

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Contextualización	1
1.2. Objetivos	4
2. Antecedentes	6
2.1. Mercado de tempeh	6
2.2. Características del Tempeh	7
2.3. Proceso de producción	7
3. Marco teórico	10
3.1. Tipos de biorreactores	10
3.2. Fermentación en medio sólido	12
3.3. Modelo de sistemas biológicos	12
3.3.1. Geometría	13
3.3.2. Transferencia de masa y calor	14
3.3.3. Cinética de crecimiento	16
4. Estado del Arte	18
5. Modelo de biorreactor	23
5.1. Metodología	23
5.2. Dimensiones del biorreactor	24
5.3. Medio homogéneo: aire sobre el cultivo	24
5.3.1. Balance de masa infinitesimal	26
5.3.2. Diferencias finitas	27
5.3.3. Balance de masa	29
5.3.3.1. Balance de agua	29
5.3.3.2. Balance de oxígeno	31
5.3.4. Balance de energía	32
5.4. Medio heterogéneo: cultivo en medio sólido	34
5.4.1. Balance de masa infinitesimal	36
5.4.2. Generación y/o consumo r_A	38
5.4.3. Diferencias finitas	41
5.4.4. Balance de masa	41
5.4.4.1. Balance de oxígeno	42
5.4.4.2. Balance agua	44
5.4.4.3. Balance de biomasa	46
5.4.5. Balance de energía	47

5.5. Ecuaciones del modelo	49
6. Calibración del modelo	50
6.1. Metodología	50
6.1.1. Diseño experimental utilizado	51
6.1.2. Condiciones experimentales	52
6.1.2.1. Homogéneo	53
6.1.2.2. Heterogéneo	53
6.1.3. Valores y parámetros utilizados para ajuste	54
6.2. Ajuste de parámetros	56
6.2.1. Resultados	56
6.2.2. Discusión parcial	59
6.3. Simulación	60
6.3.1. Parámetros simulación	61
6.3.2. Resultados	62
6.3.2.1. Comportamiento de oxígeno	62
6.3.2.2. Comportamiento de temperatura	64
6.3.2.3. Comportamiento de biomasa	66
6.3.3. Discusión parcial	67
6.3.3.1. Concentración de oxígeno	68
6.3.3.2. Temperatura	68
6.3.3.3. Concentración biomasa	69
6.4. Análisis de sensibilidad	70
6.4.1. Resultados	70
6.4.1.1. Constante de saturación de oxígeno	70
6.4.1.2. Velocidad de crecimiento específica óptima	72
6.4.2. Discusión parcial	74
7. Propuesta de diseño	76
7.1. Metodología	76
7.1.1. Variación en la altura	78
7.1.2. Variación temperatura de operación	78
7.1.3. Variación flujo de entrada	79
7.2. Resultados	79
7.2.1. Altura del lecho	79
7.2.2. Variación temperatura	79
7.2.3. Variación flujo de entrada	80
7.2.4. Análisis multicriterio	80
7.3. Discusión parcial	81
8. Conclusión	83
Bibliografía	85
Anexo A. Cálculo de parámetros	88
A.1. Coeficiente de transferencia de masa medio homogéneo	88
A.2. Estabilidad numérica	90
A.3. Área específica Λ	92

A.4. Fracción inicial de oxígeno	93
A.5. Presión de vapor y de equilibrio	93
A.6. Coeficiente de transferencia de calor medio homogéneo	95
A.7. Biomasa inicial	96
Anexo B. Datos experimentales	98
Anexo C. Implementación y resolución matemática	100
C.1. Código de ajuste de parámetros	100
Anexo D. Resultado de simulaciones y análisis multicriterio	133