

# TABLA DE CONTENIDO

---

Índice de Tablas.....	vi
Índice de Figuras.....	viii
1 Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.1.1 Algas.....	3
1.1.2 Macrocystis pyrifera.....	4
1.1.3 Antioxidantes .....	6
1.1.4 Florotaninos.....	7
1.2 Objetivos .....	11
1.3 Metodología de trabajo.....	11
2 Capítulo 2: Resultados y Discusión de Evaluación Técnica.....	13
2.1 Descripción del proceso de extracción.....	13
2.2 Caso Base.....	15
2.3 Balances de masa por operación unitaria .....	17
2.3.1 Secado .....	17
2.3.2 Reducción de tamaño.....	18
2.3.3 Extracción de lípidos.....	18
2.3.4 Hidrólisis de carbohidratos y separación de flujos .....	19
2.3.5 Extracción de florotaninos y carbohidratos .....	21
2.3.6 Adsorción.....	22
2.3.7 Desorción .....	22
2.3.8 Concentración.....	23
2.3.9 Secado .....	23
2.3.10 Procesos de recuperación .....	24
2.3.11 Producción enzimas .....	24
2.4 Cálculo y Análisis de Rendimientos .....	25
2.5 Diagrama de Flujo y Equipos .....	25
2.5.1 Selección de equipos.....	27
2.5.2 Dimensionamiento.....	29
2.6 Balances de energía y servicios.....	32
2.7 Discusión.....	35
3 Capítulo 3: Resultados y Discusión de Evaluación Económica y Análisis de Sensibilidad.....	39
3.1 Costos de Inversión (CAPEX).....	39

3.2	Costos Operacionales (OPEX).....	43
3.2.1	Costos directos de producción .....	43
3.2.2	Costos de administración y ventas .....	47
3.3	Ingresos .....	47
3.4	Flujo de Caja .....	47
3.4.1	Caso: sin recuperación de solventes .....	48
3.4.2	Caso: compra de enzimas comerciales .....	49
3.4.3	Caso: inversión para producción de bioetanol.....	50
3.4.4	Caso: contenido lipídico despreciable .....	51
3.5	Análisis de Sensibilidad.....	51
3.5.1	Obtención de la materia prima.....	52
3.5.2	Costo de equipo de ultrafiltración .....	53
3.5.3	Rendimientos etapa purificación.....	53
3.5.4	Precio de venta de los florotaninos.....	54
3.5.5	Precio de venta carbohidratos .....	55
4	Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones .....	58
4.1	Conclusiones.....	58
4.2	Recomendaciones.....	60
5	Bibliografía .....	61
6	Anexos .....	71
6.1	Composición alga.....	71
6.2	Caso Base.....	72
6.3	Balances de masa.....	73
6.3.1	Secado .....	77
6.3.2	Extracción de lípidos.....	77
6.3.3	Hidrólisis de carbohidratos .....	77
6.3.4	Extracción florotaninos y carbohidratos .....	81
6.3.5	Adsorción.....	82
6.3.6	Desorción .....	84
6.3.7	Concentración.....	86
6.3.8	Secado .....	86
6.3.9	Línea producción enzimas.....	86
6.3.10	Línea recuperación de hexano .....	90
6.3.11	Línea recuperación de etanol .....	90
6.4	Selección de equipos y dimensionamientos.....	91
6.4.1	Secado .....	91

6.4.2	Reducción de tamaño.....	93
6.4.3	Extracción de lípidos.....	94
6.4.4	Hidrólisis de carbohidratos .....	95
6.4.5	Extracción de florotaninos y carbohidratos .....	96
6.4.6	Purificación .....	96
6.4.7	Centrífugas .....	99
6.4.8	Equipos de mezclado .....	100
6.4.9	Línea producción de enzimas.....	100
6.4.10	Recuperación de hexano.....	106
6.4.11	Recuperación de etanol.....	106
6.4.12	Concentración florotaninos .....	107
6.4.13	Secado de florotaninos .....	108
6.4.14	Concentración de carbohidratos .....	108
6.5	Servicios requeridos.....	109
6.5.1	Potencia de agitación .....	109
6.5.2	Requerimientos energéticos .....	115
6.5.3	Biomasa.....	121
6.6	Consideraciones Layout.....	122
6.7	Costo equipos y terreno .....	124
6.8	Organigrama y sueldos .....	125
6.9	Costos operacionales.....	129
6.10	Ingresos .....	130
6.11	Depreciación .....	130
6.12	Flujo de caja principal .....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1: Porcentaje de cantidad de empresas por sector y porcentaje de aporte al valor agregado del país del subsector más relevante [3].	1
Tabla 2: Porcentaje de cada sector en las exportaciones.	2
Tabla 3: Polisacáridos en macroalgas [10].	3
Tabla 4: Exportaciones de productos del sector pesquero 2016 [11][12].	4
Tabla 5: Actividad antioxidante por tipo de preservante.	9
Tabla 6: Tipos de polisacáridos en el alga.	15
Tabla 7: Composición de la materia prima en porcentajes máxicos (%p/p).	15
Tabla 8: Mercados de antioxidantes, antioxidantes naturales, vitamina C y caso base de florotaninos en toneladas.	15
Tabla 9: Parámetros para obtener la cantidad de alga requerida y cantidad húmeda y fresca para cubrir el caso base.	16
Tabla 10: Ventas de Naturex [31] y porcentaje en relación al mercado de la vitamina C.	16
Tabla 11: Flujo por año, día y hora de materia prima y producto principal.	17
Tabla 12: Balances de masa secado, en filas blancas la composición del alga.	18
Tabla 13: Balances de masa extracción lípidos, en filas blancas se muestra la composición del alga.	19
Tabla 14: Balance de masa hidrólisis de carbohidratos, los cuadros blancos muestran el desglose por tipo.	20
Tabla 15: Balances masa etapa de separación post hidrolisis.	20
Tabla 16: Balances de masa extracción.	21
Tabla 17: Balances de masa etapa separación post extracción.	21
Tabla 18: Balances de masa etapa adsorción.	22
Tabla 19: Balances de masa etapa desorción.	22
Tabla 20: Flujos importantes de la concentración de producto.	23
Tabla 21: Balances de masa de la etapa de secado.	23
Tabla 22: Flujos relevantes de la línea de fermentación.	25
Tabla 23: Rendimientos globales del proceso para florotaninos y carbohidratos (CH).	25
Tabla 24: Dimensionamientos equipos línea principal.	29
Tabla 25: Dimensionamientos equipos secundarios, fermentación, recuperación y subproducto.	31
Tabla 26: calores y servicios del proceso.	32
Tabla 27: Potencias requeridas por los equipos del proceso.	34
Tabla 28: Costos de los equipos del proceso.	39
Tabla 29: Resumen CAPEX.	41
Tabla 30: Costos de materias primas, insumos y servicios.	45
Tabla 31: Gastos directos de producción, OPEX.	46
Tabla 32: Gastos de administración, OPEX.	47
Tabla 33: OPEX.	47
Tabla 34: Ingresos por venta.	47
Tabla 35: Escenario Basal de la Evaluación Económica.	48
Tabla 36: Efectos de no recuperación de solventes.	49
Tabla 37: Evaluación caso sin línea de producción de enzimas, se compran las enzimas según los valores del estudio mencionado.	49

Tabla 38: Evaluación en el caso de inversión para producir bioetanol.....	51
Tabla 39: Evaluación en el caso sin lípidos.....	51
Tabla 40: Análisis de sensibilidad de obtención materia prima .....	52
Tabla 41: Indicadores análisis de sensibilidad costo UF-1 .....	53
Tabla 42: Análisis de sensibilidad purificación .....	54
Tabla 43: Análisis de sensibilidad del precio de venta florotaninos.....	55
Tabla 44: Análisis de sensibilidad del precio de venta carbohidratos.....	55
Tabla 45: Composición de una muestra de <i>M. pyrifera</i> , correspondiente a noviembre del 2011, ciudad de Puerto Montt, Chile. ....	71
Tabla 46: Concentración de cada pigmento y porcentaje con respecto al total. ...	71
Tabla 47: Balances de masa proceso principal, parte 1 .....	73
Tabla 48: Balances de masa proceso principal, parte 2.....	74
Tabla 49: Balances de masa procesos no principales en kg/h.....	75
Tabla 50: Flujos de servicios del proceso .....	76
Tabla 51: Parámetros a utilizar en la cinética enzimática.....	78
Tabla 52: Cálculos obtenidos para la cinética enzimática .....	79
Tabla 53: Parámetros reacción enzimática .....	80
Tabla 54: Tipos de carbohidratos en los flujos involucrados en la reacción .....	80
Tabla 55: Florotaninos y carbohidratos en el flujo 10 .....	81
Tabla 56: Tipos de carbohidratos en el flujo 10 y 11 .....	81
Tabla 57: Componentes flujos 14 y 15, además del porcentaje de separación.....	82
Tabla 58: Tipos de carbohidratos en el flujo 14 y 15 .....	82
Tabla 59: Características de las centrífugas del proceso .....	100
Tabla 60: Dimensiones de tanques de agitación del proceso .....	100
Tabla 61: Parámetros liofilizador [68] .....	108
Tabla 62: Parámetros evaporador multiefecto.....	109
Tabla 63: Parámetros utilizados en los cálculos de potencia .....	114
Tabla 64: Dimensiones del sistema de agitación para los tanques .....	114
Tabla 65: Potencias de agitación en los equipos del proceso .....	114
Tabla 66: Potencias de los equipos sin agitación.....	115
Tabla 67: Áreas del layout.....	123
Tabla 68: Electricidad requerida por iluminación por área .....	123
Tabla 69: Sueldos y costo anual para la empresa según el cargo .....	128
Tabla 70: Detalle precio sales .....	129
Tabla 71: Depreciación de los activos físicos.....	130
Tabla 72: Flujo de caja para el caso basal .....	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1: Estructura de <i>M. pyrifera</i> .....	5
Figura 2: Ciclo de vida de las algas pardas [24].....	6
Figura 3: Ruta de síntesis de los florotaninos en el alga parda.....	8
Figura 4: Pared celular de algas pardas de orden Fucales.....	9
Figura 5: Metodología de trabajo.....	12
Figura 6: Diagrama de bloques del proceso.....	13
Figura 7: Diagrama de bloques del proceso secundario: producción de enzimas marinas .....	14
Figura 8: Flujos etapa de secado .....	17
Figura 9: Flujos etapa de reducción de tamaño .....	18
Figura 10: Flujos etapa extracción de lípidos .....	18
Figura 11: Flujos etapa hidrólisis de carbohidratos .....	19
Figura 12: Reacciones en estudio .....	19
Figura 13: Flujos etapa de extracción. ....	21
Figura 14: Flujos etapa de adsorción .....	22
Figura 15: Flujos etapa de desorción .....	22
Figura 16: Flujos etapa de concentración .....	23
Figura 17: Flujos etapa de secado .....	23
Figura 18: Flujos recuperación hexano .....	24
Figura 19: Flujos recuperación etanol .....	24
Figura 20: Flujos concentración carbohidratos.....	24
Figura 21: Flujos preparación de medio de cultivo .....	24
Figura 22: Flujos producción y concentración enzimas.....	25
Figura 23: Diagrama de flujos.. .....	26
Figura 24: Esquema de un mezclador sedimentador [55] .....	27
Figura 25: Esquema de un equipo de ultrafiltración industrial tubular.....	30
Figura 26: Diagrama de flujos de servicios e integraciones .....	33
Figura 27: Porcentaje del costo de cada equipo. ....	40
Figura 28: Costo de equipos por línea del proceso .....	40
Figura 29: Layout de la planta, cotas en metros.....	42
Figura 30: Organigrama de los trabajadores de la planta .....	44
Figura 31: Relevancia de cada ítem de los gastos de producción .....	46
Figura 32: Flujos netos de caja en la evaluación basal .....	48
Figura 33: Proceso de producción de bioetanol desde algas pardas .....	50
Figura 34: Análisis de sensibilidad para el porcentaje de cultivo de alga .....	52
Figura 35: Análisis de sensibilidad costo del equipo de ultrafiltración 1 (UF-1).....	53
Figura 36: Análisis de sensibilidad purificación .....	54
Figura 37: Análisis de sensibilidad precio florotaninos .....	55
Figura 38: Análisis de sensibilidad precio carbohidratos.....	56
Figura 39: Resumen análisis de sensibilidad con respecto al VAN .....	56
Figura 40: Fórmula CAGR.....	72
Figura 41: Reacciones enzimáticas en estudio .....	78