

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto . . . . .	1
1.2. Motivación . . . . .	2
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3. Marco teórico</b>	<b>4</b>
3.1. Caracterización de biofertilizantes . . . . .	4
3.2. Microorganismos utilizados como biofertilizantes . . . . .	5
3.3. Proceso de producción . . . . .	7
3.3.1. Pretratamiento y propagación . . . . .	8
3.3.2. Producción . . . . .	8
3.3.3. Formulación del producto final . . . . .	9
<b>4. Estudio de mercado</b>	<b>11</b>
4.1. Mercado de bioinoculantes . . . . .	12
4.2. Mercado de bioinoculantes en Chile . . . . .	12
4.2.1. Oferta nacional . . . . .	12
4.2.2. Importaciones . . . . .	15
<b>5. Selección de bacterias</b>	<b>19</b>
5.1. Características de las bacterias seleccionadas . . . . .	20
5.2. Co-inoculación . . . . .	21
5.3. Experiencia en Chile . . . . .	21
<b>6. Capacidad de la línea de proceso</b>	<b>22</b>
<b>7. Selección del proceso de producción</b>	<b>25</b>
7.1. Medio de cultivo . . . . .	25
7.1.1. Fuente de Carbono . . . . .	25
7.1.2. Fuente de Nitrógeno . . . . .	27
7.1.3. Fuente de Fósforo y Azufre . . . . .	27
7.1.4. Micronutrientes y vitaminas . . . . .	27
7.1.5. Factores fisicoquímicos . . . . .	27
7.1.6. Selección del medio de cultivo . . . . .	28
7.2. Fermentación . . . . .	30

7.3.	Concentración de la biomasa . . . . .	30
7.4.	Formulación . . . . .	31
<b>8.</b>	<b>Balance de masa</b>	<b>32</b>
8.1.	Etapas de fermentación . . . . .	34
8.1.1.	Cultivo de <i>Azotobacter chroococcum</i> . . . . .	34
8.1.2.	Cultivo de <i>Azospirillum lipoferum</i> . . . . .	45
8.1.3.	Esterilización . . . . .	46
8.2.	Etapas de concentración del cultivo celular . . . . .	48
8.2.1.	Centrífuga tubular . . . . .	48
8.3.	Etapas de Formulación . . . . .	51
8.3.1.	Liofilizador . . . . .	51
<b>9.</b>	<b>Diseño y selección de equipos</b>	<b>53</b>
9.1.	Equipos principales . . . . .	53
9.1.1.	Fermentadores . . . . .	53
9.1.2.	Centrífuga tubular . . . . .	60
9.1.3.	Liofilizador . . . . .	63
9.2.	Equipos adicionales . . . . .	68
9.2.1.	Dosificadora y envasadora de polvos . . . . .	68
9.2.2.	Autoclave . . . . .	68
9.2.3.	Caldera . . . . .	68
9.2.4.	Compresor . . . . .	69
9.2.5.	Bombas . . . . .	69
<b>10.</b>	<b>Programación de operaciones</b>	<b>71</b>
10.1.	Planificación y organización del proceso . . . . .	71
<b>11.</b>	<b>Evaluación económica</b>	<b>73</b>
11.1.	Costos de inversión . . . . .	73
11.1.1.	Costos directos . . . . .	73
11.1.2.	Costos indirectos . . . . .	75
11.1.3.	Costo total de inversión . . . . .	76
11.2.	Costos de capital de trabajo . . . . .	76
11.3.	Costos de operación . . . . .	76
11.3.1.	Costos fijos . . . . .	76
11.3.2.	Costos Variables . . . . .	77
11.3.3.	Costos totales de operación . . . . .	79
11.4.	Ingresos . . . . .	80
11.5.	Flujo de caja . . . . .	80
11.5.1.	Indicadores económicos . . . . .	82
<b>12.</b>	<b>Discusión y Conclusiones</b>	<b>84</b>
12.1.	Discusión . . . . .	84
12.2.	Conclusiones . . . . .	86
12.3.	Recomendaciones . . . . .	87

## Bibliografía

87

## Anexos

100

A.	Proyectos financiados por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) . . .	100
B.	Resumen balance de masa . . . . .	106
C.	Tablas de vapor . . . . .	109
D.	Calor a retirar del producto . . . . .	110
E.	Diseño alternativo de liofilizador. . . . .	113
E.1.	Esquema del proceso . . . . .	113
E.2.	Datos . . . . .	113
E.3.	Justificación de elección de parámetros . . . . .	113
E.3.1.	Diseño de la cámara de liofilización . . . . .	114
E.3.1.1.	Tamaño de la cámara de vacío . . . . .	114
E.3.1.2.	Forma y espesor de las tapas del liofilizador . . . . .	117
E.3.1.3.	Espesor de la lámina al interior de la cámara de vacío . . . . .	119
E.3.1.4.	Espesor de las bandejas . . . . .	120
E.3.2.	Selección de la bomba de vacío . . . . .	121
E.4.	Cálculo Sistema de Refrigeración . . . . .	125
E.5.	Cálculo Sistema de Calefacción . . . . .	129
F.	Evaluación económica . . . . .	130