

# Tabla de contenido

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
1.1 MOTIVACIÓN	9
1.2 OBJETIVO GENERAL	10
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
2.1 AGUAS GRISES	11
2.1.1 DEFINICIÓN DE AGUAS GRISES	11
2.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS GRISES	12
2.1.3 CONTAMINANTES EN AGUAS GRISES	13
2.1.4 AGUA GRIS SINTÉTICA	14
2.1.5 AGUAS GRISES EN CHILE	15
2.1.6 NORMATIVA DE AGUAS GRISES EN EL MUNDO	16
2.1.7 TRATAMIENTOS DE AGUAS GRISES	18
2.2 HUMEDALES CONSTRUIDOS	19
2.2.1 DEFINICIÓN	19
2.2.2 COMPONENTES	20
2.3 CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS	22
2.3.1 DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES	22
2.3.2 MATERIAL DE ELECTRODOS	24
2.3.3 DESEMPEÑO DE UNA MFC	24
2.4 HUMEDALES CONSTRUIDOS ACOPLADOS A MFC	25
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>28</b>
<b>3 TRABAJO EXPERIMENTAL</b>	<b>28</b>
3.1 MATERIALES	28
3.2 METODOLOGÍA	29
3.2.1 CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS DE HUMEDAL	29
3.2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS	31
3.2.3 CÁLCULOS	31
3.2.4 OPERACIÓN DE COLUMNAS	32
3.2.5 INOCULACIÓN Y START-UP	34
3.2.6 CICLOS LARGOS DE MEDICIÓN DE DQO	35
3.2.7 OPERACIÓN DE COLUMNAS CON UN POTENCIAL INDUCIDO A TRAVÉS DE UN POTENCIOSTATO	35
3.2.8 DESEMPEÑO DE HUMEDALES EN DISTINTOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	36
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>37</b>
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>37</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE AGUA GRIS SINTÉTICA	37

<b>4.2 ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE DQO</b>	<b>38</b>
4.2.1 FUNCIONAMIENTO DE COLUMNAS DE HUMEDALES DURANTE CICLOS LARGOS DE MEDICIÓN DE DQO	38
4.2.2 FUNCIONAMIENTO DE COLUMNAS DE HUMEDALES CON POTENCIAL INDUCIDO A TRAVÉS DE UN POTENCIOSTATO	41
4.2.3 COMPARACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE COLUMNAS DE HUMEDALES ANTES Y DESPUÉS DE ETAPA DE MFC CON UN POTENCIAL INDUCIDO A TRAVÉS DE UN POTENCIOSTATO	43
4.2.4 FUNCIONAMIENTO DE HUMEDALES DESPUÉS DE ETAPA DE MFC CON UN POTENCIAL INDUCIDO A TRAVÉS DE UN POTENCIOSTATO.	44
<b>4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE OPERACIÓN DE COLUMNAS DE HUMEDALES</b>	<b>46</b>
4.3.1 TURBIEDAD	47
4.3.2 NUTRIENTES	48
<b>4.4 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS</b>	<b>52</b>
<hr/>	
5.1. CW-MFC COMO TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES	52
5.2. EFECTO DEL ACOPLE DE UNA MFC A UN HUMEDAL CONSTRUIDO	52
5.3. RECOMENDACIONES	53
<b>GLOSARIO</b>	<b>54</b>
<hr/>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>55</b>
<hr/>	
<b>ANEXO A</b>	<b>61</b>
<hr/>	
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA GRIS TRATADA	61
<b>ANEXO B</b>	<b>64</b>
<hr/>	
CURVAS DE VOLTAJE V/S TIEMPO COLUMNAS CON MFC	64

# Índice de Tablas

Tabla 2.1: Distribución porcentual del agua gris según origen, para distintas localidades .....	12
Tabla 2.2: Características del agua gris según fuente.....	13
Tabla 2.3: Receta de agua gris sintética en la que se basará la operación de los CW-MFC .....	15
Tabla 2.4: Valores de distintos parámetros físico-químicos del agua gris sintética de Arunbabu et al. (2015).....	15
Tabla 2.5: Valores establecidos por la BSI para monitoreo de sistemas de operación de aguas grises. Fuente .....	18
Tabla 2.6: Resultados de remoción de DQO en configuraciones de CW-MFC.....	27
Tabla 2.7: Valores de potencia máxima obtenidos por distintos sistemas de CW-MFC. ....	27
Tabla 3.1: Composición de las capas de humedales.....	29
Tabla 3.2: Ubicación vertical de puertos de muestreo en columnas de humedales.....	31
Tabla 3.3: Composición del agua gris sintética preparada como medio para las columnas de humedal. Modificación de Arunbabu et al. (2015).....	32
Tabla 4.1: Caracterización de parámetros físico-químicos del medio de agua gris sintético afluente a las columnas de humedales.....	37
Tabla 4.2: Volúmenes en litros de electrodos de sistemas de tipo CW-MFC y su participación porcentual en el volumen total del reactor.....	45
Tabla 4.3: Potencial redox del cátodo de la columna B desde el ciclo 7.....	46
Tabla 4.5: Potencia máxima obtenida en modelos CW-MFC .....	51
Tabla 4.6: Comparación de altura de columnas CW-MFC desarrolladas por distintos autores....	51
Tabla A.0.1: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 1. ....	61
Tabla A.0.2: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 2 .....	61
Tabla A.0.3: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 3 .....	61
Tabla A.0.4: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 4. ....	62
Tabla A.0.5: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 5. ....	62
Tabla A.0.6: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 6. ....	62
Tabla A.0.7: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 7. ....	62
Tabla A.0.8: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 8. ....	62
Tabla A.0.9: Valores de parámetros físico-químicos de afluente y efluente columnas humedales ciclo 9. ....	63

# Índice de Figuras

Figura 3.1: Esquema de la configuración CW-MFC construida, utilizando agua gris sintética como medio en la columna. ....	30
Figura 4.1: Nivel de pH durante ciclo 5 para columnas con y sin MFC. ....	38
Figura 4.2: Nivel de pH durante ciclo 6 para columnas con y sin MFC. ....	39
Figura 4.3: Porcentaje de DQO soluble presente en columnas con y sin MFC durante ciclo 5. ....	39
Figura 4.4: Porcentaje de DQO soluble presente en columnas con y sin MFC durante ciclo 6. ....	40
Figura 4.5: Remoción de DQO total a 12 y 16 días, en columnas con y sin MFC. ....	41
Figura 4.6: Remoción de DQO soluble a 12 y 16 días en columnas con y sin MFC. ....	41
Figura 4.7: Remoción de DQO total después de 2 días en columnas con y sin MFC, con MFC con fijación de potencial a través de potencióstato. ....	42
Figura 4.8: Remoción de DQO soluble después de 2 días en columnas con y sin MFC, con MFC con fijación de potencial a través de potencióstato. ....	42
Figura 4.9: Remoción de DQO soluble después de 3 días de iniciado el ciclo, antes y después de etapa con un potencial inducido a través de un potencióstato, en ánodo de columnas con y sin MFC. ....	43
Figura 4.10: Remoción de DQO total después de 1 semana para columnas sin MFC y con MFC. ....	44
Figura 4.11: Remoción de DQO soluble después de 1 semana para columnas sin MFC y con MFC. ....	45
Figura 4.12: Muestras de afluente y efluente de columnas A, B, C, D respectivamente. ....	47
Figura 4.13: Remoción de $\text{NO}_3^-$ -N a 1 semana, en columnas sin MFC y con MFC. ....	48
Figura 4.14: Remoción de $\text{PO}_4^{3-}$ -P a 1 semana en columnas sin MFC y con MFC. ....	49
Figura 4.15: Potencia máxima obtenida en las columnas con MFC en cada ciclo. ....	50
Figura 4.16: Día del ciclo experimental en que se alcanza valor de potencia máxima promedio luego de 17 ciclos. ....	50
Figura B.0.1: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 1. ....	64
Figura B.0.2: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 2. ....	64
Figura B.0.3: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 3. ....	65
Figura B.0.4: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 4. ....	65
Figura B.0.5: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 5. ....	66
Figura B.0.6: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 6. ....	66
Figura B.0.7: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 7. ....	67
Figura B.0.8: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 8. ....	67
Figura B.0.9: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 9. ....	68
Figura B.0.10: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 10. ....	68
Figura B.0.11: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 11. ....	69
Figura B.0.12: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 12. ....	69
Figura B.0.13: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 13. ....	70
Figura B.0.14: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 14. ....	70
Figura B.0.15: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 15. ....	71
Figura B.0.16: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 16. ....	71
Figura B.0.17: Curva de voltaje v/s tiempo de columnas B y D durante ciclo 17. ....	72

# Abreviaturas

CW	Humedal construido.
CW-MFC	Humedal construido acoplado a una celda de combustible microbiana.
DQO	Demanda Química Oxígeno.
HRT	Tiempo de Retención Hidráulico.
MFC	Celda de combustible microbiana.
NO <sub>3</sub> -N	Nitrógeno en forma de nitrato.
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Fósforo en forma de fosfato.
OD	Oxígeno Disuelto.
SHE	Standard Hydrogen Electrode.
SST	Sólidos Suspendidos Totales.