

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes Generales.....	1
1.1.1	El fosfato y el ácido sulfúrico.....	1
1.1.1.1	Mercado creciente de fosfatos.....	1
1.1.1.2	Obtención tradicional de fosfatos.....	2
1.1.1.3	Azufre e industria actual del ácido sulfúrico.....	3
1.1.2	La Biolixiviación: una solución sustentable.....	5
1.1.2.1	Conceptos iniciales.....	5
1.1.2.2	Biooxidación del azufre.....	6
1.1.2.3	Mecanismos de biolixiviación.....	7
1.1.2.4	Microorganismos para biolixiviación.....	9
1.1.2.5	Características de <i>Sulfolobus metallicus</i>	11
1.1.2.6	Etapas del crecimiento celular.....	12
1.1.2.7	Factores que afectan el desarrollo de microorganismos.....	13
1.1.2.8	Aplicación industrial de la biolixiviación.....	15
1.1.3	Diseño de biorreactores en minería.....	17
1.1.3.1	Ingeniería de un biorreactor: modelación básica.....	18
1.1.3.2	Descripción de modelos previos.....	24
1.1.3.3	Modelos previos de un reactor para procesar azufre elemental.....	25
1.1.3.4	Estudio de transferencia gas-líquido en reactores.....	29
1.2	Motivación y Descripción del Proyecto.....	33
2	Objetivos.....	34
2.1	Objetivo General.....	34
2.2	Objetivos Específicos.....	34
3	Metodología.....	35
3.1	Cultivo celular en matraces.....	35
3.1.1	Obtención de perlas de azufre.....	35
3.1.2	Esterilización de las perlas de azufre.....	36
3.1.3	Cultivo de inóculos en matraces sobre perlas de azufre.....	37
3.1.4	Análisis químicos y biológicos.....	37
3.1.4.1	Preparación de muestras diarias.....	38
3.1.4.2	Medición del pH.....	38

3.1.4.3	Ensayos de titulación ácido-base.....	38
3.1.4.4	Determinación de sulfato en solución.....	40
3.1.4.5	Recuento directo de células planctónicas.....	40
3.2	Biorreactor tipo Batch.....	42
3.2.1	Montaje experimental.....	42
3.2.2	Mediciones en batch.....	45
3.3	Biorreactor en Modo Continuo.....	47
3.3.1	Montaje experimental.....	47
3.3.2	Alcanzando el estado estacionario.....	49
3.4	Modelación de la biooxidación de azufre en reactores.....	49
3.5	Estudio de la aireación aplicada al biorreactor.....	51
3.5.1	Toma de datos para el Método Dinámico.....	52
3.5.2	Análisis de la entrega de oxígeno.....	52
4	Resultados.....	54
4.1	Cultivo celular en matraces.....	54
4.2	Biorreactor tipo Batch.....	54
4.2.1	Resultados de medición en el tiempo.....	54
4.2.1.1	Evolución del pH.....	55
4.2.1.2	Evolución en acidez del medio.....	56
4.2.1.3	Evolución de la concentración de sulfato.....	57
4.2.1.4	Cuantificación de arqueas planctónicas.....	58
4.2.2	Determinación de la cinética de crecimiento celular.....	60
4.3	Biorreactor en Modo Continuo.....	62
4.3.1	Estados transientes.....	62
4.3.2	Estudio del estado estacionario.....	63
4.3.2.1	Relación pH – flujo operación.....	64
4.3.2.2	Relación células planctónicas – flujo operación.....	65
4.3.2.3	Relación acidez – flujo de operación.....	65
4.3.2.4	Relación sulfato en solución – flujo operación.....	66
4.4	Modelación de la biooxidación.....	67
4.4.1	Resumen de la modelación.....	67
4.4.2	Resultados de modelación.....	67
4.4.2.1	Importancia de células planctónicas en el crecimiento celular.....	67
4.4.2.2	Rendimientos de producción por biomasa.....	71
4.5	Estudio de la aireación aplicada al biorreactor.....	74

5	Discusión	78
5.1	Cultivo en matraces	78
5.2	Biorreactor tipo Batch.....	79
5.2.1	Diseño y montaje	79
5.2.2	Resultados de medición en el tiempo	79
5.3	Biorreactor en Modo Continuo	85
5.3.1	Escalamiento.....	85
5.3.2	Estados transientes.....	85
5.3.3	Estados estacionarios	87
5.4	Modelación del reactor de biooxidación de azufre	87
5.4.1	Modelos sobre el balance de biomasa	87
5.4.2	Modelos de producción: rendimiento de producto	90
5.5	Estudio de la aireación	93
5.6	Discusión general.....	97
6	Conclusiones.....	100
7	Recomendaciones	102
8	Bibliografía.....	103
9	Anexos.....	108