARROZ.	54
GRÁFICO 3. COMPARACIÓN ESPECTROS FTIR CARBONES FÍSICOS. LA CURVA GRIS CORRESPONDE AL ESPECTRO DEL PRECURSOR EN CUESTIÓN.	57
GRÁFICO 4. COMPARACIÓN ESPECTROS FTIR CARBONES QUÍMICOS. LA CURVA GRIS CORRESPONDE AL ESPECTRO DEL PRECURSOR EN CUESTIÓN.	59
GRÁFICO 5. MÉTODO DE DRIFT PARA OBTENER EL PH SUPERFICIAL.	62
GRÁFICO 6. CINÉTICAS DE ADSORCIÓN PARA LOS CARBONES PRE-SELECCIONADOS Y LA REFERENCIA, EL CARBÓN COMERCIAL MERCK.	70
GRÁFICO 7. FTIR DE LOS CARBONES BASE Y DE LOS IMPREGNADOS SIN Y CON OXIDACIÓN.	72
GRÁFICO 8. ANÁLISIS XRD DE LOS CARBONES OXIDADOS E IMPREGNADOS CON HIERRO.....	76
GRÁFICO 9. CINÉTICAS DE ADSORCIÓN DE As(v) DE LOS CARBONES (A) SIN OXIDAR Y LOS (B) OXIDADOS, A PH 7.	79
GRÁFICO 10. CINÉTICAS DE ADSORCIÓN DE As(v) DE LOS CARBONES OXIDADOS, A PH 4 Y 9.	80