

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	3
2. Objetivos y limitaciones	4
3. Marco teórico	5
3.1. Contexto de las algas	5
3.1.1. Estado del arte de las algas	5
3.2. Contexto de purines	6
3.2.1. Estado del arte del abono	7
3.3. Medio ambiente	7
3.3.1. Medio ambiente y metano	7
3.3.2. Medio ambiente y algas	8
3.3.3. Medio ambiente y abono	8
3.4. Producción de biogás	8
3.4.1. Consorcio de microorganismos	9
3.5. Proceso productivo	11
3.5.1. Materia prima	12
3.5.2. Pre-tratamiento	13
3.5.3. Tipos de biodigestores	14
3.5.4. Factores que afectan el proceso productivo	14
3.5.5. Post-tratamiento	15
3.5.6. Producto	16
3.5.6.1. Biogás	16
3.5.6.2. Bioabono	17
3.6. Evaluación de proyectos	17
3.6.1. Análisis FODA	17
3.6.2. Retorno de la inversión (Payback)	17
3.6.3. Valor actual neto (VAN)	18
3.6.4. Tasa interna de retorno (TIR)	18
3.7. Marco legal	18
4. Justificación, Oportunidad y contexto	20
5. Metodología	22
6. Evaluación técnica, resultados y discusión	23
6.1. Caso base	23
6.2. Materia prima	23
6.3. Pre-tratamiento	23
6.4. Dimensionamiento del biodigestor	24
6.4.1. Ecuación de diseño	24
6.4.2. Parámetros y cinética de crecimiento	24
6.5. Flujo de metano, gases de salida y agitación	26
6.6. Post-tratamiento	28
6.6.1. Esponja de hierro	28
6.6.2. Filtración con medio filtrante KDF 85	28
6.6.3. Filtro de carbón activado	28

6.6.4. Bioabono	29
7. Biodigestor, instalación y condiciones de operación	30
7.1. Componentes del biodigestor	30
7.2. Instalación del Biodigestor	31
7.3. Modo de operación	32
7.4. Efluentes	32
7.5. Recomendaciones	32
8. Marco legal y financiamiento	34
8.1. Marco legal	34
8.2. Financiamiento	34
9. Evaluación económica-social y discusión	35
9.1. Modelo Canvas	35
9.2. Análisis FODA	35
9.3. Evaluación económica privada y análisis de sensibilidad	36
9.3.1. Caso base	36
9.3.2. Alternativa I	37
9.3.3. Alternativa II	37
9.3.4. Alternativa III	38
9.4. Evaluación económica social	39
9.4.1. Alternativa I: Fondo Estatal	40
9.4.2. Alternativa I: Subsidio	40
10. Conclusiones y recomendaciones	42
10.1. Conclusiones	42
10.2. Recomendaciones a la comunidad Mapuche José Painecura	44
Bibliografía	45
Anexo A. Reacciones de acetogénesis y metanogénesis	50
Anexo B. Temperatura	50
B.1. Temperatura para microorganismos	50
B.2. Temperatura del subsuelo	51
Anexo C. Visita de terreno	52
Anexo D. Caracterización del sustrato	54
Anexo E. Co-digestión de purines de pollo y paja de trigo	57
Anexo F. Dimensionamiento del biodigestor	58
F.1. Balance global	58
F.2. Balance de biomasa	59
F.3. Balance de sustrato	59
F.4. Balance de producto	60
F.5. Parámetros y cinética de crecimiento de los microorganismos	60
F.6. Cálculo del rendimiento $Y_{P/S}$ y flujo másico de metano	61
Anexo G. Energía y temperatura	64

Anexo H. Composición de metano	66
Anexo I. Criterios de diseño	68
Anexo J. Agitación	68
Anexo K. Efluentes	69
K.1. Balances de masa	70
K.2. Caracterización del efluente	71
Anexo L. Biodigestor marca Durman®	72
L.1. Partes y dimensiones	72
L.2. Recomendaciones de excavación	72
Anexo M. Evaluación Económica privada	73
M.1. Caso base	73
M.2. Alternativa I	74
M.3. Alternativa II	74
M.4. Alternativa III	75
Anexo N. Evaluación Económica Social	75
N.1. Alternativa I: Fondo estatal	76
N.2. Alternativa I: Subsidio	77
Anexo Ñ. Propiedades de mezcla	77

Lista de Figuras

1. Capacidad instalada y generada de ERNC al sistema eléctrico el mes de febrero del 2021 [6].	2
2. Desembarque pesquero nacional: Período 2000-2018. Fuente: Sernapesca.	6
3. Esquema general de las etapas metabólicas en la digestión anaeróbica [24].	11
4. Diagrama de bloques para la producción de biogás. Fuente: Elaboración propia.	12
5. Ubicación geográfica de la comunidad José Painecura [36]	20
6. Esquema de la metodología del proyecto. El esquema contempla cinco etapas generales: Idea del proyecto, Estudio técnico/mercado (búsqueda bibliográfica), oportunidad de negocio, Evaluación técnica/económica (teórico) y análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia	22
7. Producción de biogás $B[L/gSV]$ en función de los días a distintas temperaturas [27]. Esto a partir de la digestión anaeróbica de <i>Laminaria digitata</i>	24
8. Variación de μ_{max} respecto a la temperatura a partir de la digestión anaeróbica de <i>Laminaria digitata</i>	26
9. Esquema del biodigestor y sus componentes. 1. Tubería de entrada. 2. Tubería de salida del biogás (respiradero). 3. Acceso para registro y limpieza. 4. Tubería de salida. 5. Biodigestor de polietileno. 6. Tubería de extracción de lodos. 7. Caja de registro de lodos. 8. Base de concreto. 9. Relleno (en capas de 0,2 [m]). 10. Capa de mortero reforzado con malla. [50].	30
10. Campo de infiltración [48].	31
11. Análisis FODA.	36

12.	Flujo de caja caso base. Los periodos del año 3 al 8 fueron omitidos, ya que equivalen a los mismos valores que los otros periodos.	37
B.1.	Tasa de crecimiento relativo de microorganismos Piscrófilos, Mesófilos y Termófilos [8].	51
B.2.	Evolución de la temperatura respecto a la profundidad del suelo [8].	52
C.1.	Ubicación geográfica de la comunidad José Painecura [36]	53
C.2.	Borde costero de la comunidad José Painecura.	53
C.3.	vista superior del lugar de extracción de algas en la comunidad José Painecura. . . .	54
E.1.	Producción de biogás B [L/kg SV] en función de los días [27].	57
E.2.	Producción de biogás B [L/kg SV] en función de los días para distintas proporciones de paja de trigo (RS) y purines de pollo (CM)[10].	58
F.1.	Ajuste lineal de los datos experimentales a 25°C.	62
G.1.	Corte transversal del biodigestor con las capas de transferencia de calor y representación de las resistencias asociadas.	65
J.1.	Correlación entre el número de potencia y el Reynold para tres tipos de turbinas. . .	69
L.1.	Partes del biodigestor Durman.	72
M.1.	Flujo de caja caso base.	74
M.2.	Flujo de caja Alternativa I.	74
M.3.	Flujo de caja Alternativa II.	75
M.4.	Flujo de caja Alternativa III.	75
N.1.	Flujo de caja social de la Alternativa I, considerando financiamiento estatal.	77
N.2.	Flujo de caja social de la Alternativa I, considerando subsidio del 90 %.	77

Lista de Tablas

1.	Composición de algas pardas de mayor interés comercial. Porcentaje expresado en base seca [15].	5
2.	Composición de purines utilizadas para producción de biogás. Promedios expresado en base seca [8].	7
3.	Contribución relativa de los gases al efecto invernadero [8].	7
4.	Características generales del biogás [15].	9
5.	Ejemplos de bacterias que participan en las etapas [8].	11
6.	Producción de biogás teórica de algunos compuestos orgánicos [8].	12
7.	Rendimientos promedios teóricos en la producción de biogás a partir de algunas materias primas [26][27].	13
8.	Rendimientos promedios teóricos en la producción de biogás a partir de algunas materias primas [10][28].	13
9.	Ventajas y desventajas de algunos tratamientos físicos, químicos y biológicos. [9]. . .	14
10.	Composiciones usuales de algunos compuestos del biogás [26].	16
11.	Composición de mezcla macroalgas-purines. Los porcentajes de C , H , O , N y S están calculados respecto a los SV	23
12.	Resumen de parámetros cinéticos a distintas temperaturas.	25
13.	Resumen de parámetros de diseño.	27
14.	Flujos máxicos y composición del gas a partir del flujo de metano calculado.	27
15.	Flujos máxicos en la corriente de efluente. M_E : Flujo máxico total del efluente. $M_{E,SV}$: Flujo máxico de sólidos volátiles en el efluente. M_{E,H_2O} : Flujo máxico de agua en el efluente. $M_{E,C}$: Flujo máxico de carbono en el efluente. $M_{E,N}$ Flujo máxico de nitrógeno en el efluente.	29
16.	Caracterización del efluente. R_C y R_N es la reducción de carbono y nitrógeno respectivamente, en relación al carbono y nitrógeno de la corriente de entrada M_T	29

17.	Eficiencia de remoción del biodigestor Rotoplás [50].	32
18.	Modelo Canvas.	35
19.	Conceptos y precios.	36
20.	Indicadores económicos del caso base.	37
21.	Indicadores económicos de la alternativa I.	37
22.	Indicadores económicos de la alternativa II.	38
23.	Indicadores económicos de la alternativa III.	38
24.	Valor actual neto en función de la temperatura.	39
25.	Criterio de ejecución de proyecto social y privado [52].	39
26.	Indicadores económicos de la alternativa I con fondo estatal.	40
27.	Indicadores económicos de la alternativa I con subsidio.	41
A.1.	Reacciones de acetogénesis [58].	50
A.2.	Reacciones de metanogénesis [58].	50
B.1.	Rangos de temperatura y tiempos de retención hidráulico (THR) [8].	51
D.1.	Composición y caracterización de las macroalgas [27].	55
D.2.	Composición y caracterización de purines de porcino [26].	55
D.3.	Composición de mezcla macroalgas-purines. Los porcentajes de C, H, O, N y S están calculados respecto a los SV	56
F.1.	Resumen de parámetros cinéticos.	63
H.1.	Moles calculados con la ecuación de Buswell y Boyle.	67
H.2.	Moles, gramos y composiciones teóricas.	67
H.3.	Flujos másicos y composición del gas a partir del flujo de metano calculado.	67
I.1.	Fuentes de información distintas a las bibliográficas.	68
I.2.	Criterios de diseño. SV se refiere a los sólidos volátiles, L_{CH_4} a los litros de metano y d a los días	68
I.3.	Pesos moleculares.	68
K.1.	Composición de mezcla macroalgas-purines. Los porcentajes de C, H, O, N y S están calculados respecto a los SV	71
L.1.	Algunas dimensiones del biodigestor Durman.	72
L.2.	Radio del biodigestor y los rellenos.	73
M.1.	Conceptos y precios.	73
N.1.	Factores de corrección [61].	76
N.2.	Conceptos y precios.	76
Ñ.1.	Correlación para calcular la densidad (ρ).	78
Ñ.2.	Correlaciones para calcular el calor específico c_p	78
Ñ.3.	Correlaciones para calcular la conductividad térmica (k).	78
Ñ.4.	Composición de purines y Huiro en base seca. La cuarta columna es el promedio de las composiciones [8][15].	78
Ñ.5.	Composición de purines y Huiro.	79
Ñ.6.	ρ, c_p y k_{mezcla} calculados.	79