

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. General . . . . .	2
1.2.2. Específicos . . . . .	2
1.3. Estructura del informe . . . . .	3
<b>2. Revisión bibliográfica</b>	<b>4</b>
2.1. Metales y metaloides en las aguas . . . . .	4
2.2. Arsénico . . . . .	4
2.2.1. Descripción del arsénico . . . . .	4
2.2.2. Especiación y toxicidad . . . . .	5
2.3. Descripción del hierro . . . . .	7
2.4. Interacción arsénico y hierro . . . . .	8
2.5. Sistemas de tratamiento de aguas . . . . .	8
2.5.1. Sistemas convencionales para la remoción de arsénico y hierro en agua	9
2.5.2. Sistemas de tratamiento naturales . . . . .	9
2.6. Humedales construidos . . . . .	10
2.6.1. Componentes de un humedal construido . . . . .	11
2.6.2. Humedales construidos para remoción de arsénico y hierro . . . . .	12
2.7. Hidráulica en humedales construidos . . . . .	14
2.8. Parámetros de diseño en humedales construidos . . . . .	16
2.8.1. Tiempo de retención hidráulico . . . . .	17
2.8.2. Distribución de los tiempos de retención . . . . .	19
2.8.3. Pruebas de trazador . . . . .	22
2.9. Caso de estudio: Río Azufre . . . . .	22
<b>3. Materiales y métodos</b>	<b>24</b>
3.1. Descripción del sistema . . . . .	24
3.1.1. Medio de soporte . . . . .	25
3.1.2. Vegetación . . . . .	26
3.2. Operación . . . . .	26
3.2.1. Agua sintética . . . . .	26
3.2.2. Muestreo . . . . .	27
3.2.3. Análisis . . . . .	28
3.3. Pruebas de remoción de As y Fe . . . . .	29

3.4. Pruebas de trazador . . . . .	30
<b>4. Resultados y discusión</b>	<b>35</b>
4.1. Cambios en parámetros ambientales de calidad del agua . . . . .	35
4.1.1. Efecto de la vegetación y carga superficial en los parámetros de calidad del agua . . . . .	37
4.1.2. Efecto de la vegetación y carga superficial en la remoción de contaminantes . . . . .	48
4.2. Relación entre la concentración de hierro y pH . . . . .	55
4.3. Otros cambios observados . . . . .	56
4.4. Pruebas de trazador . . . . .	57
4.4.1. Efecto de la vegetación . . . . .	63
4.4.2. Efecto de la carga superficial . . . . .	65
4.5. Comparación con otros estudios . . . . .	67
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>69</b>
5.1. Efecto de la vegetación y de la carga superficial en remoción de As y Fe . . . . .	69
5.2. Medición de tiempos de retención mediante pruebas de trazador . . . . .	71
5.3. Recomendaciones . . . . .	71
<b>Bibliografía</b>	<b>72</b>
<b>A. Pruebas de remoción</b>	<b>78</b>
A.1. Datos corregidos para la primera etapa . . . . .	78
A.2. Datos en bruto para la primera etapa y segunda etapa . . . . .	79
<b>B. Pruebas de trazador</b>	<b>92</b>