



Estudio de Prefactibilidad de un proyecto para el Aprovechamiento Energético de Residuos Orgánicos con Tecnología de Biogás en el Estado de Quintana Roo

Junio 2022

La Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó bajo el marco del “Apoyo a la implementación de la transición energética en México” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de la SEMA del Estado de Quintana Roo y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

E info@giz.de
I www.giz.de

“Apoyo a la implementación de la transición energética en México”

Agencia de la GIZ en México
Torre Hemicor, PH
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. Del Valle
C.P. 03100, México D.F.
T +52 55 5536 2344
F + 52 55 5536 2344
E giz-mexiko@giz.de
www.giz.de/mexico

Versión junio 2022

Edición y Supervisión: Lic. Efraín Villanueva Secretario de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) del Estado de Quintana Roo, Biol. Elvira Carvajal Subsecretaria de Gestión y Protección Ambiental (SEMA), Rigel Pacheco (SEMA) Miguel Xijun (SEMA), Yafith Montalvo (SEMA), Joaquín Pereyra (GIZ), Cecilia Porte-Petit (GIZ).

Autor(as): Pablo Alarcón, Daniela Méndez, Lourdes Durón, Izarely Rosillo, Salvador Acosta, Arcelia Rojas y Carlos Hernández - Grupo TAAF

Diseño: GIZ México

Por encargo del
Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania

Tabla de Contenido

1	Resumen Ejecutivo.	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Objetivo.....	1
1.3	Análisis de tecnologías para el aprovechamiento energético de RSU – fracción orgánica con tecnología de biogás.	1
1.3.1	Biogás.....	3
1.3.2	Digestato.	4
1.3.3	Evaluación de las alternativas de procesos y tecnologías de biodigestión. .	5
1.4	Proyecto a nivel conceptual con elementos de ingeniería básica preliminares y preparación de flujo de caja y determinación de indicadores financieros.....	7
1.4.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	7
1.4.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.	8
1.5	Análisis sobre el esquema de negocio.	10
1.5.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	11
1.5.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.	12
1.6	Resultados clave.	13
1.6.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	13
1.6.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres	13
1.7	Conclusiones y recomendaciones.	14
1.7.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	14
1.7.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.	15
2	Antecedentes.	17
3	Objetivo	20
4	Alcances.	21
5	Visita de Campo	23
5.1	Entendimiento de la gestión y el manejo de fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y de residuos de manejo especial.....	24
5.1.1	Entrevista con representantes del Ayuntamiento de Benito Juárez y del SIRE SOL.	24
5.1.2	Recorrido por el centro intermunicipal de manejo integral de residuos sólidos (CIMIRS).....	25

5.2	Lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	29
5.2.1	Entrevista con representantes de Aguakan.....	29
5.2.2	Recorrido por PTAR polígono sur, municipio de Benito Juárez.....	31
5.3	Conclusiones.....	32
6	Análisis de tecnologías para el aprovechamiento energético de RSU – fracción orgánica con tecnología de biogás.....	34
6.1	Identificación y caracterización de procesos y tecnologías de biodigestión.....	34
6.1.1	Tratamiento mecánico biológico.....	34
6.1.2	Componente mecánico.....	38
6.1.3	Rechazo.....	43
6.1.4	Componente biológico.....	44
6.2	Evaluación de las alternativas de procesos y tecnologías de biodigestión.....	62
6.3	Determinación de procesos y tecnologías elegibles del componente biológico.....	66
6.4	Impactos sociales y ambientales por empleo de tecnología.....	71
6.4.1	Identificación de impactos ambientales.....	72
6.4.2	Identificación de impactos sociales.....	87
6.5	Conclusiones.....	89
7	Proyecto a nivel conceptual con elementos de ingeniería básica preliminares.....	91
7.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	91
7.1.1	Antecedentes.....	91
7.1.2	Descripción de datos de entrada para el modelo financiero.....	105
7.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.....	110
7.2.1	Sistema de tratamiento de residuos orgánicos mediante biodigestión.....	110
7.2.2	Secuencia de funcionamiento del fermentador.....	124
7.2.3	Sistema para el acondicionamiento de biogás.....	130
7.2.4	Descripción de datos de entrada para el modelo financiero.....	136
8	Preparación de flujo de caja y determinación de indicadores financieros.....	141
8.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	141
8.1.1	Evaluación financiera.....	141
8.1.2	Evaluación económica y social.....	149
8.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.....	154
8.2.1	Evaluación financiera.....	154
8.2.2	Evaluación económica y social.....	163

9	Análisis sobre el esquema de negocio.....	168
9.1	Metodología Empleada para el Análisis sobre el Esquema de Negocio.	169
9.1.1	Análisis estratégico de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.	169
9.1.2	Modelo CANVAS.....	170
9.2	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	172
9.2.1	Componente de mercado.....	172
9.2.2	Componente operativo.....	179
9.2.3	Componente administrativo.	182
9.2.4	Componente financiero.....	184
9.2.5	Componente jurídico.....	185
9.2.6	Análisis del modelo de negocio.	185
9.3	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.	187
9.3.1	Componente de Mercado.....	187
9.3.2	Componente operativo.....	195
9.3.3	Componente administrativo.	198
9.3.4	Componente financiero.....	201
9.3.5	Componente jurídico.....	202
9.3.6	Análisis del modelo de negocio.	202
10	Resultados clave.	204
10.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	204
10.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.	204
11	Conclusiones y recomendaciones.	205
11.1	Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	205
11.2	Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.	207
12	Bibliografía.	209
13	Directorio de Entrevistados.	217
14	Anexo 1: Fichas descriptivas de las opciones de financiamiento.	219
14.1	Fondos climáticos.....	221
14.2	Banca multilateral.....	226
14.3	Banca multilateral especializada en el sector privado.....	229
14.4	Banca bilateral.....	232
14.5	Agencias de cooperación internacional.	234

14.6 Banca de desarrollo nacional.	239
14.7 Conceptos claves empleados.	245
Referencias.....	246
15 Anexo 2: Cotizaciones.	249
16 Anexo 3: Glosario de Términos.	250
17 Anexo 4: Listado y resumen de talleres internos, entrevistas y presentaciones.	254

Lista de Tablas

Tabla 1: Ejemplo de estimación de rangos de composición física de residuos.	37
Tabla 2: Eficiencia de segregación propuesta.....	37
Tabla 3: Valores de referencia para potencial producción de biogás.....	58
Tabla 4: Criterios de evaluación para alternativas de tratamiento de sistemas de biodigestión.	62
Tabla 5: Comparación de alternativas para tratamiento mediante biodigestión.....	64
Tabla 6: Posibles impactos directos negativos en la etapa de construcción del proyecto. 72	
Tabla 7: Posibles impactos directos negativos en la etapa de construcción del proyecto. 74	
Tabla 8: Posibles impactos directos negativos en la etapa de operación del proyecto.	75
Tabla 9: Posibles impactos indirectos negativos en la etapa de operación del proyecto. .	76
Tabla 10: Posibles impactos directos positivos en la etapa de construcción del proyecto. 77	
Tabla 11: Posibles impactos directos positivos en la etapa de operación del proyecto.....	77
Tabla 12: Posibles impactos indirectos positivos en la etapa de operación del proyecto..	77
Tabla 13: Medidas de mitigación para impactos en etapa de construcción.	78
Tabla 14: Medidas de mitigación para impactos en etapa de construcción.	83
Tabla 15: Desagregación de balance de masa.....	105
Tabla 16: Balance de energía eléctrica.	106
Tabla 17: Emisiones de GEI evitadas.....	106
Tabla 18: CAPEX precio y factores en obra civil y equipos 1 de 2.....	107
Tabla 19: CAPEX montos por inversiones 2 de 2.	107
Tabla 20: Equipo móvil considerado.....	108
Tabla 21: Otros elementos del CAPEX.	108
Tabla 22: Montos asociados al OPEX.	108
Tabla 23: Determinación de ingresos globales.	109
Tabla 24: Leyendas figuras.....	112
Tabla 25: Dimensiones de tanque de percolado, trampa de arena y pozo de percolado. 113	
Tabla 26: Dimensiones de tanque de percolado, trampa de arena y pozo de percolado. 114	
Tabla 27: Componentes y ensamblaje de la pared trasera.	116
Tabla 28: Especificaciones técnicas de los equipos de proceso.	119
Tabla 29: Especificaciones técnica del soplador de soporte del gasómetro.	120
Tabla 30: Especificaciones técnicas de la antorcha de emergencia de biogás y gas pobre.	122
Tabla 31: Parámetros de calidad del biometano a la entrada del sistema.....	131

Tabla 32: Parámetros de calidad del biometano a la salida del sistema.....	131
Tabla 33: Datos nominales.	131
Tabla 34: Presupuesto AB Energy.	136
Tabla 35: Desagregación de balance de masa.....	137
Tabla 36: Balance de energía.....	137
Tabla 37: Emisiones de GEI evitadas.....	137
Tabla 38: CAPEX precio y factores en obra civil y equipos 1 de 2.....	138
Tabla 39: CAPEX precio y factores en obra civil y equipos 1 de 2.....	138
Tabla 40: Equipo móvil considerado.....	139
Tabla 41: Otros elementos del CAPEX.	139
Tabla 42: Montos asociados al OPEX.....	139
Tabla 43: Determinación de ingresos globales.	140
Tabla 44: Determinación de la inversión total del proyecto.	141
Tabla 45: Determinación de la inversión total del proyecto.	142
Tabla 46: Determinación de la inversión total del proyecto.	143
Tabla 47: Determinación de la inversión total del proyecto.	144
Tabla 48: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.....	144
Tabla 49: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.....	145
Tabla 50: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.....	146
Tabla 51: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.....	146
Tabla 52: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y tarifa recepción y tratamiento de FORSU.....	146
Tabla 53: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y tarifa recepción y tratamiento de FORSU.....	147
Tabla 54: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y % de donación/subsidio a la inversión fija.	147
Tabla 55: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y % de donación/subsidio a la inversión fija.	148
Tabla 56: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y tarifa recepción y tratamiento de FORSU.....	148
Tabla 57: Determinación de la inversión total del proyecto a precios sociales.	151
Tabla 58: Determinación de los costos de operación del proyecto (valores en millones de dólares).....	151

Tabla 59: Determinación de los beneficios económicos (valores en millones de dólares).	152
Tabla 60: Indicadores costo – beneficio social.....	152
Tabla 61: Determinación de la inversión total del proyecto.	154
Tabla 62: Determinación de los costos de operación del proyecto (valores en millones de dólares).....	155
Tabla 63: Determinación de los ingresos del proyecto (valores en millones de dólares).	156
Tabla 64: Indicadores financieros.....	157
Tabla 65: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades de MOR recibidas y aplicando los precios de los diferentes hidrocarburos, expresados en USD/ MMBTU	157
Tabla 66: Análisis de sensibilidad de la relación beneficio costo ante cambios en cantidades de MOR recibidas y aplicando los precios de los diferentes hidrocarburos, expresados en USD/ MMBTU.....	158
Tabla 67: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades de MOR recibidas y ante cambios en la tarifa por tratamiento de materia orgánica.	159
Tabla 68: Análisis de sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y ante cambios en la tarifa por tratamiento de materia orgánica.	160
Tabla 69: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades de MOR recibidas y % de financiamiento externo.....	160
Tabla 70: Análisis de sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y % de financiamiento externo.....	161
Tabla 71: Análisis de sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y % de donación o subsidio al proyecto.	161
Tabla 72: Análisis de escenario multidimensional.....	162
Tabla 73: Determinación de la inversión total del proyecto a precios sociales.	165
Tabla 74: Determinación de los costos de operación del proyecto (valores en millones de dólares).....	165
Tabla 75: Determinación de los beneficios económicos (valores en millones de dólares).	165
Tabla 76: Indicadores costo – beneficio social.....	166
Tabla 77: Listado de cargos y cantidades del proyecto Cozumel.....	184
Tabla 78: Listado de cargos y cantidades.	201

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema de Aprovechamiento Energético de RSU y RME de la SEMARNAT..	18
Figura 2: Reunión con Representantes del Ayuntamiento de Benito Juárez y del OPD SIRESOL.....	24
Figura 3: Localización y Características Principales del CIMIRS.	26

Figura 4: Identificación de Principales Hallazgos de la Visita al CIMIRS.	27
Figura 5: Flujo de la Fracción Orgánica de Residuos en la Planta de Tratamiento.	28
Figura 6: Flujo de la Fracción Orgánica de Residuos en la Planta de Tratamiento.	29
Figura 7: Reunión con Representantes de Aguakan.	30
Figura 8: Localización y Condiciones Actuales de la PTAR Polígono Sur, Benito Juárez. 31	
Figura 9: Infraestructura para el Tratamiento de Aguas Residuales en la PTAR Polígono Sur.	31
Figura 10: Retiro de Arena y otros Subproductos Resultantes del Tratamiento.	32
Figura 11: Condiciones de Manejo de Lodos resultantes del Tratamiento de Aguas Residuales.	32
Figura 12: Procesos y Tecnologías del Sistema de Tratamiento para Quintana Roo.	34
Figura 13: Componentes de un Sistema de Tratamiento Mecánico Biológico.	35
Figura 14: Elementos que pueden Integrar un Sistema de Tratamiento Mecánico Biológico.	36
Figura 15: Características de la segregación automatizada.	38
Figura 16: Propuesta de elementos del componente mecánico de un sistema de tratamiento mecánico biológico.	39
Figura 17: Ejemplo sobre la entrada de residuos sólidos al sistema de tratamiento.	39
Figura 18: Ejemplo de separación de voluminosos.	40
Figura 19: Ejemplos de abre bolsas.	40
Figura 20: Esquema y ejemplo de tromel.	41
Figura 21: Ejemplos de separador balístico.	41
Figura 22: Ejemplos de separador magnético.	42
Figura 23: Ejemplos de separación inductiva.	42
Figura 24: Ejemplos de separador óptico.	43
Figura 25: Ejemplos de separación manual.	43
Figura 26: Ejemplo trituradoras de residuos.	44
Figura 27: Ejemplo de combustible derivado de residuos (CDR).	44
Figura 28: Elementos del sistema de tratamiento para el componente biológico.	45
Figura 29: Alternativas para la preparación de la materia prima en el proceso de biodigestión.	45
Figura 30: Evolución de las tecnologías de metanización.	47
Figura 31: Esquema de digestión anaerobia continua vía húmeda.	48
Figura 32: Ejemplo de sustrato conforme a condiciones de pretratamiento con operación vía húmeda.	49
Figura 33: Esquema de biodigestor con agitador tangencial y central para operación vía húmeda.	49

Figura 34: Esquema de digestión anaerobia continua vía seca.	51
Figura 35: Ejemplo de sustrato con operación continua vía seca.	52
Figura 36: Esquemas de biodigestores con operación vía seca.	53
Figura 37: Esquema de digestión anaerobia vía lotes en seco.	54
Figura 38: Ejemplo de Sustrato Conforme a Condiciones de Pretratamiento con Operación Vía Extra Seca.....	55
Figura 39: Esquemas de biodigestores con operación vía extra seca.	56
Figura 40: Identificación de salidas derivado del proceso de biodigestión.....	57
Figura 41: Alternativas para aprovechamiento del biogás.	58
Figura 42: Condiciones del digestato por tipo de alternativa de digestión anaerobia.	59
Figura 43: Técnicas de tratamiento del digestato.	60
Figura 44: Alternativas para aprovechamiento del digestato.	61
Figura 45: Alternativas para aprovechamiento del digestato.	63
Figura 46: Costo por tonelada en inversión de tres alternativas de digestión anaerobia. .	63
Figura 47: Costo por tonelada en inversión de tres alternativas de digestión anaerobia. .	64
Figura 48: Inversión total por m ³ de CH ₄	67
Figura 49: Operación y mantenimiento - % / inversión total.	68
Figura 50: Plazo para construcción.	68
Figura 51: Generación de metano por tonelada tratada por alternativa.	71
Figura 52: Tipo de actividades en etapa de construcción.....	72
Figura 53: Actividades en sistema de tratamiento.	75
Figura 54: Diseño conceptual de la tecnología de biodigestión seca continua insertada en el contexto de la gestión de residuos.	92
Figura 55: Diseño conceptual de la tecnología de biodigestión seca continua insertada en el contexto de la gestión de residuos.	93
Figura 56: Trituradora de bolsas.....	93
Figura 57: Precipitación de azufre en la malla utilizada para sustentar los microorganismos sulfoxidizantes.....	99
Figura 58: Equipos de cogeneración a biogás.	100
Figura 59: Quemador.	101
Figura 60: Diseño de fase 1.....	103
Figura 61: Balance de masa y energía.....	104
Figura 62: Sección del túnel de biodigestión.....	111
Figura 63: Sección del túnel de biodigestión.....	111
Figura 64: Vista de las puertas del fermentador con rejilla de retención.....	113

Figura 65: Vista superior del tanque de percolados/trampa de arenas sin tuberías y vista isométrica + sección pozo de percolados.....	114
Figura 66: Componentes y ensamblaje de la pared trasera.	116
Figura 67: Ensamblaje de la pared trasera.	117
Figura 68: Techo del fermentador con contenedores técnicos, gasómetro y antorcha. ..	118
Figura 69: Gasómetro de doble membrana con antorcha en el techo del fermentador (ejemplo).....	121
Figura 70: Antorcha de gas pobre y de emergencia de biogás (ejemplo).....	121
Figura 71: Esquema técnico de tecnologías de fregado.....	123
Figura 72: Ilustración esquemática: vaciado y llenado de un fermentador.	124
Figura 73: Ilustración esquemática: operación de puesta en marcha.	125
Figura 74: Ilustración esquemática: biodigestión.	126
Figura 75: Ilustración esquemática: operación de apagado.	127
Figura 76: Balance de masa preliminar.....	129
Figura 77: Ilustración esquemática: sistema de acondicionamiento de biogás.....	133
Figura 78: Diagrama de flujo de acondicionamiento de biogás.	134
Figura 79: Arreglo con vista en planta del sistema de acondicionamiento de biogás.....	135
Figura 80: Grafico comparativo, resultados de evaluación financiera, económica y social.	153
Figura 81: Comparativo, resultados de evaluación financiera, económica y social.	167
Figura 82: Estructura del Análisis sobre el Esquema de Negocio.....	168
Figura 83: Análisis Estratégico.	169
Figura 84: Lienzo del Modelo de CANVAS.	171
Figura 85: Macro Localización del proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.....	180
Figura 86: Diseño de fase 1 proyecto Cozumel.	181
Figura 87: Organigrama del proyecto Cozumel.....	183
Figura 88: Macro localización del proyecto Benito Juárez.....	195
Figura 89: Micro localización del proyecto Benito Juárez.....	196
Figura 90: Características del terreno.	197
Figura 91: Sistema de depuración de biogás.....	197
Figura 92: Organigrama del proyecto Benito Juárez.....	200
Figura 93: Fuentes de financiamiento	220

Listado de Abreviaturas

AMBB	Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás, A.C.
AMGNV	Asociación Mexicana de Gas Natural Vehicular
AOD	Ayuda Oficial al Desarrollo
CAMAR	Centro de Acopio de Materiales Reciclables
CAPEX	Gastos de Capital
CDR	Combustible Derivado de Rechazo
CEMIE-Bio	Centros Mexicanos de Innovación en Bioenergía.
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CHP	Combined Heat and Power
CIMIRS	Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNBiogás	Consejo Nacional de Biogás
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CSTR	Tanque Agitados Continuamente
CSTR	Sistema de Tratamiento de Residuos Segregado
DCS	Sistema de Control Distribuido
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ET	Tecnología Eléctrica
ETRS	Estación de Transferencia de Residuos Sólidos
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas
FORS	Fracción Orgánica de Residuos Generados
FORSU	Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos
FSE	Fondo de Sustentabilidad Energética

GEI	Gases Efecto Invernadero
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
HdR	Hoja de Ruta
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
MBT	Sistema de Tratamiento Mecánico Biológico
MOR	Materia Orgánica Recuperada
MP	Material Particulado
MT	Tecnología Mecánica
OGD	Órgano de Gestión del Destino Isla Cozumel
ONG	Organización No Gubernamental
OPD	Organismo Público Descentralizado
OPEX	Gastos de Operación
PTAR	Plantas de Tratamiento de Agua Residual
PCMONC	Precio Cuenta Mano de Obra No calificada
RDF	Refused Derive Fuel
RME	Residuos de Manejo Especial
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEMA	Secretaría de Ecología y Medio Ambiente.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIRESOL	Solución Integral de Residuos Sólidos
ST	Sólidos Totales
STPS	Secretaría de Trabajo y Previsión Social
TD	Tasa de Descuento
TIR	Tasa Interna de Retorno

TIRS	Tasa Interna de Retorno Social
TSD	Tasa Social de Descuento
VAN	Valor Actual Neto
VANE	Valor Actual Neto Económico
VPNS	Valor Presente Neto Social

1 Resumen Ejecutivo.

Este documento es una síntesis de la información de mayor relevancia del el **Estudio de Prefactibilidad para un Proyecto de Biogás en el Estado de Quintana Roo**, elaborado de agosto de 2021 a mayo de 2022.

1.1 Antecedentes.

Desde el año 2021 la SEMA del Gobierno del Estado de Quintana Roo, y la GIZ a través de su programa “Apoyo a la Implementación de la Transición Energética en México” (TrEM) y el CNBiogás trabajan en el desarrollo de una **Hoja de Ruta para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos** con el fin de identificar los retos y las barreras que enfrentan en la entidad, así como establecer las acciones para la atención y mejora en la gestión de residuos y el saneamiento; también, han elaborado el **Estudio de Prefactibilidad para un Proyecto de Biogás en el Estado de Quintana Roo** a fin de evaluar la viabilidad del uso y aplicación de tecnología para la generación de energía a través del aprovechamiento del biogás generado mediante la digestión anaerobia de los residuos orgánicos.

Para la integración del Estudio de Prefactibilidad, se utilizó información disponible, se tomó en cuenta la experiencia derivada de otros proyectos realizados y el criterio profesional de un grupo de especialistas; también se emplearon datos provenientes de publicaciones especializadas, estadísticas e información histórica y paramétrica, así como experiencias de otros países y gobiernos. Adicionalmente, se realizaron estudios técnicos, se obtuvieron cotizaciones y realizaron encuestas para sustentar la evaluación de la viabilidad del Proyecto.

1.2 Objetivo.

Con base en las condiciones particulares del estado de Quintana Roo, respecto a la corriente de residuos sólidos orgánicos, y el estado del arte tecnológico para su tratamiento y valorización mediante tecnología de biogás, detectar y refinar mediante visitas de campo las oportunidades para dimensionar a nivel conceptual uno o más proyectos, a fin de llevar a cabo su posterior evaluación financiera y económica, así como la construcción del o los esquemas de negocio asociados, permitiendo de este modo identificar los resultados clave, así como emitir las conclusiones y recomendaciones que permitan su implementación y replicabilidad en esta entidad federativa y en otras latitudes de la República Mexicana.

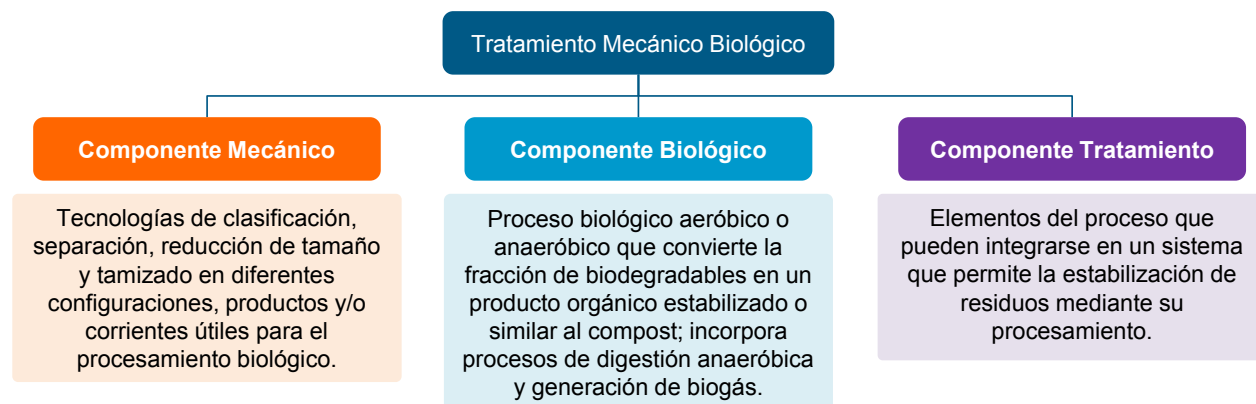
1.3 Análisis de tecnologías para el aprovechamiento energético de RSU – fracción orgánica con tecnología de biogás.

Como parte del análisis, se revisaron los procesos y tecnologías de biodigestión en el contexto de un sistema de MBT, y se recopilaron evaluaciones de tres opciones: digestión húmeda, digestión seca continua y digestión seca discontinua, a fin de disponer de argumentos para determinar la alternativa más conveniente para el Proyecto.

Inicialmente se revisó el término MBT (Kallassy, et al, 2008; 1) que se utiliza para describir un proceso híbrido que combina técnicas mecánicas para clasificar los residuos sólidos y técnicas biológicas para estabilizar su fracción orgánica; por lo que su diseño dependerá de los objetivos

que se busquen, como pueden ser: la producción de CDR, de composta, la recuperación de residuos reciclables (plásticos, papel, metales, etc.) y/o la estabilización de orgánicos.

Figura 1: Componentes de un Sistema de Tratamiento Mecánico Biológico.

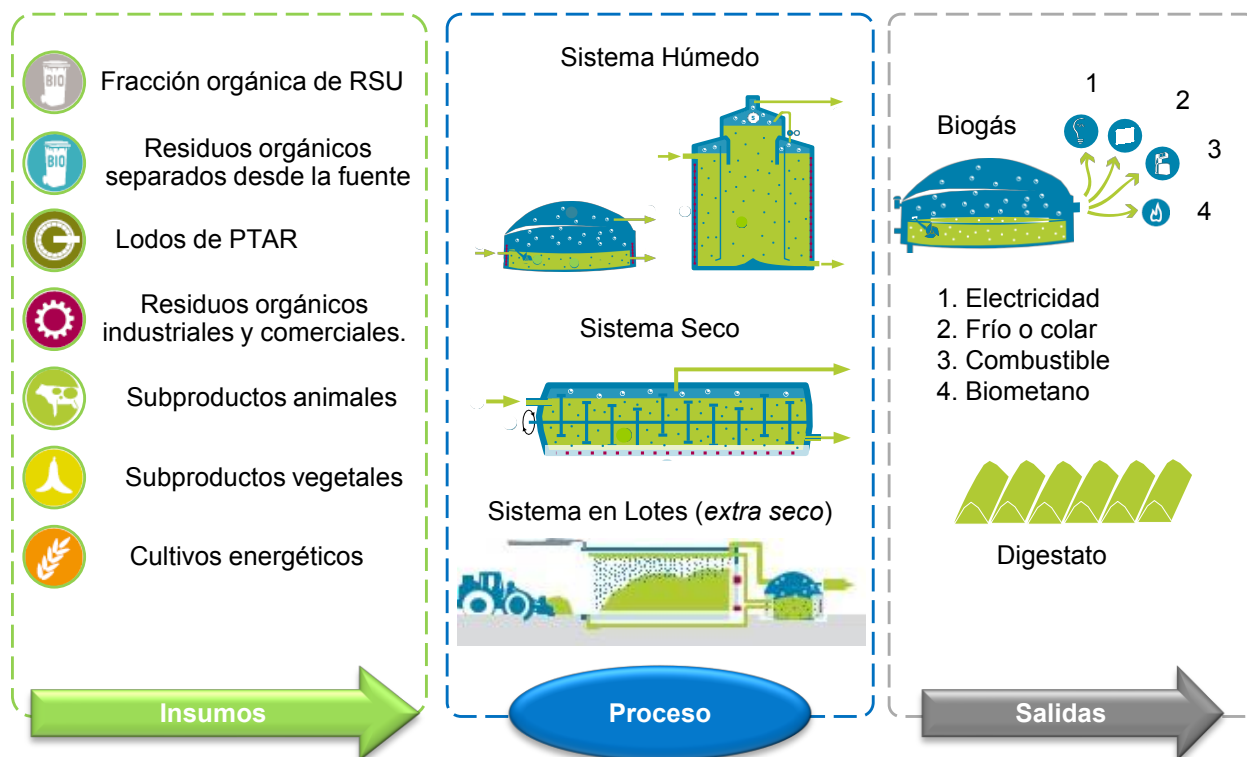


Fuente: Adaptado de Rudder, W., 2005; 37.

En el caso del componente biológico, la fracción de residuos orgánicos podrá ser tratada mediante metanización o DA, que es la descomposición de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno libre. Para ello se emplea un reactor hermético o digestor anaeróbico, y así proveer condiciones favorables para que los microorganismos conviertan la materia orgánica, en biogás y un residuo sólido-líquido llamado digestato. (GIZ, 2017; 31).

En la siguiente figura se presentan los insumos, proceso y salidas en un sistema de tratamiento del componente biológico:

Figura 2: Insumos, proceso y salidas en un sistema de tratamiento del componente biológico.



Fuente: Modificado de Wilken, D. et al, 2019; 7-22

Con relación a las salidas, cuando el material de alimentación orgánico se digiere, una porción del carbono presente en la materia prima se convierte en un gas rico en metano denominado biogás; adicionalmente, queda un residuo sólido llamado "digestato" que es similar a la composta el cual debe someterse a un período de "curado" mediante aireación en pilas de compostaje antes de comercializarse para su uso como fertilizante o "mejorador" de suelo. (World Bank, 2011; 108)

1.3.1 Biogás.

El biogás es un producto gaseoso de la degradación biológica de sustratos orgánicos en condiciones anaeróbicas; se compone principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y, en cantidades más pequeñas, aparecerá el sulfuro de hidrógeno (H_2S), la humedad (H_2O) y otros gases, por ejemplo, nitrógeno (N_2). (Cabral, 2015; 14)

Dependiendo del tipo de materia prima a utilizar, el contenido de CH_4 del biogás fluctúa entre 50% y 70%; mientras que el segundo componente más abundante es el dióxido de carbono (CO_2), que constituye entre el 30% y el 45% del biogás. También hay pequeñas cantidades de otros componentes como agua, oxígeno, trazas de compuestos de azufre y sulfuro de hidrógeno como lo describe Wilken (2019; 18). Algunos valores de referencia sobre el potencial en la producción de biogás son:

Tabla 1: Valores de referencia para potencial producción de biogás.

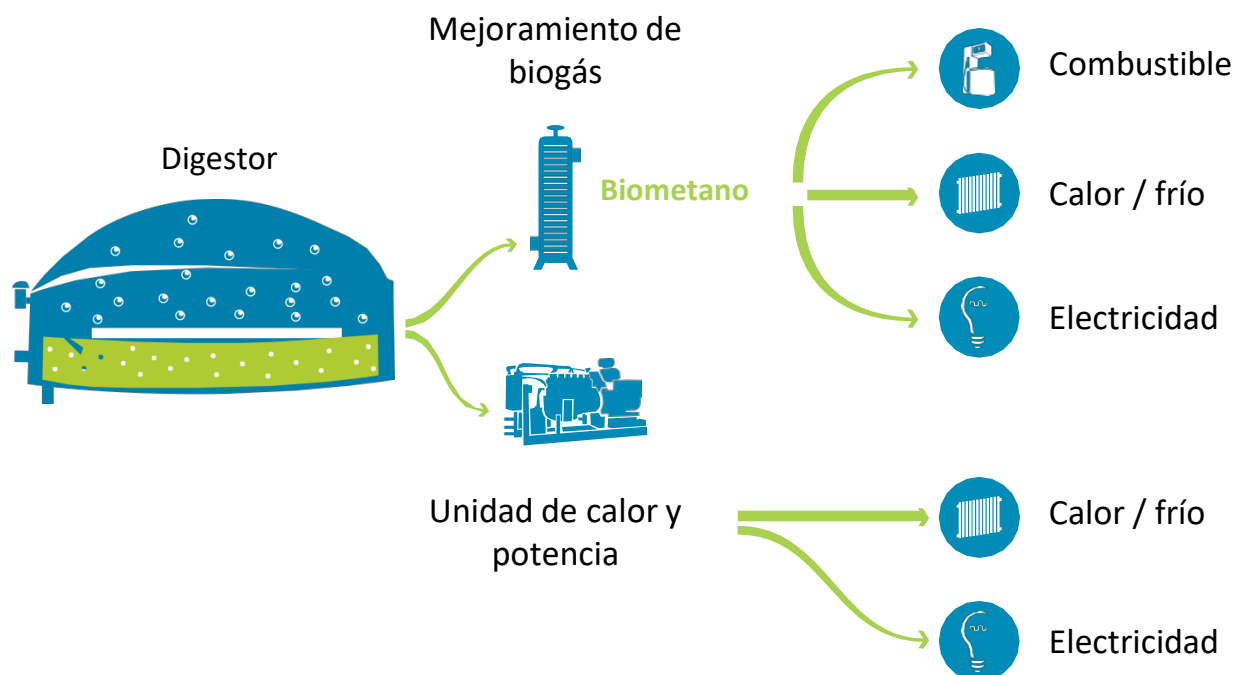
Punto de referencia	Residuos municipales (Mixtos)	Residuos orgánicos (Separados)	Restos de alimentos* (Separados)
Sólidos totales:	30 - 40%	30 - 40%	15 - 20%
Sólidos volátiles totales (SV):	50 - 60%	70 - 80%	85-95%
Impurezas (sin sedimentos):	10-20%	1-5%	5 - 10%
Potencial producción de biogás:	450-600 Nm ³ / t SV	350 Nm ³ / t SV	850 Nm ³ / t SV
Porcentaje de metano:	60 - 65% CH ₄	60 - 65% CH ₄	55 - 60% CH ₄

* Recogidos por separado grandes generadores

Fuente: Tomada de Colturato, 2016; 60.

Como alternativas de aprovechamiento del biogás prevalece la generación de electricidad y calor mediante un CHP, o bien, se puede procesar para la obtención de biometano, el cual tiene propiedades químicas similares al gas natural, como lo plantea Wilken (2017; 8)

Figura 3: Alternativas para aprovechamiento del biogás.



Fuente: Adaptado de Wilken, 2017; 8.

1.3.2 Digestato.

Es el material final resultante del proceso anaeróbico, mismo que se encuentra parcialmente estabilizado y que requiere someterse a un proceso de deshidratación. La fracción sólida generalmente se destina a una etapa de compostaje aeróbico, en tanto que la fracción líquida, dada su alta concentración de amoníaco, si no está destinada directamente a la fertiirrigación

debe someterse a procesos de nitrificación-desnitrificación y eliminación física y biológica de la DQO. (Colturato, 2015; 15)

Las alternativas de aprovechamiento del digestato pueden ser, desde procesos simples como el composteo, hasta el empleo de soluciones tecnológicas sofisticadas, como separación, secado, peletización, tratamiento biológico, tratamiento líquido y extracción de nutrientes.

1.3.3 Evaluación de las alternativas de procesos y tecnologías de biodigestión.

De acuerdo con una evaluación de las tres alternativas de DA¹, a partir de un comparativo de 8 criterios, fue posible identificar aquella con mejor rendimiento, como a continuación se muestra:

Tabla 2: Criterios de evaluación para alternativas de tratamiento de sistemas de biodigestión.

Id	Criterio / Tecnología	Húmeda	Seca	Extra-Seca
	Complejidad de los equipos			
1.	Pretratamiento:	--	+	+
2.	Deshidratación:	-	+	++
3.	Mantenimiento / Disponibilidad de la planta:	0	0	+
4.	Sedimentación / Acumulación:	+	-	++
5.	Productividad de metano:	+	+	-
6.	Pérdidas de metano:	+	+	-
7.	Costos de Inversión:	-	0	+
8.	Costos de operación:	-	0	+

+ El símbolo indica un mejor rendimiento en el elemento presentado. Cuantos más símbolos, mejor será el rendimiento.

Fuente: Tomada de Colturato, 2016; 88.

Como resultado, por lo menos en seis de ocho criterios comparados la alternativa sistema en lotes (extra seca) tiene los mejores rendimientos, siendo en aspectos de productividad y pérdidas de metano en los que tendría sus principales debilidades, en comparación con las opciones seca y húmeda.

En segundo comparativo de las tres alternativas de DA preparado por el Ministerio de Ciudades de Brasil y la GIZ, permite identificar a través de 18 criterios las características de cada una:

Tabla 3: Comparación de alternativas para tratamiento mediante biodigestión.

Criterio	Digestión Húmeda	Digestión Seca Continua	Digestión Seca Discontinua
1. Condiciones para el uso de la tecnología:	Humedad > 85% > 15,000 habitantes. (Ca. 3,000 t/a)	Humedad <75% > 80,000 habitantes. (Ca. 15,000 t/a)	Humedad <65% > 25,000 habitantes. (Ca. 5,000 t/a)

¹ Presentada durante el taller "Factores Técnicos-Económicos de Proyectos de Aprovechamiento Energético de RSU" preparado por la GIZ México en coordinación con la SENAER y la SEMARNAT el 11 y 12 de octubre de 2016.

Criterio	Digestión Húmeda	Digestión Seca Continua	Digestión Seca Discontinua
2. Sustratos:	Los restos de alimentos (restaurantes, mercados, ferias y carnicerías)	RSU en general y cualquier otro residuo orgánico.	
3. Sustancias no orgánicas:	No es aceptable	En parte aceptable	Aceptable
4. Pretratamiento:	Recolectar por separado, mezclar, moler y / o mezclar con efluente.	Selección en planta, trituración, banda transportadora para alimentar el reactor, mezclar con el efluente en el proceso.	Selección en planta, trituración, ingresa al cargador en seco, inocula con riego.
5. Cosustratos:	Trampa de grasa	Efluentes líquidos y pastosos, especialmente para aumentar la humedad de los sustratos secos.	
6. Concentración de sólidos en reactor:	10 - 15%	25 - 30%	35 - 45%
7. Producción específica de CH ₄ :	50-350 Nm ³ CH ₄ / t 25-175 L CH ₄ /hab/d	50-250 Nm ³ CH ₄ / t 25-125 L CH ₄ /hab/d	35-90 Nm ³ CH ₄ / t 20 - 40 L CH ₄ /hab/d
8. Tamaño de la planta m ³ / h CH ₄ :	25-750 m ³ / h CH ₄	100-1,850 m ³ / h CH ₄	25 a 1,250 m ³ / h CH ₄
9. Inversión completa R \$ / CH m ³ CH ₄ : *	R \$ 12,000-35,000 / m ³ CH ₄	Desde R \$ 22,500 hasta 31,500 / m ³ CH ₄	R \$ 22,500 a 40,500 / m ³ CH ₄
10. Costos de O & M % inversión:	9% - 17% de la inversión	9% -12% de la inversión	12% - 14% de la inversión
11. Número de plantas (Global):	500-1,000 plantas	500-750 plantas	
12. Tiempo de construcción:	10-15 meses	12-18 meses	9-12 meses
13. Tiempo de puesta en marcha:	4 - 6 meses	3 - 6 Meses	1-3 meses
14. Vida útil de instalación civil:	15-20 años	20-25 años	s/d
15. Vida útil de equipamientos:	5 – 10 años	7 – 15 años	s/d
16. Vida útil media:	10 – 15 años	13 – 20 años	
17. Ventajas:	Uso energético de residuos húmedos y su limpieza; Reducción de emisiones e inconvenientes del vertedero	Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales con poco pretratamiento; reducción de emisiones, reducción de vertederos; saneamiento de residuos.	

Criterio	Digestión Húmeda	Digestión Seca Continua	Digestión Seca Discontinua
18. Desventajas:	La separación y clasificación de fracciones orgánicas es exigente; desafío de comercialización de fertilizantes	Inversión inicial para planta relativamente alta; municipios no tienen experiencia, estructuras para O&M.	

Fuente: Cabral, 2015; 80.

En este caso, en 6 de los 18 criterios, la alternativa de digestión seca discontinua presenta las mejores condiciones, y por lo menos en 5 criterios más, está en igualdad de circunstancias que la digestión seca continua.

Finalmente, se puede concluir que, a partir de la evaluación de las tres alternativas de tratamiento de la fracción orgánica de residuos, fue posible identificar que el sistema en lotes (extra seca) tiene los mejores rendimientos, mientras que, en aspectos de productividad y pérdidas de metano tendría debilidades en comparación con las opciones seca y húmeda.

Además, las alternativas húmeda y seca, presentan condiciones favorables cuando el objetivo del sistema de tratamiento está enfocado en la producción de biogás, sin embargo, con dificultades operativas en el pretratamiento, al requerir de especificaciones ajenas a las que caracterizan a los residuos sólidos como, la presencia de impropios, el contenido de humedad excesiva, así como el efluente resultante del proceso de DA en estas dos modalidades que demanda requerimientos especializados para la estabilización del digestato, generando así un nuevo problema por resolver.

1.4 Proyecto a nivel conceptual con elementos de ingeniería básica preliminares y preparación de flujo de caja y determinación de indicadores financieros.

Se plantearon dos proyectos a nivel conceptual, un primer caso para la generación de biometano a partir de la materia orgánica recuperada en el CIMIRS, y un segundo caso para la construcción de una planta de tratamiento para la FORSU proveniente de hoteles, clubes de playa y restaurantes de Cozumel, con las siguientes características:

1.4.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel

El proyecto consiste en la construcción de una planta de tratamiento para la FORSU proveniente de hoteles, clubes de playa y restaurantes de **Cozumel** y el cual, contará con una capacidad de tratamiento de **22 toneladas al día es decir 8,030 ton/año**; además de una vida **útil proyectada a 15 años**.

El sistema contempla una serie de **unidades de operación** correspondientes a:

1. Pretratamiento y almacenamiento
2. Unidad de digestión anaeróbica
3. Unidad de Post-Tratamiento de Material Digerido
4. Unidad de acondicionamiento y utilización de biogás
5. Unidades periféricas

El arreglo general contempla un área de recepción con báculo, caseta de ingreso, sistema de recepción, área de trituración, fermentador principal, post fermentador y área de almacenamiento de digestato. La extensión contemplada para las instalaciones de proceso es de 3,132 m², adicionalmente, se integrarían las instalaciones de apoyo como caminos de acceso, áreas operativas, estacionamiento y áreas verdes alcanzando con esto **un área total de 1 Ha.**

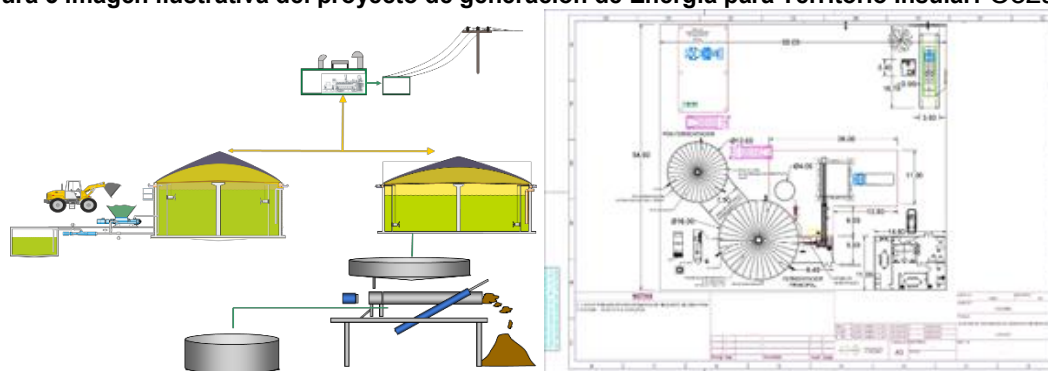
Como productos principales se contará con una generación de **energía eléctrica de 1,606 MWh e/año** (a partir de una capacidad instalada de 0.193 MW y autoconsumo del 5%), además de la producción de **composta (3,325 ton/año)** a partir de la materia digerida. Adicionalmente, con el proyecto se mitigarán **9,501 tCO₂e anuales.**

De acuerdo con el marco jurídico vigente, el proyecto se considera como de generación distribuida en la modalidad de generador exento, esto debido a que la capacidad instalada estimada sería menor a los 0.5MW (500kW). Cabe señalar que los generadores exentos no requieren permiso para generar electricidad por parte de la Comisión Reguladora de Energía, sin embargo, si requieren concretar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad, así como cumplir con especificaciones técnicas y de calidad para poder interconectar la central de generación (CRE, 2017).

A partir de lo anterior, con la evaluación financiera realizada se estima una inversión de USD\$5.54 millones (USD\$2.44 millones para equipo, maquinaria, obra civil, ingeniería y puesta en marcha; USD\$3.10 para terreno) e ingresos por venta de energía eléctrica y de composta, así como el cobro de una tarifa por tratamiento de residuos sólidos orgánicos; dando como resultado una TIR de 12.5% mayor a la tasa de descuento del 10% y un plazo de recuperación de la inversión de 12 años 7 meses, por lo que el proyecto es rentable (considerando un subsidio del 5%).

Por su parte, la evaluación económica y social presenta una TIRS del 20.9%, lo cual demuestra la rentabilidad del proyecto para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto, como resultado de los beneficios en producción de energía renovable/limpia, fertilización orgánica de suelos, emisiones evitadas de GEI y por la reducción de volumen de residuos orgánicos que no llegarían al relleno sanitario; a su vez se generarán 9 empleos directos en la fase de operación de 15 años de análisis.

Figura 5 Imagen ilustrativa del proyecto de generación de Energía para Territorio Insular: Cozumel.



Fuente: GIZ. 2019. Aprovechamiento energético de residuos urbanos (EnRes)

1.4.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

El proyecto consiste en la instalación de un módulo de biodigestión para producción de biometano a partir de la materia orgánica recuperada (MOR) proveniente de la planta de selección del

CIMIRS, el cual contará con una **capacidad de procesamiento de 411 ton/día** o 150,115 ton/año y una **vida útil proyectada a 15 años**.

La infraestructura contemplada consta de un fermentador, un tanque de percolado, un gasómetro, una antorcha de emergencia, un módulo de mejora (*depuración*) de biogás a biometano y un compresor.

El arreglo consta de 24 fermentadores tipo contenedor, 4 fermentadores de percolado; además de los componentes técnicos y eléctricos, sistema de calefacción, aire presurizado, aire de ventilación, análisis de gases colocados sobre el techo de los fermentadores. Posteriormente, para la fase de depuración se cuenta con un sistema de filtración y secado de biogás, seguido por módulos adicionales de filtración para ácido sulfhídrico y compuestos orgánicos volátiles, para finalmente pasar por un sistema de membranas que permiten separar el dióxido de carbono y el agua, alcanzando la calidad necesaria para la compresión del biometano.

La extensión contemplada para las instalaciones es de 10,500 m², adicionalmente, se integrarían elementos de apoyo como caminos de acceso, áreas operativas, estacionamiento y áreas verdes alcanzando con esto un **área total de 2 Ha**.

Como productos principales se contará con una generación de **biometano de 275,974 MMBTU/año gas natural**, además generación de **digestato estabilizado con un volumen de 381.4 ton/día**, mismas que serán aprovechadas en el sitio como cobertura diaria de las celdas de disposición final. Adicionalmente, con el proyecto se mitigarán **166,653 tCO₂e anuales**.

A partir de lo anterior, con la evaluación financiera se estima una inversión inicial de USD\$43.6 millones (USD\$40.3 millones para equipo, maquinaria, obra civil, ingeniería y puesta en marcha; USD\$3.3 millones para terreno) e ingresos por venta de biometano, así como el cobro de una tarifa por tratamiento de residuos sólidos orgánicos; dando como resultado una TIR de 14.9% y un plazo de recuperación de la inversión de 9.5 años (considerando un financiamiento bancario del 80%).

Por su parte, la evaluación económica y social presenta una TIRS del 49.1% lo cual demuestra la rentabilidad del proyecto para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto, como resultado de los beneficios en producción biometano (bioenergético renovable), emisiones evitadas de GEI y por la reducción de volumen de residuos orgánicos que no llegarían al relleno sanitario; a su vez se generarán 20 empleos directos en la fase de operación de 15 años.

Figura 4 Imagen ilustrativa del Proyecto de Generación de Biometano para para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

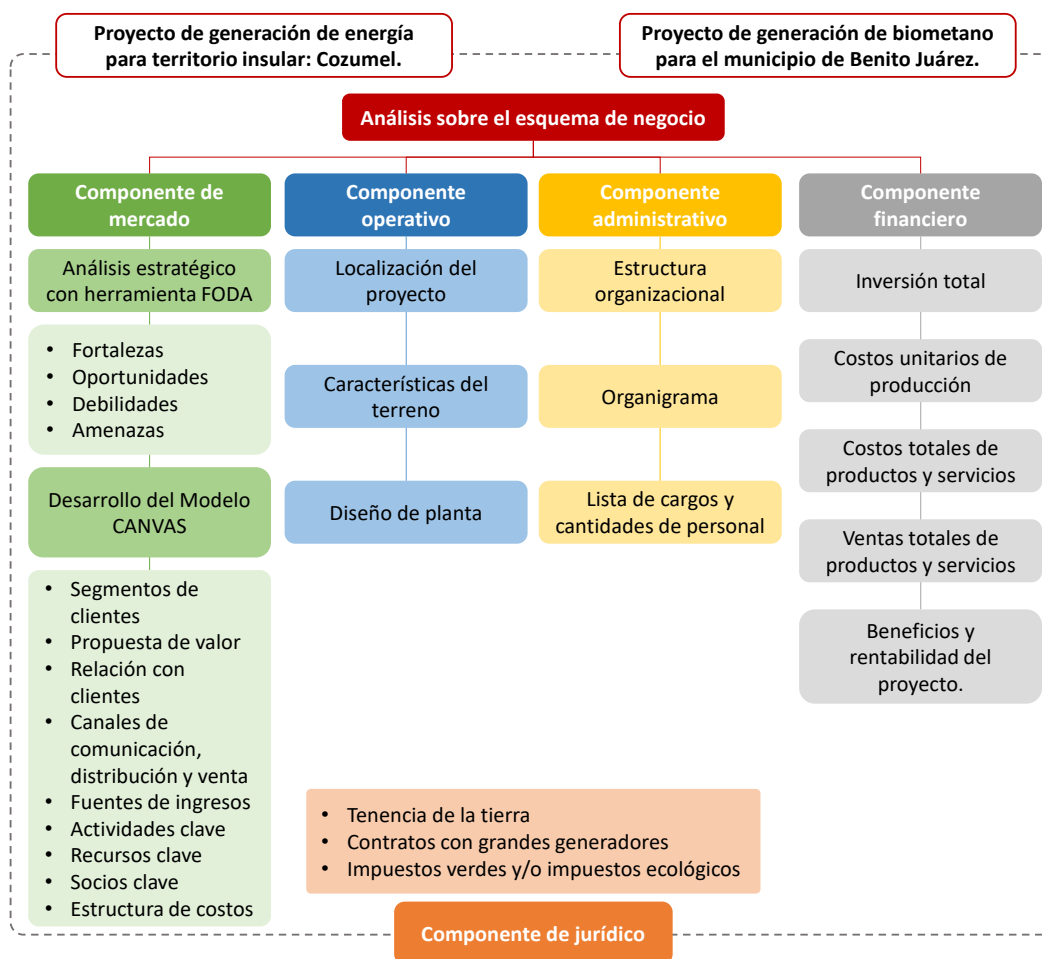


Fuente: Cotización de AB Energy y Licitación Pública 2020 del Biodigestor para el municipio de Xalapa, Veracruz.

1.5 Análisis sobre el esquema de negocio.

El análisis sobre el esquema de negocio para los proyectos de Cozumel y Benito Juárez se integró a partir del desarrollo de cuatro componentes, como se presenta en la siguiente figura:

Figura 6: Estructura del Análisis sobre el Esquema de Negocio.



Fuente: elaboración propia.

El primero componente, denominado de Mercado, está enfocado en preparar un análisis estratégico mediante la aplicación de la herramienta FODA para la identificación de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el contexto del modelo de negocio.

Adicionalmente, se aplicó el modelo CANVAS, a fin de lograr la identificación de los segmentos de clientes y la relación con éstos, la propuesta de valor, los canales de comunicación, distribución y venta, las fuentes de ingresos, las actividades, recursos y socios clave, así como la estructura de costos.

A su vez, el componente Operativo detalla la localización macro y micro del proyecto dentro de los límites territoriales del municipio; en su caso, se incluyen las características del predio propuesto para la construcción y operación del proyecto, así como un planteamiento de su diseño en planta.

Por su parte, el componente Administrativo se centra en presentar un esbozo de la estructura organizacional, la propuesta de organigrama, y el listado de cargos y cantidades de personal necesario para la etapa de operación de cada proyecto.

En el caso del componente Financiero, el análisis desagrega información para cada proyecto sobre inversión total, costos unitarios de producción, costos totales de productos y servicios, Ventas totales de productos y servicios, así como los beneficios y rentabilidad del proyecto.

Finalmente, el componente jurídico, que hace un abordaje sobre temas acerca de la tenencia de la tierra para el desarrollo del proyecto, así como de los contratos con grandes generadores de residuos, e impuestos verdes y/o ecológicos, como una posibilidad a tomar en cuenta en el desarrollo de los proyectos.

1.5.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel

El Proyecto Cozumel que incluye la construcción de una Planta de Metanización para el tratamiento de residuos orgánicos separados desde la fuente y que son provenientes de grandes generadores, emplea tecnología que puede desarrollarse de forma modular que permite recuperar recursos y energía de materiales que se desechan, por lo que se podría catalogar como un modelo de negocio circular², considerando que los productos generados tienen una demanda en la isla por determinados sectores.

El valor que crea el Proyecto Cozumel para sus clientes consiste en la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y generación de energías limpias, resultado de sus operaciones como prestadores de servicios turísticos; generando un valor para los restaurantes, hoteles y clubes de playa, para la CFE y para el Ayuntamiento, al contribuir con la reducción de emisiones de GEI.

De acuerdo con el análisis estratégico, desde la perspectiva costo-beneficio social se trata de un proyecto rentable debido a que el valor de los beneficios generados por el proyecto es mayor a los costos que el mismo representa.

Desde el punto de vista administrativo, el funcionamiento del Proyecto demanda de personal especializado con una estructura organizacional simple o poco robusta.

Acerca de la inversión total inicial de Cozumel, asciende a \$5.5 millones de dólares para el periodo de 15 años, con una reinversión en los años 5 y 10 del orden de los \$0.4 millones de USD. Destaca el tema de recursos humanos, por concepto de gasto de nómina, que asciende a \$12,500 USD/mes o su equivalente a \$150,000 USD/año.

Referente a los costos de producción, el costo de energía es de \$329.68 USD/MWhe, en tanto que, el costo por tonelada de FORSU es de \$161.44 UDS/Ton.

Respecto a las ventas totales de productos y servicios, se estiman ingresos por \$865,941 al año, y de forma global \$12.9 millones de USD, ingresos que corresponden a cobro de tarifas por tratamiento de residuos sólidos orgánicos, venta de excedentes de energía, y venta de composta.

² Para mayor referencia de Modelos de Negocio Circulares se pueden consultar las siguientes publicaciones: Modelos de negocio basados en la economía circular y Curso el virtual "Economía Circular por un Mundo sin Residuos" Nota Técnica No.5 Modelos de negocio en la economía circular, disponibles en: <https://www.pactomundial.org/biblioteca/whitepaper-economia-circular/> y <https://www.unmundosinresiduos.com/cec-pdfs/CEC.NotaTecnica05.ModelosNegociosCirculares.VF.pdf>

Acerca de los indicadores financieros sobre los beneficios y rentabilidad del Proyecto el VAN³ es de \$530,567 USD, con una TIR⁴ de 12.52%.

1.5.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

El Proyecto Benito Juárez complementa y potencia el tren de tratamiento de residuos sólidos del CIMIRS, a partir del aprovechamiento de la materia orgánica recuperada en la planta de selección, generando un impacto positivo al recuperar recursos y energía de productos desechados, como lo es la fracción de orgánicos que hoy se emplean como material de cobertura en la etapa de disposición final, por lo que se podría catalogar como un modelo de negocio circular⁵.

Además, los productos generados por el proyecto tienen una demanda por parte de distintos sectores económicos establecidos en la zona, que podrían ser potenciales consumidores del biometano, y del digestato, directamente en el CIMIRS para la continuidad de sus operaciones.

La sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y la generación de bioenergéticos renovables (biometano) como el valor que el Proyecto crea para sus clientes, contribuye a revertir las afectaciones e impactos al agua, suelo y aire que ocasionan, junto con las emisiones de GEI.

Desde la perspectiva costo-beneficio social se trata de un proyecto rentable debido a que el valor de los beneficios generados por el proyecto es mayor a los costos que el mismo representa.

Operativamente, el proyecto se ancla a la infraestructura de tipo estratégica con que se cuenta en la región norte de la entidad e implica la operación de una tecnología robusta y probada.

Desde el punto de vista administrativo, el funcionamiento del Proyecto demanda de personal especializado con una estructura organizacional simple o poco robusta.

Sobre la inversión total del Proyecto Benito Juárez asciende a \$54.2 millones de USD para el periodo de 15 años, con una reinversión en los años 5 y 10 del orden de los \$1.6 millones de USD. Destaca el tema de recursos humanos, por concepto de gasto de nómina, que asciende a 28,500 USD/mes o su equivalente a 342,000 USD/año.

Referente a los costos de producción, para el biometano generado es de \$17.44 USD/MMBTU, en tanto que, para la MOR es de \$32.08 UDS/Ton.

³ Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VPN) es la suma de los beneficios netos futuros del proyecto actualizado a un año común a una tasa de descuento relevante. En el caso de una evaluación privada será considerada la tasa de mercado. de acuerdo con el CEPEP, disponible en:

https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf

⁴ La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa máxima que soportaría el proyecto para ser rentable, cualquier tasa de descuento mayor que la TIR ocasionaría que el VPN del proyecto es negativo, por lo tanto, el proyecto deberá ser rechazado. Cualquier tasa de descuento inferior a la TIR garantizará una rentabilidad positiva para el proyecto, por lo tanto, será conveniente realizarlo. Sin embargo, atrás de este método hay un supuesto generalmente poco considerado, pero altamente significativo, se considera que los flujos son “bien comportados”, es decir, tienen un periodo inicial en que los flujos netos son negativos y el resto de los flujos netos futuros son positivos, lo cual no generalmente sucede en los proyectos. *Ídem*

⁵ Para mayor referencia de Modelos de Negocio Circulares se pueden consultar las siguientes publicaciones: Modelos de negocio basados en la economía circular y Curso el virtual “Economía Circular por un Mundo sin Residuos” Nota Técnica No.5 Modelos de negocio en la economía circular, disponibles en: <https://www.pactomundial.org/biblioteca/whitepaper-economia-circular/> y <https://www.unmundosinresiduos.com/cec-pdfs/CEC.NotaTecnica05.ModelosNegociosCirculares.VF.pdf>

Acerca de los indicadores financieros sobre los beneficios y rentabilidad del Proyecto el VAN es de 3.4 mmd, con una TIR de 14.9%.

1.6 Resultados clave.

Entre los aspectos más destacables y diferenciadores para el desarrollo de ambos proyectos se plantean los siguientes:

1.6.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

La solución contemplada consiste en una tecnología de tratamiento robusta y probada que desviaría de la disposición final aproximadamente un tercio de los residuos sólidos orgánicos generados en la Isla, mitigando de esta forma las correspondientes emisiones de GEI.

Así también, es necesario resaltar que los productos generados por este Proyecto, consistentes en energía eléctrica y composta o mejorador de suelo, cuentan con una demanda en el territorio insular; en el primer caso ante la dependencia del suministro eléctrico desde el macizo continental y en el segundo debido a la demanda potencial para operaciones de ornato por parte del sector de prestadores de servicios turísticos.

La evaluación financiera del proyecto presenta resultados positivos, la TIR que el proyecto brindará es mayor a la TD empedada (TIR 12.5% > TD 10%). Por su parte, la evaluación económica, refleja que el proyecto es beneficioso para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto, ya que, la TIRS es mayor a la TSD (TIRS 20.94% > TSD 10%)

1.6.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres

El proyecto podría anclarse a la infraestructura estratégica de la región norte de la entidad que ya se encuentra en operaciones y permitiría potenciar beneficios en materia de reducción de emisiones de GEI, como en la continuidad de las operaciones sobre el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos ya estabilizados derivado de su biodigestión, manteniendo a su vez la disponibilidad de material de cobertura para la disposición final.

Se cuenta con un prestador de servicios especializado en el manejo de residuos por lo que una ampliación de su participación de las operaciones actuales permitiría mejorar aún más los indicadores de gestión de residuos de los municipios atendidos, así como materializar una serie de cobeneficios ambientales y sociales asociados a la producción y disponibilidad del biometano como un bioenergético renovable.

La evaluación financiera del proyecto presenta resultados positivos, la TIR que el proyecto brindará es mayor a la TD empedada (TIR 14.9% > TD 10%). Por su parte, la evaluación económica, refleja que el proyecto es beneficioso para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto, ya que, la TIRS es mayor a la TSD (TIRS 49.12% > TSD 10%)

1.7 Conclusiones y recomendaciones.

A manera de conclusiones y recomendaciones vinculadas a los dos proyectos que fueron objeto de desarrollo y análisis, se expone lo siguiente:

1.7.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

El modelo construido para el Proyecto de Cozumel crea valor consistente en la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y generación de energías limpias, permitiendo solucionar el problema de su nulo o inexistente manejo sustentable, ocasionando una serie de impactos al agua, suelo y aire, así como emisiones de GEI.

Con ello se satisface la necesidad de dar un tratamiento a dicha fracción de residuos, que actualmente es desaprovechada y enviada a disposición final, se contribuye a satisfacer la demanda de energía eléctrica y de composta, permitiendo revertir dicha condición no deseada, en una oportunidad para la prestación de servicios de tratamiento de residuos sólidos orgánicos y producción de energía eléctrica y composta que el Proyecto detonaría.

Parte de las virtudes del proyecto de Cozumel es la contribución para desacoplar la demanda de material virgen y contribuir a la recuperación, clasificación y procesamiento de recursos para la obtención de energías útiles a partir de subproductos desechados, por lo que podría catalogarse como un negocio basado en la economía circular.

Adicionalmente, tendrá especial relevancia la determinación del predio para el desarrollo del Proyecto, lo que podría incidir en su evaluación financiera en beneficio de una mayor rentabilidad.

Una de las actividades iniciales en el desarrollo del proyecto, debe incluir la revisión y actualización del documento de concesión del servicio de manejo de residuos en la isla, a fin de plantear los ajustes pertinentes que contribuyan a su viabilidad.

La revisión de la legislación vigente en materia de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos será determinante en la viabilidad del Proyecto; sobre todo para prever cualquier incidencia en el mismo derivado de la incertidumbre en el sector energético por posibles cambios en el marco legal, en el mediano plazo⁶.

De suma importancia es la revisión, ajuste y actualización de la estructura tarifaria aplicada a los usuarios del servicio de manejo de residuos sólidos en la isla, que abonaría en la rentabilidad del proyecto y por ende en su viabilidad.

Desde la perspectiva financiera y económica, el Proyecto de generación de energía para el municipio de Cozumel, Quintana Roo, se prevé como un proyecto puro, es decir que sus costos e ingresos corresponden exclusivamente a la producción de los productos de éste, como lo son la composta y la energía. Por lo que se estima puede ser ejecutado como un proyecto público, es decir empleando recursos del sector público nacional. Para el cual se estimó un 50% con fondos federales o en calidad de subvención (no repago) y el 50% restante con fondos propios del Estado.

⁶ Complementariamente, el proyecto de generación de energía eléctrica de la Isla de Cozumel, de acuerdo con el marco jurídico vigente, se considera un proyecto de generación distribuida en la modalidad de generador exento, esto debido a que la capacidad instalada estimada sería menor a los 0.5MW (500kW). Cabe señalar que los generadores exentos no requieren permiso para generar electricidad por parte de la Comisión Reguladora de Energía, sin embargo, si requieren concretar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad, así como cumplir con especificaciones técnicas y de calidad para poder interconectar la central de generación (CRE, 2017).

Las evaluaciones financieras, económica y social para el proyecto muestran resultados positivos, lo que permite efectuar una socialización en búsqueda de financiamiento para poder ser ejecutado.

El proyecto, presenta oportunidades de mejorar los indicadores obtenidos, ya que existe una alta sensibilidad a cambios en el precio de venta de la composta, tarifa de tratamiento de residuos orgánicos y al precio de venta de la energía, este último es un precio regulado por la CRE, por lo que el proyecto podría entrar al sistema en los horarios de alta demanda cuando el precio marginal local es mayor.

Finalmente, evaluar la pertinencia de involucrar como parte de la socialización del Proyecto a ciertos actores que, con clave, como pueden ser el Gobierno del Estado de Quintana Roo a través de la SEMA, el Ayuntamiento de Cozumel, representantes del gremio de hoteles, restaurantes y clubes de playa, así como ONG locales.

1.7.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

El Proyecto de Benito Juárez crea valor mediante la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y la generación de bioenergéticos renovables (biometano), lo que, a su vez permite contribuir a superar el desafío de su nulo o inexistente manejo sustentable, ocasionando una serie de impactos al agua, suelo y aire, así como emisiones de GEI.

Con ello se satisface la necesidad de dar un tratamiento a dicha fracción de residuos, que es utilizada como material de cobertura en la etapa de disposición final, también contribuye a satisfacer la demanda de biocombustible renovable en la región y de contar con el material para la cubierta diaria de las celdas dentro del CIMIRS, permitiendo revertir dicha condición no deseada, en una oportunidad para la producción y comercialización de productos y ofertar servicios que el Proyecto detonaría.

Adicionalmente, es de resaltar que el sustrato proveniente de la planta de separación al interior del CIMIRS cuenta con una gran calidad, misma que impactaría positivamente en la generación de biometano y digestato, por lo que el Proyecto de Benito Juárez complementa y potencia el tren de tratamiento de residuos sólidos, a partir del aprovechamiento de la materia orgánica recuperada e la planta de selección.

A partir de lo anterior, se consideran como virtudes del Proyecto de Benito Juárez su contribución para desacoplar la demanda de material virgen y contribuir a la recuperación, clasificación y procesamiento de recursos para la obtención de energías útiles a partir de subproductos desechados, por lo que podría catalogarse como un negocio basado en la economía circular.

Bajo un enfoque financiero y económico, el Proyecto de generación de biometano se prevé como privado, el cual puede ser sujeto de financiamiento externo, ya que, al presentar condiciones para el repago, representa una oportunidad de mercado y de reducción de los GEI.

Las evaluaciones financieras, económica y social para el proyecto son altamente favorables, por lo que éste es atractivo para el sector privado y sus indicadores económicos, se encuentran dentro de los parámetros de la banca nacional e internacional, que lo hacen viable.

A su vez, los indicadores pueden verse mejorados ya que, al realizar el análisis de sensibilidad, se observó una variación favorable de los mismos al aumentar el precio de la venta de biometano, comparándose con los precios al 2021 de los hidrocarburos en el mercado internacional.

También, se analizó el impacto en el cambio de la tarifa del tratamiento de la fracción orgánica proveniente de la planta de separación, la cual con valores por debajo de \$1,000 MXN por tonelada hacen que el proyecto no sea rentable, aspecto que debe ser analizado con detalle por el municipio.

Lo anterior, supondría una reducción del grado de complejidad y condiciones de financiamiento para el proyecto debido a los beneficios ambientales como la reducción de emisiones de GEI o la generación del bioenergético renovable.

Será de gran relevancia, aprovechar el impasse por la inexistencia de una oferta de gas natural en Quintana Roo por lo menos en el corto plazo; lo que, a su vez, permitiría la detonación de un nuevo nicho de mercado de combustibles en la región, a partir de la comercialización del bioenergético renovable (biometano) y con ello, la consolidación del Proyecto como modelo replicable en otras regiones de la Entidad o del país.

Algunos temas que deberán llevarse a un análisis posterior para la determinación de medidas en beneficio del Proyecto de Benito Juárez consisten en: la lejanía del predio propuesto para el desarrollo del proyecto y los potenciales consumidores del bioenergético renovable (biometano), el esquema de su distribución y comercialización, así como las potenciales problemáticas asociadas al almacenamiento y excedentes.

También, de especial importancia es la revisión y planteamiento de medidas para evitar un escenario de no continuidad de las operaciones del CIMIRS por diferencias respecto al título de concesión entre Ayuntamientos involucrados; así como la no extensión del título de concesión a la empresa privada que repercuta en sus operaciones en la etapa de disposición final.

2 Antecedentes.

Impulsores

En el año 2021 la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) del Estado de Quintana Roo, la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) a través de su programa Apoyo a la Implementación de la Transición Energética en México (TrEM) y el Consejo Nacional de Biogás (CNBiogás) unieron esfuerzos para el desarrollo de una **Hoja de Ruta para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos con tecnología de biogás** con el fin de identificar los retos y las barreras que enfrenta el estado de Quintana Roo e impulsar la penetración de tecnología aplicada a la generación de energía a través del aprovechamiento del biogás generado por la digestión anaerobia de los residuos orgánicos, así como establecer las acciones para la atención y mejora en la gestión de residuos y el saneamiento. De la cooperación entre las tres instituciones y de los procesos implementados para el desarrollo de la Hoja de Ruta se deriva el presente Estudio de Prefactibilidad.

Entendimiento de la Prefactibilidad en México

De acuerdo a la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México, una evaluación a nivel de Prefactibilidad, en su apartado de evaluación a nivel de perfil, utiliza información disponible, toma en cuenta la experiencia derivada de proyectos realizados y el criterio profesional de especialistas; también emplea datos provenientes de publicaciones especializadas, estudios similares, estadísticas e información histórica y paramétrica, así como experiencias de otros países y gobiernos.

La información para utilizar, para efectos de la cuantificación y valoración de los costos y beneficios específicos del proyecto, debe permitir el cálculo de indicadores de rentabilidad.

Adicionalmente, la evaluación a nivel de Prefactibilidad utiliza datos de estudios técnicos, cotizaciones y encuestas, elaborados especialmente para llevar a cabo la evaluación del proyecto. La información utilizada para este tipo de evaluación debe ser más detallada y precisa, especialmente por lo que se refiere a la cuantificación y valoración de los costos y beneficios, por lo que deberá ser verificable e incluir las fuentes de información correspondientes.

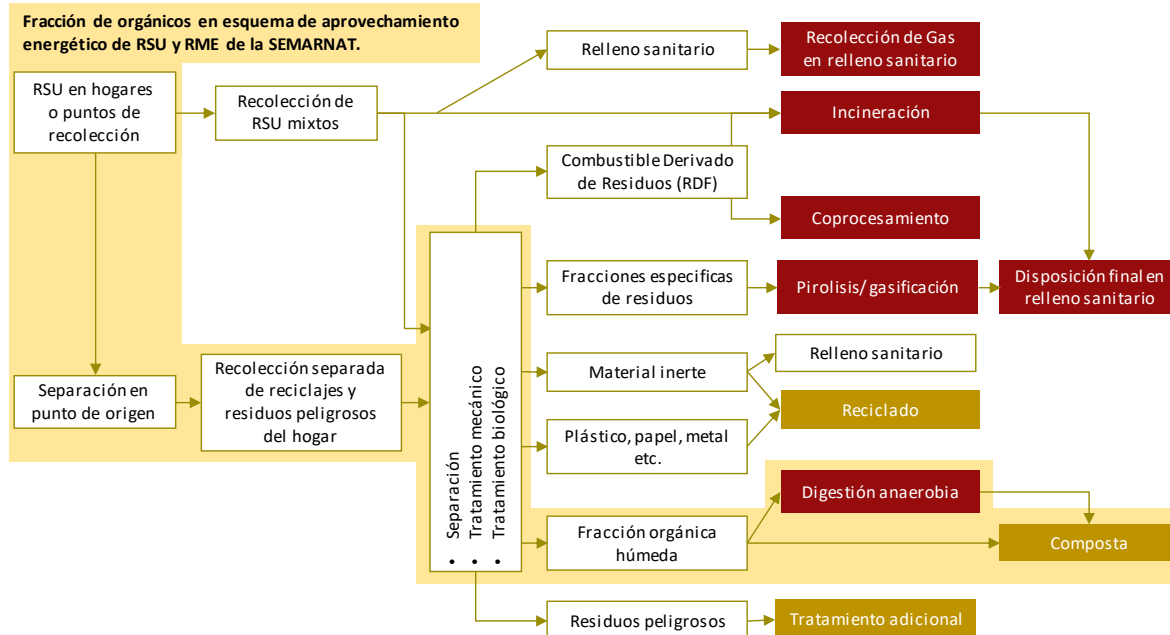
Aprovechamiento energético de residuos orgánicos

Atender el tema del aprovechamiento energético de residuos significa alcanzar un nuevo nivel de complejidad en una situación de gestión de residuos ya de por sí desafiante, como lo propone Mutz (2017;12); lo anterior, considerando algunas de las condiciones que caracterizan a las ciudades de rápido crecimiento de países en vías de desarrollo y emergentes.

Conforme al mismo autor, algunas de las condiciones más representativas, pueden ser: el menor poder calorífico de los RSU que en países industrializados debido al alto contenido de humedad (alto contenido orgánico) y contenido mineral en los residuos (ej. cenizas, residuos de construcción y demolición); la práctica limitada de separación de residuos en el punto de origen, una condición previa para la digestión anaerobia; los modelos de negocios y de operación endebles; la falta de conocimiento sobre cómo operar y dar mantenimiento a plantas de aprovechamiento energético de residuos; los altos costos de inversión y operación que no se pueden recuperar mediante las tarifas existentes y los ingresos adicionales generados de la venta de energía únicamente, entre otros.

Por su parte, la SEMARNAT (2020a; 235), plantea que en México el aprovechamiento de los residuos para generación eléctrica aún está en su fase inicial; no obstante, dentro del esquema de aprovechamiento energético de RSU y RME, previo proceso de separación en instalaciones intermedias, como desde las fuentes de generación, se contempla el tratamiento de la fracción orgánica húmeda mediante digestión anaerobia y composta.

Figura 1: Esquema de Aprovechamiento Energético de RSU y RME de la SEMARNAT.



Fuente: adaptado de la SEMARNAT, 2020a; 236.

Uso del Biogás a partir de Residuos Orgánicos:

Con el Acuerdo de París, México asumió compromisos sobre la adopción de medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a los efectos del calentamiento global (GIZ, 2017).

Los acuerdos de México son voluntarios y no condicionados, y se apegan a los objetivos, instrucciones y prioridades establecidas en la Ley General de Cambio Climático, así como a los acuerdos asumidos en la CMNUCC. En este sentido, una aportación relativamente pequeña, pero importante para lograr las metas nacionales para el año 2030 la constituye el uso de biogás y biomasa en general para la producción de energía (GIZ, 2017; 205).

Parte de los esfuerzos de México para impulsar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, incluyó entre otros, el de la Secretaría de Energía (SENER) junto con el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología, con el establecimiento del Fondo Sectorial CONACYT - SENER – Sustentabilidad Energética (FSE), mediante el cual se financió la elaboración del Mapa de Ruta Tecnológica Biogás (SENER, 2017; 12).

El Mapa de Ruta Tecnológica plantea una visión al 2030, en la que se alcanzará una capacidad instalada de biometano equivalente en el rango de 200 a 250 millones de m³ al año⁷; para ello, identifica los retos y barreras que enfrenta el país para impulsar la penetración del biogás como fuente de energía, y propone de forma indicativa las acciones para generar y fortalecer la infraestructura, recursos humanos, oferta de servicios, alianzas, tecnologías, entre otros, que son fundamentales para la producción sostenible de biogás en México. (SENER, 2017; 12, 13)

Algunas de las particularidades de este Mapa de Ruta Tecnológica, son:

- Plantea como parte de los elementos impulsores “Aprovechar los residuos orgánicos generados por las actividades humanas”.
- Incluye como materias primas disponibles desde 2018, entre otros, a los residuos sólidos urbanos, los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, y los residuos provenientes de la industria de alimentos.
- Propone una serie de acciones estratégicas en las distintas etapas de la cadena de valor de producción del biogás, consistente en: la recolección de materia prima, el pretratamiento, la conversión y el acondicionamiento; destaca la acción propuesta a adoptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa proveniente de residuos sólidos urbanos y agroindustriales.
- Incluye un conjunto de acciones habilitadoras en los ámbitos regulatorios, recursos humanos, sociales y económicos, destacándose de este último, lo referente al desarrollo de una estrategia interinstitucional, orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para proyectar de producción de biogás.

Por su parte, en la Hoja de Ruta de la Visión Nacional Cero Residuos de la SEMARNAT (2019a), se contemplan, en el numeral 6-Evitar el desperdicio de alimentos y aprovechar el potencial orgánico y energético de los residuos, solicitudes de asistencia financiera y técnica a los cooperantes internacionales, para el establecimiento de plantas de generación de energía, con base en proyectos de ingeniería que cumplan con los requisitos que se establezcan, y con el acuerdo intergubernamental que deba suscribirse para su establecimiento y operación. Adicionalmente, las Líneas de implementación de dicha Visión nacional (SEMARNAT, 2019b), particularmente, la “5. Alternativas de tratamiento, valorización, recuperación, reciclaje y disposición final”, incluye la instrumentación de sistemas de biodigestión de residuos orgánicos.

Uno de los últimos compromisos asumidos por México⁸, es el denominado Compromiso Global de Metano (Global Methane Pledge), impulsado por los Estados Unidos y la Unión Europea, con el objetivo de reducir las emisiones globales de metano antropogénico en 2030 en un 30% por debajo de los niveles registrados en el año 2020; iniciativa que fue presentada en el marco de la 26^a Conferencia de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en Glasgow, Escocia, Reino Unido⁹.

⁷ Las metas de biogás están definidas en términos de biometano equivalente, debido a que el factor de conversión del volumen de biogás requerido para generar energía eléctrica es variable a que depende de su composición y ésta es a su vez función de la materia prima utilizada.

⁸ De acuerdo con la información disponible de la SEMARNAT, en: <https://www.gob.mx/sre/prensa/mexico-se-adhirio-al-compromiso-global-de-metano-en-la-cop26?state=published#:~:text=El%20Compromiso%20Global%20de%20Metano,registrados%20en%20el%20a%C3%BAo%202020>.

⁹ Se realizó del 31 de octubre al 12 de noviembre de 2021, de acuerdo con información disponible de la SEMARNAT en: <https://www.gob.mx/sre/prensa/mexico-joins-the-global-methane-pledge-at-cop26?idiom=en>

3 Objetivo.

El objetivo del Estudio de Prefactibilidad es:

- I. Con base en las condiciones particulares del estado de Quintana Roo, respecto a la corriente de residuos sólidos orgánicos, y el estado del arte tecnológico para su tratamiento y valorización mediante tecnología de biogás, detectar y refinar mediante visitas de campo las oportunidades para dimensionar a nivel conceptual uno o más proyectos, a fin de llevar a cabo su posterior evaluación financiera y económica, así como la construcción del o los esquemas de negocio asociados, permitiendo de este modo identificar los resultados clave, así como emitir las conclusiones y recomendaciones que permitan su implementación y replicabilidad en esta entidad federativa y en otras latitudes de la República Mexicana.

4 Alcances.

A continuación, se presenta el Estudio de Prefactibilidad para dos alternativas de proyecto de producción y uso de biogás en el estado de Quintana Roo, mediante las cuales se podrá fomentar el aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos en su fracción orgánica, dado que una vez integrado el andamiaje técnico, financiero, económico, legal y ambiental, se han obtenido como resultado los criterios y medidas para mitigar los riesgos inherentes a su desarrollo.

El documento se conforma de 16 apartados; en los primeros cuatro se integran en el mismo orden: la Introducción, los Antecedentes, los Objetivos y los Alcances del Estudio de prefactibilidad.

En el quinto apartado, sobre la Visita de campo, el abordaje se hace a partir del entendimiento de la gestión y manejo de la fracción orgánica de los residuos en el contexto de la entidad federativa y el municipio de interés, así como de los resultados obtenidos de las entrevistas sostenidas con actores clave locales en el municipio de Benito Juárez, particularmente del Ayuntamiento, como del organismo Solución Integral de Residuos Sólidos (SIRESOL), además de la concesionaria Desarrollos Hidráulicos de Cancún, S.A. de C.V. (Aguakan). Adicionalmente, se integran los reportes de los recorridos en campo realizados en las instalaciones del Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos (CIMIRS) de Benito Juárez, como de la planta de tratamiento de agua residuales (PTAR) Polígono Sur de Cancún.

El sexto apartado está enfocado en el desarrollo de un análisis de tecnologías para el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos (RSU), específicamente de la fracción orgánica con el empleo de tecnología de biogás. Para ello, inicialmente se integra la identificación y caracterización de los procesos y tecnologías de biodigestión, detallando aspectos puntuales como el tratamiento mecánico biológico, su componente mecánico, el rechazo y el componente biológico. Seguido de lo anterior, se hace una evaluación de las alternativas de procesos y tecnologías de biodigestión, para posteriormente determinar aquellos elegibles del componente biológico para los fines del Proyecto. Finalmente, se complementa con la identificación de los impactos ambientales por el empleo de tecnologías de biogás, así como la identificación de los impactos sociales, mediante su análisis y evaluación, así como las medidas de mitigación para revertir posibles afectaciones.

En lo que respecta al séptimo apartado, se centra en el planteamiento de los Proyectos a nivel conceptual con elementos de ingeniería básica preliminares, a los que se ha denominado "Proyecto de Generación de Energía para Territorio Insular: Cozumel" y "Proyecto de Generación de Biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres".

En el primer caso, el documento se integra a partir de una serie de antecedentes en cuatro vertientes; la primera mediante la descripción de la planta y las unidades de pretratamiento, digestión anaerobia, postratamiento del digestato y de acondicionamiento y utilización del biogás, seguida de la vertiente sobre unidades periféricas como los con el edificio técnico-administrativo y el cuarto eléctrico, además de la vertiente sobre el diseño de la fase 1 y la última vertiente con la construcción del balance de masa. Adicionalmente, se realiza una descripción de los datos de entrada para el modelo financiero, puntualmente mediante el balance de masa y energía, las estimaciones de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero /GEI) evitadas, y la determinación del CAPEX, OPEX y de los ingresos esperados.

Para el segundo proyecto, se integran cuatro subapartados; en el primero de ellos con la inclusión del sistema de tratamiento de residuos orgánicos mediante biodigestión, detallando aspectos puntuales sobre el proceso de biodigestión en seco, y los distintos componentes como fermentador, tanque de percolado, pared modular, contenedores, gasómetros, antorcha de

emergencia y tratamiento de biogás a biometano. En el segundo subapartado se enfoca en el planteamiento de la secuencia de funcionamiento del fermentador, su vaciado y llenado, el arranque de operaciones, el proceso de biodigestión, el cierre de la operación, un balance de masa y su presupuesto. En el tercer subapartado se plantea el sistema para acondicionamiento del biogás, incluyendo los sistemas de pretratamiento, filtración de compuestos orgánicos volátiles (COV) y mejoramiento por membranas, junto con su presupuesto. El cuarto y último subapartado, integra la descripción de datos de entrada del modelo financiero del Proyecto, específicamente con el balance de masa, consumo de energía, emisiones de GEI evitadas, la determinación del CAPEX y del OPEX y la determinación de ingresos esperados.

El noveno apartado se construye con base en un análisis sobre el esquema de negocio para ambos proyectos; en cada caso se hace un abordaje a partir de cuatro componentes: mercado, operativo, administrativo, financiero y un análisis del modelo de negocio para el proyecto. En su componente de mercado se integra un análisis FODA con la descripción de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto en cuestión, además de la aplicación del Modelo CANVAS para la identificación de los segmentos de clientes, la propuesta de valor, la relación con los clientes, los canales de comunicación y distribución y venta, las fuentes de ingresos, las actividades, recursos y socios clave, y la estructura de costos.

En su componente operativo se incluye la macro localización de proyecto y el diseño de planta (particularmente para el proyecto de biometano añade además los apartados con micro localización y características del terreno). Por su parte, en el componente administrativo se integra la descripción de la estructura organizacional, un organigrama y el listado de cargos y cantidades de personal por área propuesta. En su componente financiero se despliegan una serie de indicadores calculados conforme a las características del proyecto. Finalmente, se realiza un análisis del modelo de negocio del proyecto con los principales resultados y características. Dicho contenido aplica de forma transversal a ambos proyectos.

En el décimo apartado se integra un conjunto de resultados clave como elementos concluyentes y destacables para el desarrollo de ambos proyectos.

Finalmente, se incluye el apartado de conclusiones y recomendaciones desde la perspectiva de modelos de negocios, así como del análisis financiero y económico.

De forma complementaria para el Estudio de prefactibilidad se incluye el décimo tercer apartado con un listado y resumen de los tres talleres internos, así como las siete entrevistas y tres presentaciones sostenidas con distintos actores de interés para los proyectos.

El décimo cuarto apartado integra a su vez el directorio de los distintos actores entrevistados, incluyendo en cada caso el nombre, cargo y su correo electrónico.

Además, se incluyen tres anexos suplementarios; el primero de ellos con las fichas descriptivas de las opciones de financiamiento para los proyectos identificados, mientras que los restantes incluyen las cotizaciones de las empresas Bekon, AB Energy y Methanum, proveedores tecnológicos que participaron en el estudio de mercado correspondiente y que sirven como referencia.

5 Visita de Campo.

El primero de los componentes del Estudio de Prefactibilidad consistió en realizar la visita al sitio propuesto, el cual fue determinado de forma conjunta con las distintas contrapartes y actores locales.

La visita de campo consistió en un primer recorrido exploratorio por las instalaciones del Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos (CIMIRS), mismo que es propiedad del Ayuntamiento de Benito Juárez, aunque se encuentra dentro de territorio municipal de Isla Mujeres.

La determinación de visitar esta infraestructura para el manejo de residuos fue resultado de un consenso y retroalimentación obtenida en los talleres de planeación estratégica 1 y 2; algunos de los argumentos que justifican dicha determinación, son los siguientes:

- La concentración de la población en la zona norte representa más del 74% del total a nivel estatal, siendo el Municipio de Benito Juárez el que alberga la mayor cantidad de habitantes, de acuerdo con los datos del INEGI de 2020.
- Aunado a lo anterior, la población económicamente activa ocupada en esta zona norte se emplea mayoritariamente en actividades de los sectores secundario y terciario, los cuales son altamente demandantes de servicios de gestión y manejo de residuos, dadas las cantidades y características de éstos.
- En consistencia con lo anterior, los valores de generación per cápita y generación total de residuos, nuevamente posicionan a esta parte norte de la entidad como la más representativa o de mayor relevancia, dados los niveles alcanzados en este rubro.
- Un elemento adicional fue la identificación de prestadores de servicios especializados que tiene participación en alguna de las etapas de manejo, siendo el caso de Benito Juárez, el único donde el tratamiento forma parte del sistema de gestión de residuos.
- En este orden de ideas, destaca también la existencia y funcionamiento de un Organismo Descentralizado del Ayuntamiento de Benito Juárez denominado Solución Integral de Residuos Sólidos (SIRESOL).
- Además, el manejo de residuos en la etapa de tratamiento y disposición tiene un carácter intermunicipal.
- Por otra parte, ante posibles planteamientos de sinergias con sectores específicos o corrientes de residuos orgánicos determinados como pueden ser: lodos de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), o residuos orgánicos provenientes de la industria alimentaria e incluso del sector primario, específicamente de la pesca y captura de peces, crustáceos, moluscos y otras especies, también fueron elementos que incidieron en la determinación ya referida.

A partir de lo anterior, de manera conjunta con la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) se gestionaron y programaron un conjunto de entrevistas con distintos actores locales a fin de obtener retroalimentación respecto a la determinación del sitio propuesto.

Para ello, durante el mes de noviembre de 2021 se sostuvieron un conjunto de reuniones y recorridos en campo con el objetivo de lograr una mayor sensibilidad y entendimiento de lo que ocurre con la gestión y el manejo de la fracción orgánica de los residuos en la parte zona norte del estado, específicamente en el Municipio de Benito Juárez.

5.1 Entendimiento de la gestión y el manejo de fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y de residuos de manejo especial.

Para lograr un entendimiento sobre la gestión y el manejo de fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y de los Residuos de Manejo Especial (RME), se llevaron a cabo entrevistas con las autoridades locales responsables y se hizo un recorrido por las instalaciones del CIMIRS.

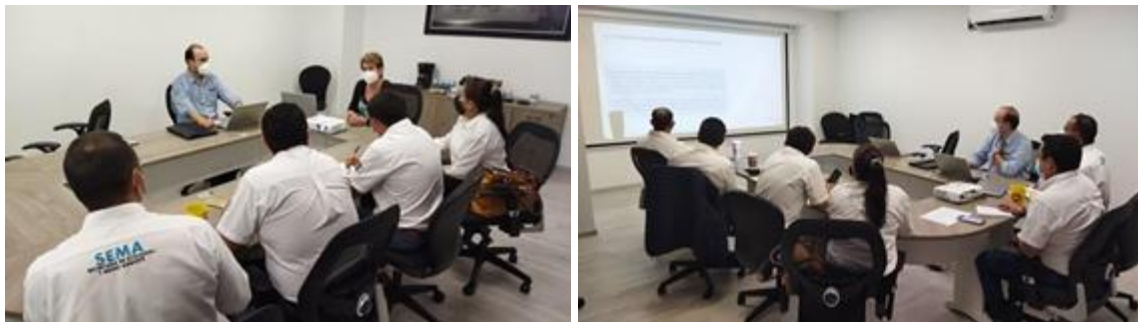
5.1.1 Entrevista con representantes del Ayuntamiento de Benito Juárez y del SIRESOL.

Como parte de la entrevista se presentaron los objetivos y alcances del proyecto a representantes del Ayuntamiento de Benito Juárez y del Organismo Público Descentralizado (OPD) Solución Integral de Residuos Sólidos (SIRESOL).

La reunión se llevó a cabo el 17 de diciembre de 2021, en las oficinas de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA), en el Ayuntamiento de Benito Juárez; se contó con representantes de las áreas de la Subsecretaría de Protección Ambiental y Planeación Técnica, la Dirección de Residuos y de la Unidad Verificadora de Residuos Sólidos de la SEMA.

Por parte del Ayuntamiento de Benito Juárez se contó con la representación de la Dirección de Servicios Públicos y la Dirección de Ecología. A su vez, del SIRESOL se contó con la participación de representantes de la Dirección General y de la Dirección de Relleno Sanitario.

Figura 2: Reunión con Representantes del Ayuntamiento de Benito Juárez y del OPD SIRESOL.



Fuente: elaboración propia.

Entre los principales hallazgos a destacar, se tienen los siguientes:

Generación:

- En Cancún hay 2 centrales de abasto privadas y 3 mercados.

Recolección:

- El servicio de recolección de residuos en casas habitación es gratuito.
- Hoteles y restaurantes contratan empresas autorizadas que manejan sus residuos, incluida la fracción de orgánicos.

- Generadores de RSU de tipo Comercial, Industrial o de Servicios, deberán pagar una tarifa diaria de \$1.5 MXN ¹⁰ por kg recolectado.

Tratamiento:

- En la planta de tratamiento del CIMIRS se recuperan residuos inorgánicos reciclables; la materia orgánica recuperada (MOR) se mezcla con sascab¹¹ y se utiliza como material de cobertura en el relleno sanitario.

Disposición final:

- Actualmente se construye celda 4, última celda que contemplaba el proyecto del CIMIRS.
- El sargazo se dispone en el predio “Banco 5”, evitando su envío al relleno sanitario.

Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos (CIMIRS):

- El CIMIRS está en territorio municipal de Isla Mujeres.
- Los Ayuntamientos pagan al concesionario por la operación de la planta de tratamiento y el relleno sanitario.¹²
- Restan 13 años de concesión.

5.1.2 Recorrido por el centro intermunicipal de manejo integral de residuos sólidos (CIMIRS).

La visita al CIMIRS tuvo por objetivo identificar la configuración, la disponibilidad de superficie, accesibilidad, y conocer el proceso de operación actual de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Para ello, se contó con el acompañamiento de la Dirección General y de la Dirección de Relleno Sanitario del SIRE SOL, así como de la Dirección General por parte del Concesionario.

¹⁰ El Artículo 135, Fracción I de la Ley de Hacienda del Municipio de Benito Juárez del Estado de Quintana Roo, establece como la Tarifa diaria \$ 1.90 MXN por kilogramos recolectados; conforme a la Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 28 de diciembre de 2021, disponible en: <http://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/L139-XVI-20211228-L1620211228195.pdf>

¹¹ Es el término de origen maya que se utiliza en la Península de Yucatán para denominar al material usado para preparar mezclas para la construcción. Se trata de una roca calcárea deleznable, descrita como «caliza descompuesta», «brecha», o «mezcla de cal usada por los mayas». Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sascab>

¹² Conforme a lo comentado por el responsable del CIMIRS durante la visita de campo.

Figura 3: Localización y Características Principales del CIMIRS.



Fuente: propia con información del INEGI y aplicación de Google Earth.

Derivados de la visita al CIMIRS se identifican los siguientes principales hallazgos:

Figura 4: Identificación de Principales Hallazgos de la Visita al CIMIRS.

Proyecto ejecutivo contemplaba 2 hectáreas para “Complejo generador de energía; reactor biodigestor, filtros, oficinas, taller, cuarto generador, área de WTE.”

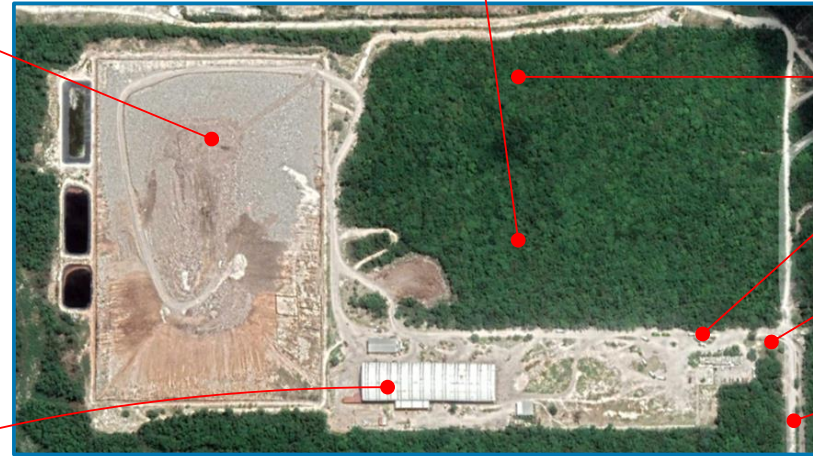
Además un “Área de composta”

Se estima hay 3.5 millones de ton de RSU y RME dispuestas.



2019, Concesionario

Recepción promedio diaria en planta de tratamiento: 1,600 a 1,800 ton/día, más del 50% pasa a planta de separación.



Celda 4 en construcción, con una vida útil de 4 años.

Báscula

Acometida eléctrica trifásica; y un transformador de 1000 Kv, instalado hace 6 años.

Camino de acceso de 10 km, bien conservado.

- Capacidad de operar 3 líneas/3 turnos.
- Empleo 30 personas/línea.
- Capacidad de procesar 250 ton/ turno de 8 horas

Actualmente, la Planta de tratamiento opera 2 líneas en un turno.

Separan:

- Pet
- Plástico 2
- Aluminio
- Cartón
- Tetrapak
- Chatarra



Fuente: propia con aplicación de Google Earth.

Derivado de la visita fue posible identificar que actualmente el proceso de tratamiento de los residuos inicia con el registro del pesaje de cada camión que ingresa al CIMIRS, posteriormente dependiendo del origen de los residuos conforme a la ruta que se haya cubierto, son enviados a la planta de separación y/o al relleno sanitario según sea el caso.

En la planta de separación, los residuos son procesados a través de un trómel para la separación de la fracción de orgánicos, mismo que una vez retirados del tren de tratamiento, son desplazados mediante distintas bandas transportadoras en las que se hace una segunda recuperación de forma manual de aquellos impropios y/o voluminosos, para ser depositada en camiones de carga que los trasladan al frente de tiro; dicho remanente es mezclado con sascab para ser utilizado como material de cobertura en el frente de tiro del relleno sanitario.

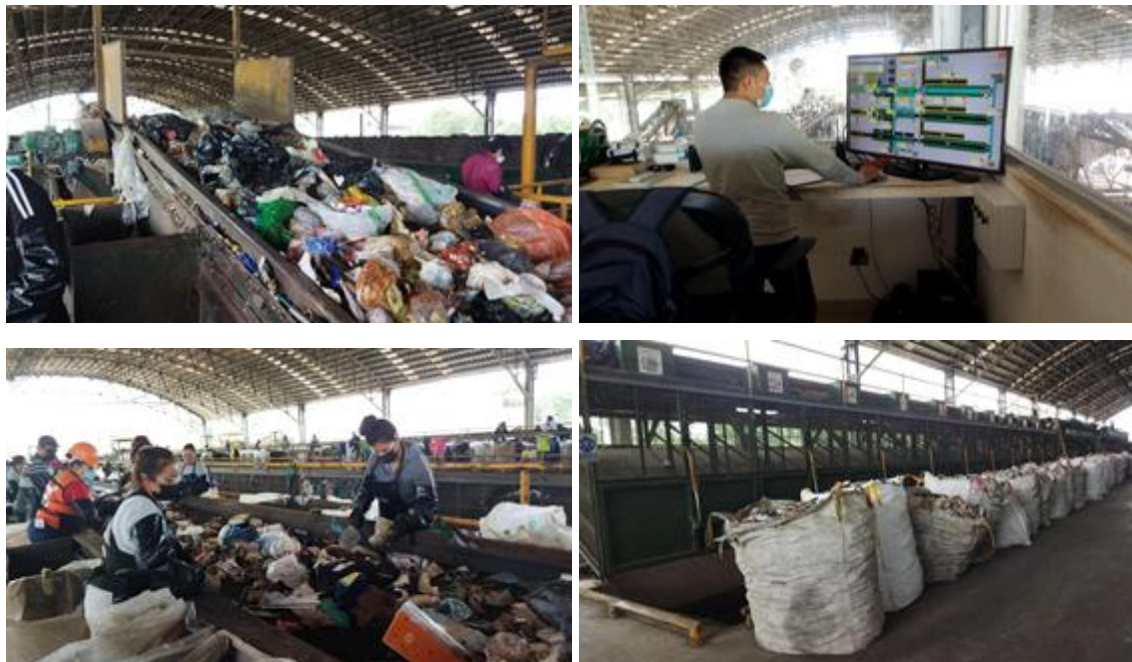
Figura 5: Flujo de la Fracción Orgánica de Residuos en la Planta de Tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la fracción inorgánicos valorizables, éstos continúan en el tren de tratamiento a través de bandas transportadoras donde son recuperados de forma manual y semi mecanizada los distintos materiales de interés.

Figura 6: Flujo de la Fracción Orgánica de Residuos en la Planta de Tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las condiciones de operación actual del CIMIRS, así como de la información brindada por la Dirección General de la Concesionaria, se identificaron las siguientes áreas de oportunidad:

1. Se percibe interés de la concesionaria por optimizar los servicios que brinda, mediante mejora en eficiencia de recuperación de valorizables y valor agregado.
2. Aprovechamiento de fracciones orgánica e inorgánicas generadas en la planta de separación y del biogás de las celdas existentes.
3. El proyecto ejecutivo del CIMIRS contemplaba un componente para la valorización energética del rechazo y de la materia orgánica recuperada.
4. Se estima una vida útil remanente del sitio de 4 años, a partir de la puesta en operación de la última celda proyectada.

5.2 Lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Con respecto al entendimiento sobre la gestión y el manejo de los lodos provenientes de las PTAR, también se llevaron a cabo entrevistas con actores clave locales y se hizo un recorrido por las instalaciones de una planta de tratamiento.

5.2.1 Entrevista con representantes de Aguakan.

Parte de la entrevista incluyó la presentación de los objetivos y alcances del proyecto a representantes de la empresa Desarrollos Hidráulicos de Cancún, S.A. de C.V. (Aguakan). La reunión se llevó a cabo el 18 de diciembre de 2021, en las oficinas de la SEMA, en Benito Juárez;

y se contó con la participación de la representación de la Gerencia de Planificación y Proyecto de Aguakan.

Figura 7: Reunión con Representantes de Aguakan.



Fuente: elaboración propia.

Derivado de la presentación de objetivos del proyecto y retroalimentación por parte de personal de Aguakan, se identifican los siguientes principales hallazgos:

En cuanto a los antecedentes:

- Actualmente los lodos de las PTAR se deshidratan en lechos de secado, con una generación de más de 3,000 ton/año. (8 ton/día)
- Los lodos no son enviados al relleno sanitario.
- Condiciones climáticas generan conflictos operativos por reactivación de lodos.
- Existe una demanda variable de los lodos estabilizados como mejorador de suelos, lo que genera excedentes.

Referente a lo planeado:

- Aguakan está realizando inversiones para la instalación de sistemas de digestión anaerobia para reducir consumo de energía y la generación de lodos.
- Capacidad de sistemas de digestión anaerobia limitada a 0.5 MW y será complementada con proyectos de paneles solares.
- Contará con 4 plantas, 2 MW instalados; nor-poniente (en licitación), sur (con plan maestro), norte y polígono paraíso (en concurso).

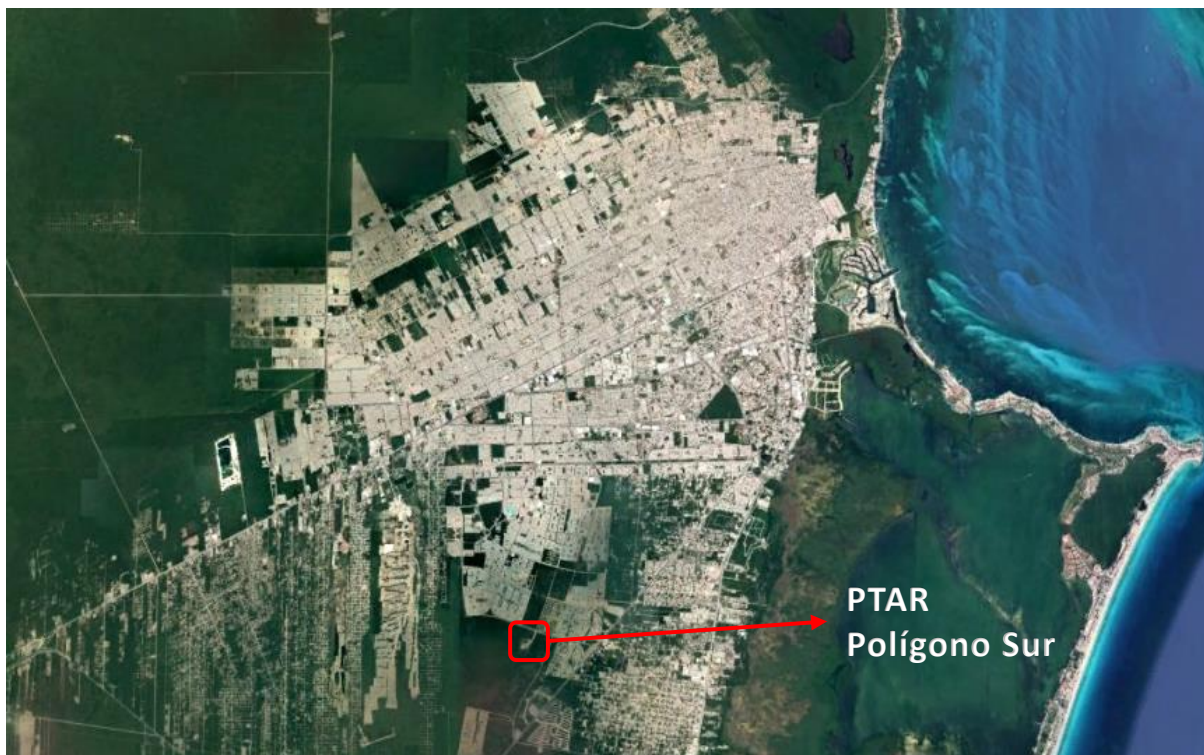
Sobre el reto que se afronta:

- La tecnología ya está determinada, el desafío es qué hacer con el lodo estabilizado.
- Cantidad de lodos estabilizados resultado de biodigestión: 2,600 ton/año.
- Los lodos de digestión se vislumbran como un problema porque carecen de un valor en el mercado.

5.2.2 Recorrido por PTAR polígono sur, municipio de Benito Juárez.

Posteriormente a la entrevista, se llevó a cabo un recorrido por las instalaciones de la PTAR Polígono Sur, Municipio de Benito Juárez, con el objetivo de identificar su configuración, entender el proceso de operación, y lograr mayor sensibilidad sobre la generación y manejo de lodos resultantes del tratamiento.

Figura 8: Localización y Condiciones Actuales de la PTAR Polígono Sur, Benito Juárez.



Fuente: elaboración propia.

La visita se realizó el 18 de diciembre de 2021, con acompañamiento en todo momento de la Gerencia de Planificación y Proyectos de Aguakan.

Figura 9: Infraestructura para el Tratamiento de Aguas Residuales en la PTAR Polígono Sur.



Fuente: elaboración propia.

Figura 10: Retiro de Arena y otros Subproductos Resultantes del Tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11: Condiciones de Manejo de Lodos resultantes del Tratamiento de Aguas Residuales.



Fuente: elaboración propia.

En este caso, los principales hallazgos que se identificaron son:

- Los lodos provenientes de PTAR no se envían a relleno sanitario por los costos que ello representa.
- Se da una generación constante de lodos, los cuales son aprovechados principalmente para jardinería, sin embargo, hay excedentes que requieren de su disposición final.
- Se está realizando una inversión con recursos propios por parte de Aguakan para desarrollo de infraestructura con tecnología de digestión anaerobia y paneles solares.

5.3 Conclusiones.

El CIMIRS constituye la principal alternativa para el desarrollo del proyecto de aprovechamiento energético de residuos orgánicos con tecnología de biogás, debido a que el planteamiento inicial de dicho Centro contemplaba un componente para la valorización energética de residuos, incluido un espacio para la instalación de un biodigestor.

Adicionalmente, como parte del proceso de operación del CIMIRS, actualmente ya se lleva a cabo la separación y aprovechamiento de la materia orgánica recuperada, misma que es mezclada con sascab para emplearse como material de cobertura de los residuos sólidos dispuestos.

Ello implica una capacidad instalada y un conocimiento respecto a las condiciones necesarias de operación para la recuperación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de residuos de manejo especial, qué sumado al establecimiento de estándares y objetivos

determinados como pueden ser los referentes al aprovechamiento energético de residuos orgánicos con tecnología de biogás, se podría potenciar la capacidad de respuesta vigente, y así aprovechar “el camino andado”.

La continuidad del proyecto dependerá del involucramiento de tomadores de decisiones de alto nivel, donde la participación de los Ayuntamientos de Benito Juárez, Isla Mujeres, el OPD SIREVOL y Gobierno del Estado a través de la SEMA, serán determinantes.

Referente a los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de agua residual, Aguakan movilizará con recursos propios una eventual solución para dar respuesta sus necesidades sobre el manejo y tratamiento de sus lodos de PTAR, no obstante, valdría la pena dar seguimiento constante para identificar potenciales sinergias en un mediano o largo plazos.

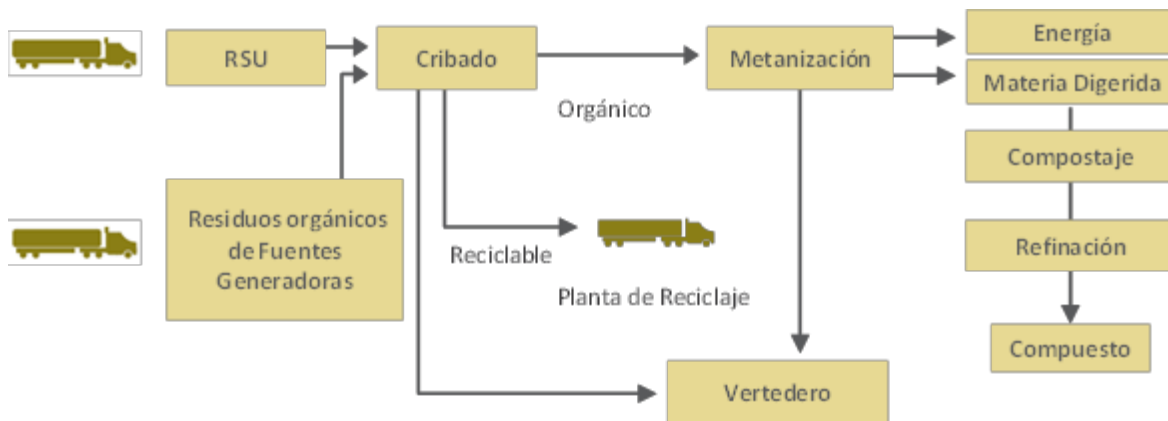
6 Análisis de tecnologías para el aprovechamiento energético de RSU – fracción orgánica con tecnología de biogás.

A continuación, se revisan procesos y tecnologías de biodigestión en el contexto de un sistema de tratamiento mecánico biológico (MBT), y recopilan evaluaciones entorno a tres alternativas: digestión húmeda, digestión seca continua y digestión seca discontinua, y se determina la alternativa más conveniente para un potencial proyecto de prefactibilidad en Quintana Roo.

6.1 Identificación y caracterización de procesos y tecnologías de biodigestión.

La identificación y caracterización del proceso incluye el equipamiento para la separación de residuos sólidos inorgánicos reciclables y el acondicionamiento para su tratamiento, así como el desvío de la fracción de orgánicos y el sistema de tratamiento mediante biodigestión. Los procesos asociados y productos derivados del sistema de tratamiento corresponderían a una planta MBT:

Figura 12: Procesos y Tecnologías del Sistema de Tratamiento para Quintana Roo.



Fuente: Modificado de Colturato, 2015; 17.

La infraestructura y equipamiento de un sistema de MBT permitiría reducir el envío de residuos inorgánicos a disposición final, contribuyendo al incremento de su vida útil, y también a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por la estabilización de los orgánicos dispuestos, y la generación de lixiviados.

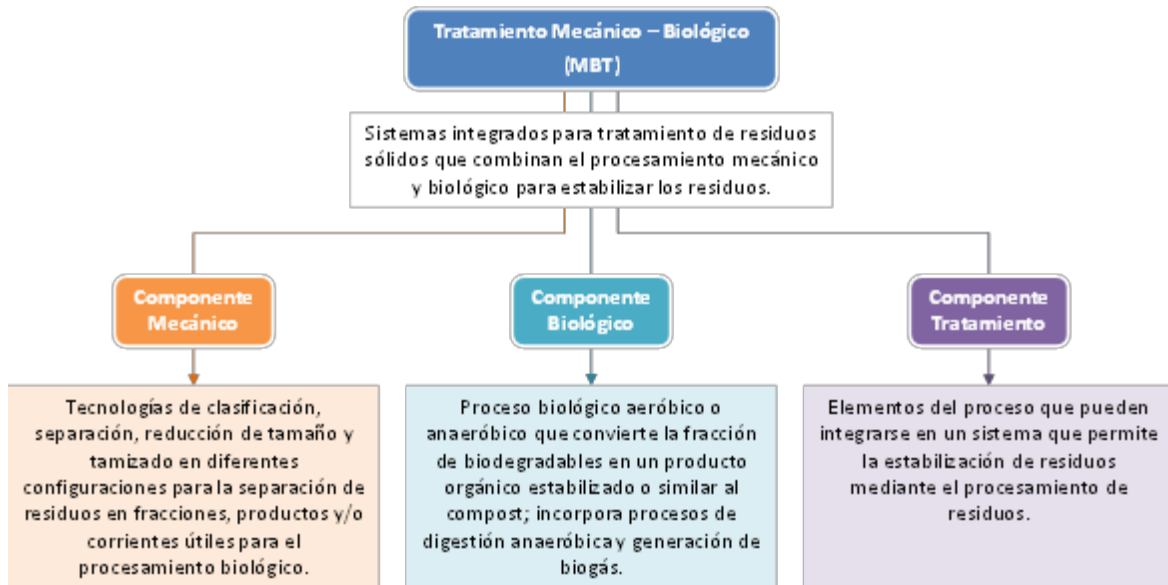
6.1.1 Tratamiento mecánico biológico.

El término Tratamiento Mecánico Biológico (Kallassy, et al, 2008; 1) se utiliza para describir un proceso híbrido que combina técnicas mecánicas para clasificar los residuos sólidos y técnicas biológicas para estabilizar su fracción orgánica.

Conforme al autor ya referido, el diseño del sistema MBT dependerá de los objetivos que se busquen, como pueden ser la producción de combustible derivado de rechazo (CDR), la producción de composta, la recuperación de valorizables (plástico, papel, metales, etc.) y/o la estabilización de los orgánicos, u otras alternativas de aprovechamiento del subproducto.

De acuerdo con un estudio elaborado por el Distrito Regional del Gran Vancouver, se define al MBT como un sistema integrado de tratamientos para la estabilización de residuos, y lo integran los siguientes componentes, de acuerdo con la figura 15:

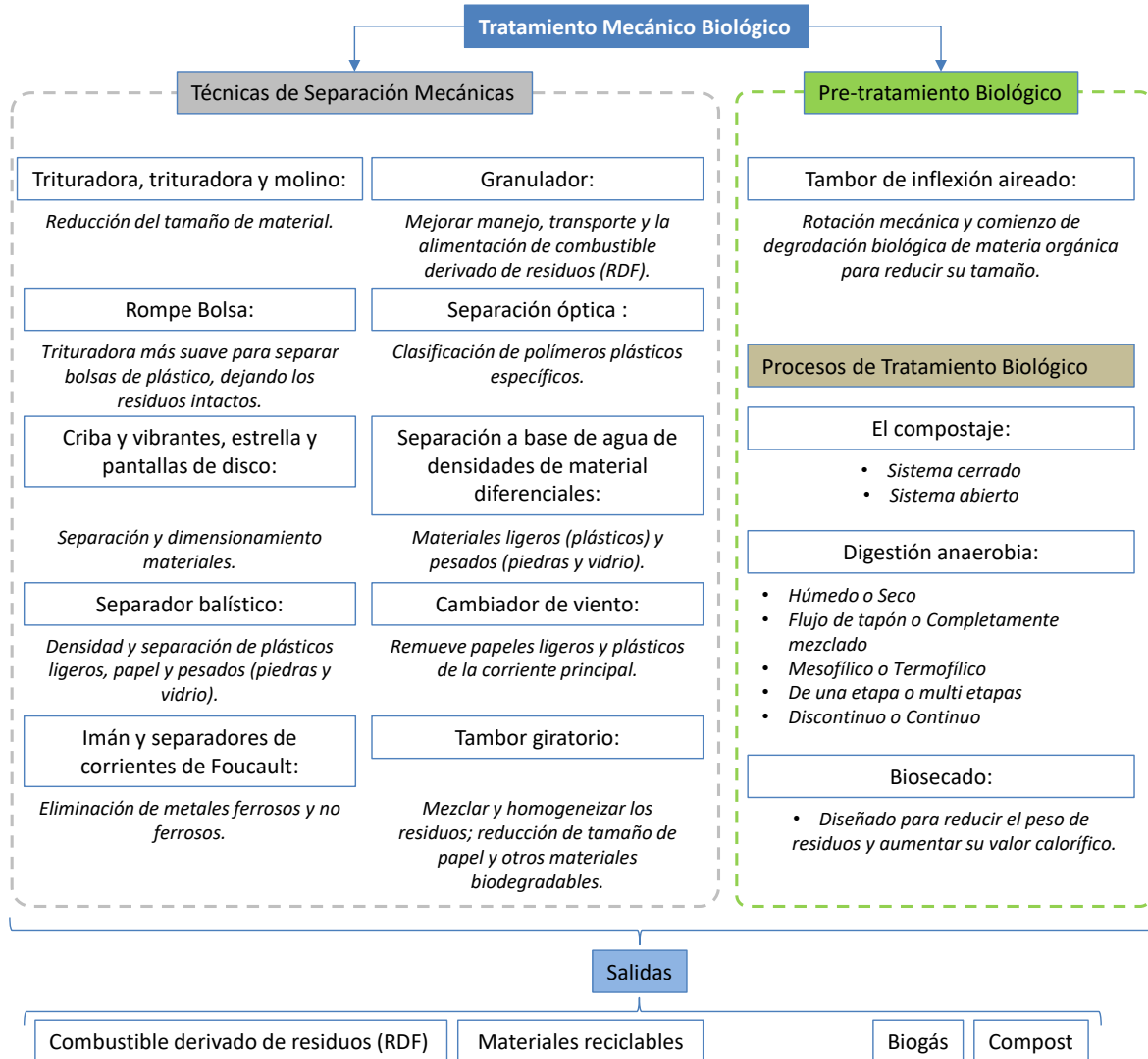
Figura 13: Componentes de un Sistema de Tratamiento Mecánico Biológico.



Fuente: Adaptado de Rudder, W., 2005; 37.

Un sistema de MBT como paso intermedio entre la recolección de los residuos y su destino final, se puede integrar por un conjunto de elementos y funciones, como los descritos en la figura 16:

Figura 14: Elementos que pueden Integrar un Sistema de Tratamiento Mecánico Biológico.



Fuente: Adaptado de Kallassy, 2008.

Los parámetros de diseño de la planta de MBT lo constituye la composición física de los residuos a tratar; para ello debe considerarse la estimación de su composición con valores máximos y mínimos¹³ a fin de determinar rangos por tipo de material, en lugar de valores absolutos. La composición de los residuos presenta variaciones constantes espacial y temporalmente, lo cual debe considerarse en el dimensionamiento de la infraestructura que formará parte del sistema de tratamiento.

¹³ Consideración propuesta por Luis Felipe Colturato, durante el taller de capacitación “Factores Técnicos-Económicos de Proyectos de Aprovechamiento Energético de RSU” promovido por la GIZ México, en coordinación con la SEMARNAT y la SENER. Taller realizado el 11 y 12 de octubre de 2016.

Tabla 1: Ejemplo de estimación de rangos de composición física de residuos.

Tipo de Material	Proporción
Papel	4 - 6%
Cartón	3 - 7 %
Plásticos duros	3 - 5%
Plásticos (hojas)	5 - 8%
PET	0.5 – 2%
Vidrio	2 - 4%
Aluminio	0.5 – 2.5%
Hierro	0.5 – 2%
Metales no ferrosos	1 - 3%
Goma	0.5 – 1.5%
Cuero	0.5 – 2%
Madera	0.5 – 1.5%
Las telas	2 - 6%
Material inerte	10 -15%
Material orgánico	40 - 60%
Las pilas / baterías	0.2 – 1.0%
Total	100,00%

Fuente: Tomada de Colturato, 2017; 60.

Dicho parámetro permitirá definir la línea de pretratamiento de la planta de MBT, así como las tecnologías a emplear, su dimensionamiento, las eficiencias y productos finales. Una propuesta enunciativa de eficiencias de segregación de materiales contempla los siguientes valores:

Tabla 2: Eficiencia de segregación propuesta.

Tipo de Material	Rango
Orgánica	70 - 90%
Cartón	40 - 50%
Papel	20 - 30%
Vidrio	10 - 20 %
Película de plástico	15 - 25%
Plásticos duro	60 - 85%
Acero	60 - 80%
Aluminio	60 - 80%

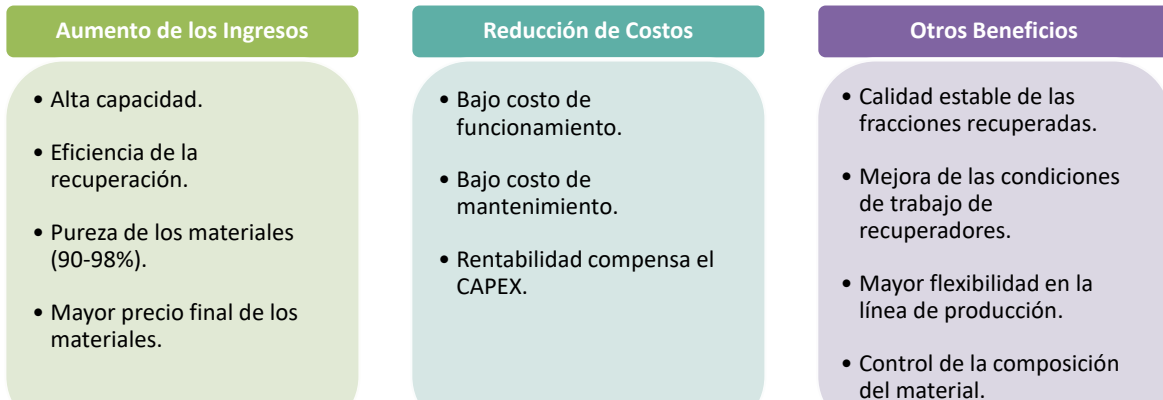
Fuente: Tomada de Colturato, 2017; 60.

La estimación de rangos en la composición de residuos permitirá mantener valores de recuperación aceptables ante posibles variaciones en su composición, lo que es una constante en el sector.

6.1.2 Componente mecánico.

Con la mecanización y automatización de procesos se busca aumentar los ingresos a obtener con la comercialización de los materiales recuperados, por lo que su funcionamiento estaría caracterizado por bajos costos de operación y deberían ser flexibles en el supuesto de algún cambio en la composición de los residuos que ingresan a tratamiento, como lo propone Colturato (2017; 70).

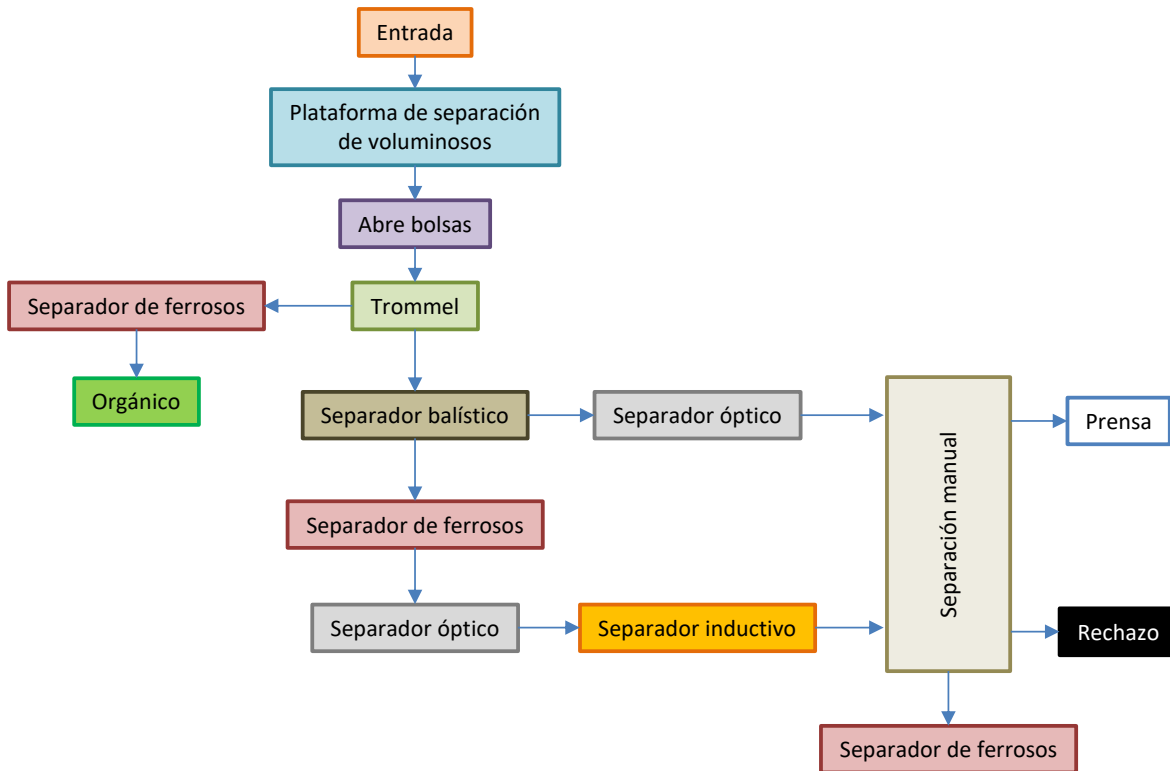
Figura 15: Características de la segregación automatizada.



Fuente: Adaptada de Colturato, 2017; 70.

En este componente, la ejecución de distintos procesos va a permitir la separación de residuos inorgánicos en un cierto número de fracciones y/o corrientes de materiales susceptibles de aprovechamiento mediante su tratamiento y reciclaje, como se propone en la siguiente figura:

Figura 16: Propuesta de elementos del componente mecánico de un sistema de tratamiento mecánico biológico.

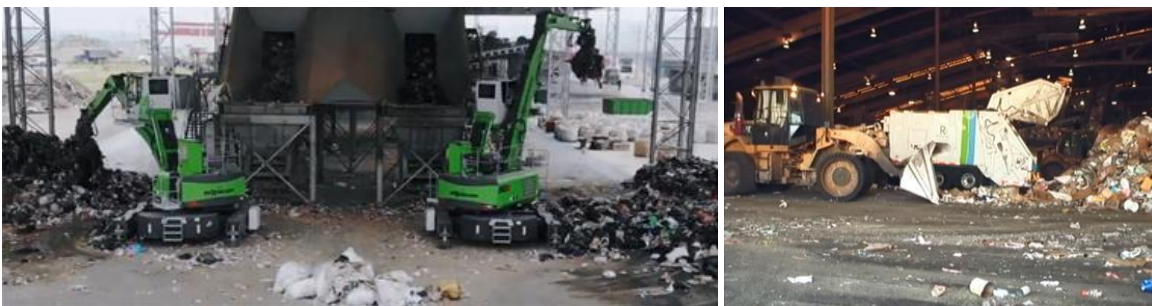


Fuente: Adaptado de Energía y Ambiente, 2014, solo como referencia.

Entrada:

La planta de MBT debe contar con espacio para la recepción de residuos provenientes de la recolección diaria; las dimensiones deberán ser suficientes para permitir el ingreso y salida de camiones de recolección continuamente, incluso mantener la capacidad de operación en periodos de mantenimiento de algunos de los elementos del sistema de tratamiento.

Figura 17: Ejemplo sobre la entrada de residuos sólidos al sistema de tratamiento.



Fuente: GTA Ambiental-BIANNA Recycling-Broquers Ambiental, 2019; Recology, 2010.

Plataforma de Separación de Voluminosos:

Aquí se retiran los materiales voluminosos contenidos en los residuos que ingresan a proceso, empleando un cargador frontal y personal para los casos de grandes dimensiones.

Figura 18: Ejemplo de separación de voluminosos.



Fuente: Recycling, 2010; CP Group, 2011.

Abre Bolsas:

Consta de un rotor accionado por un motor que gira a bajas revoluciones; el rotor posee dientes desgarradores, dispuestos en espiral a lo largo de toda su superficie, permitiendo abrir las bolsas de residuos, desgarrándolas al rozar los dientes móviles contra dientes fijos. (Energía y Ambiente, 2014), permitiendo que los residuos queden disponibles a granel y con ello separar corrientes específicas de materiales.

Figura 19: Ejemplos de abre bolsas.



Fuente: Egypt, 2016; Di-3R, 2017.

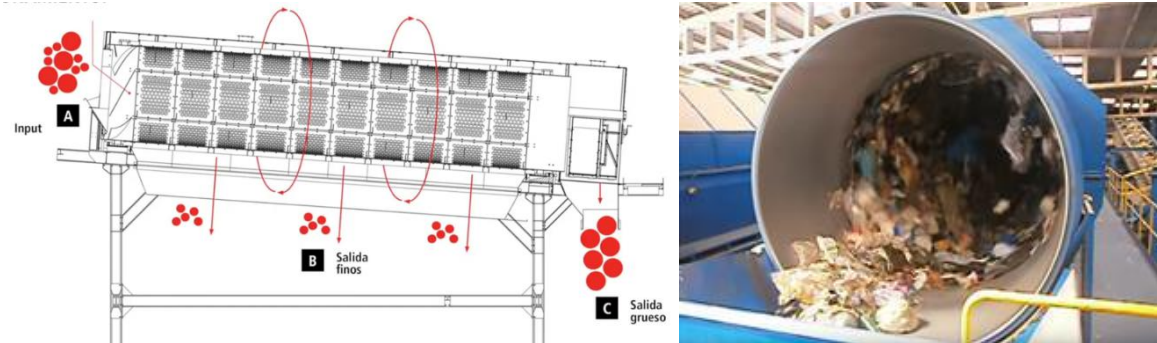
Tromel:

Posterior al abre bolsas, mediante bandas transportadoras horizontales e inclinadas los residuos son conducidos hacia un trómel para separarlos en dos fracciones:

- En su mayoría Inorgánicos (> 80 mm), con destino hacia la clasificación manual.
- En su mayoría Orgánicos (< 80 mm), con destino hacia la separación ferromagnética e inductiva.

Es una criba rotativa donde el material de entrada se clasifica en función de su tamaño, constituido por un tambor cilíndrico con chapas perforadas. El avance del material en el interior del equipo se produce por una ligera inclinación de este y mediante su rotación (Energía y Ambiente, 2014).

Figura 20: Esquema y ejemplo de tromel.



Fuente: Masias Recycling, 2017; Complejo Medioambiental Tromel.avi, 2012.

Separador Balístico:

Después del trómel, la fracción inorgánica (> 80 mm), a través de una banda transportadora ingresa a un separador balístico, que permite separar los residuos según tamaño, densidad y forma.

El equipo consiste en una rampa inclinada formada por unas barras longitudinales perforadas, que poseen un movimiento de tipo balístico producido por dos cigüeñales ubicados transversalmente en la parte superior e inferior de la rampa. La inclinación del equipo y el movimiento oscilatorio de las barras permite la separación del flujo en 3 fracciones distintas (Energía y Ambiente, 2014):

1. 3D: Rodantes, pesados, botellas, latas, etc.
2. Finos: Arena, restos alimentarios, etc.
3. 2D: Planares, ligeros, papel, etc.

Figura 21: Ejemplos de separador balístico.



Fuente: STADLER, 2015.

Separador de Ferrosos:

Posteriormente, la fracción fina compuesta de arena y restos de alimento continúan sobre una banda transportadora hasta pasar por un separador magnético que retiene los metales férricos, con el cual se extrae y recuperan las piezas ferro magnéticas; se compone por un potente electroimán que forma a su vez la estructura principal de una pequeña cinta que lo envuelve.

La pieza ferro magnética que circule por la cinta transportadora, al entrar en el campo magnético generado por el electroimán, es atraída y asciende hasta la cinta que rodea al electroimán. La cinta arrastra las piezas férricas hasta sacarlas del campo magnético generado por el electroimán en donde se desprenden libremente (Energía y Ambiente, 2014).

Figura 22: Ejemplos de separador magnético.

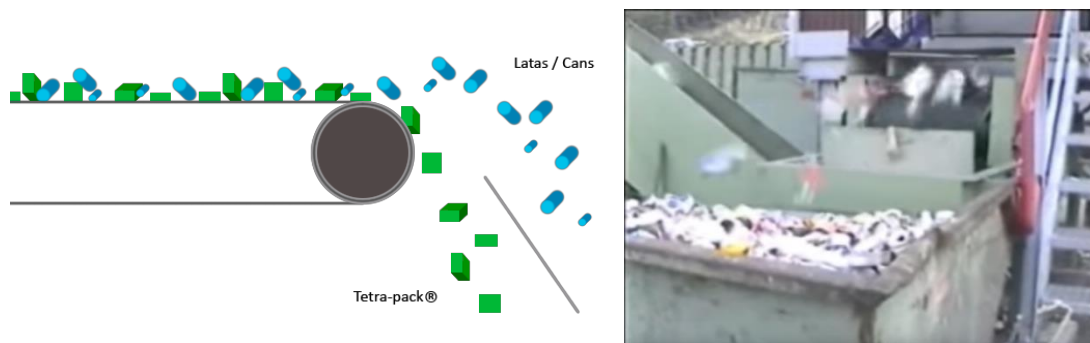


Fuente: MASIAS, 2014; ITALPRO, 2014.

Separador Inductivo:

Consigue separar los metales no férricos del resto de los materiales; cuando un metal no férrico cruza el campo magnético inducido sufre un efecto de repulsión y salta a una cierta distancia por delante del tambor de Foucault y lejos del resto de materiales. (Regulator–CETRISA, 2017)

Figura 23: Ejemplos de separación inductiva.



Fuente: Regulator CETRISA, 2017.

Separador Óptico:

Separa todo tipo de plásticos de alta, media y baja densidad (Energía y Ambiente, 2014), empujando ráfagas de viento que permitan la repulsión de ciertas corrientes de materiales, logrando así la separación de los distintos materiales de interés.

Figura 24: Ejemplos de separador óptico.



Fuente: Residuos Profesional, 2014; IFAT, 2012.

Separación Manual:

Un número de personas separan y clasifican diferentes tipos de residuos; la cantidad necesaria de operarios se obtiene de acuerdo con el porcentaje de materiales inorgánicos. Las personas son entrenadas, protegidas con ropa de seguridad, y trabajan en turnos sobre las bandas transportadoras de residuos.

Cada persona se especializa en separar un tipo de material, concentrando su atención en la recuperación de un solo tipo de material llevando a cabo su actividad de forma eficiente. La clasificación manual se encuentra en una parte elevada, permitiendo dejar caer por gravedad los componentes separados hacia contenedores localizados debajo de dichas estaciones. La cantidad de residuos que pueden ser seleccionados por cada trabajador oscila entre 1.5 y 3 kg/minuto, con un promedio de 2 kg/minuto. (Energía y Ambiente, 2014)

Figura 25: Ejemplos de separación manual.



Fuente: GTA Ambiental-BIANNA Recycling-Broquers Ambiental, 2019; SIPSE, 2016.

6.1.3 Rechazo.

Resulta del proceso de separación previa de los residuos ingresados a la planta de MBT, están compuestos de diversos materiales plásticos y fibras con potencial para su aprovechamiento energético; se denominan Combustibles Derivados de Residuos (CDR) o Refused Derive Fuel (RDF, en inglés). Algunas plantas en operación en Latinoamérica emplean bandas

transportadoras para la alimentación de molinos trituradores, mediante los cuales dicha fracción es sometida a un proceso mecánico que estabiliza los residuos en cuanto a dimensiones y volumen.

Molino Triturador

Maquinaria destinada a la trituración de residuos que son rechazados del tren de tratamiento en una planta de separación, mediante el cual se produce el CDR, combustible compuesto de plásticos, papel, cartón, madera y porciones de material orgánico. El proceso se lleva a cabo por cuchillas montadas sobre un eje que gira a una velocidad baja, donde las puntas de éstas se clavan en el material, produciendo su desgarre al desplazarse a diferente velocidad que las cuchillas fijas.

Figura 26: Ejemplo trituradoras de residuos.



Fuente: Información tomada de la web solo como referencia.

El resultado es un material homogéneo en dimensiones y de composición variada, que puede emplearse como combustible alternativo en proceso de producción que utilicen combustible sólido y que pueda complementarse y/o sustituirse en CDR, como puede ser en la industria cementera.

Figura 27: Ejemplo de combustible derivado de residuos (CDR).

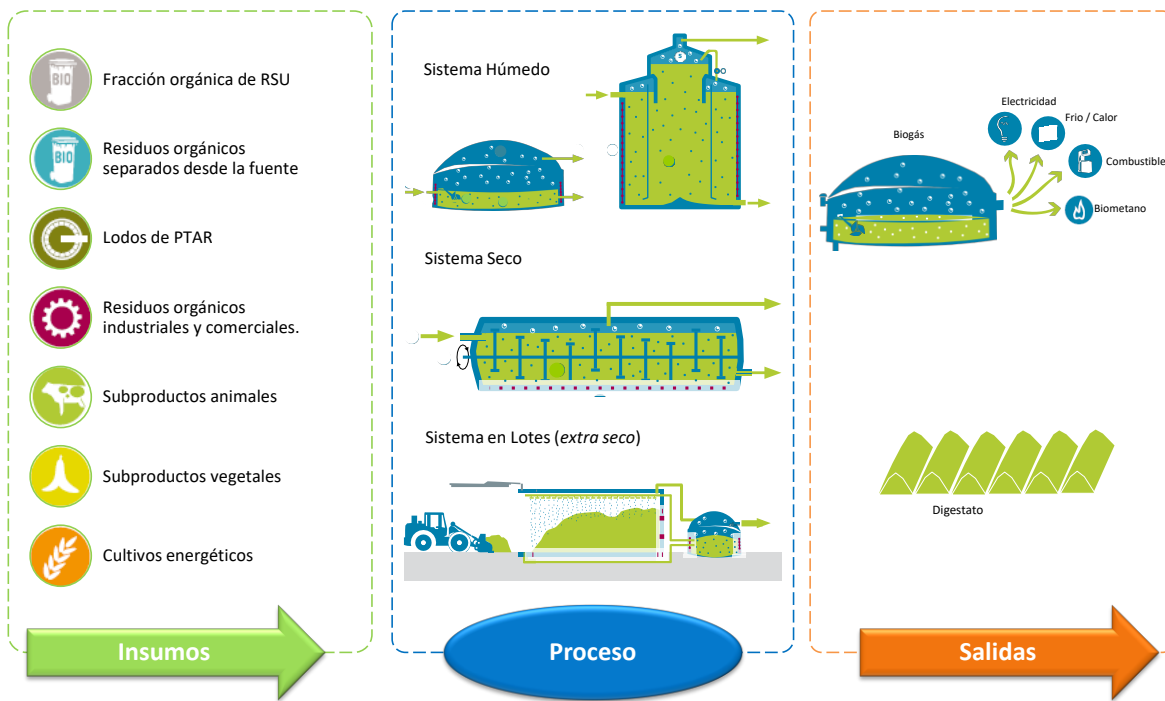


Fuente: Información tomada de la web solo como referencia.

6.1.4 Componente biológico.

La fracción de orgánicos de los residuos podrá ser tratada mediante metanización o digestión anaerobia (DA), que es la descomposición de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno libre. Para ello se emplea un reactor hermético o digestor anaeróbico, y así proveer condiciones favorables para que los microorganismos conviertan la materia orgánica, en biogás y un residuo sólido-líquido llamado digestato. (GIZ, 2017; 31).

Figura 28: Elementos del sistema de tratamiento para el componente biológico.



Fuente: Adaptado y modificado de Wilken, D. et al, 2019; 7-22

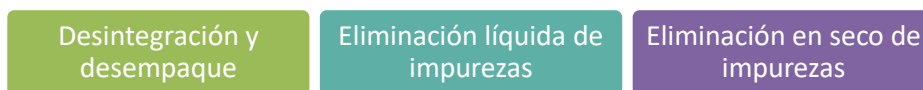
Una vez definidas las condiciones de calidad y cantidad de los residuos orgánicos como materia prima, es indispensable definir el tipo de tecnología de digestión anaerobia que se empleará como parte del sistema de tratamiento. Los sistemas de biogás tienden a ser clasificados de acuerdo con el tipo de proceso de digestión que utilizan en: húmeda continua, seca continua y en lotes secos (Wilken, D. et al, 2019; 19)

Las salidas del sistema de tratamiento de la fracción de orgánicos estarán constituidas por dos subproductos: el biogás y digestato. De acuerdo con la imagen objetivo que se tenga de la planta de MBT, el biogás podrá emplearse para la generación de electricidad, frío o calor, combustible o biometano; en el caso del digestato, podrá utilizarse como nutriente para actividades agropecuarias, mejorador de suelos, o material para cobertura de residuos.

Insumos:

La preparación de la materia prima tiene por objetivo lograr un buen funcionamiento y producir un digestato con la mayor calidad posible. La literatura propone las siguientes 3 alternativas para la preparación de la materia prima para el proceso de biodigestión:

Figura 29: Alternativas para la preparación de la materia prima en el proceso de biodigestión.



Fuente: Adaptado de Wilken, D. et al, 2019; 16-17.

Desintegración y Desempaque:

Busca reducir el tamaño de partícula y generar un material homogéneo para el proceso de digestión; puede ser mediante estrujamiento, corte, molienda o trituración de los residuos. Para retirar impropios se emplean sopladores o mecanismos de sedimentación para la separación de materiales ligeros (Wilken, 2019).

Eliminación Líquida de Impurezas:

Se aplican diferentes tecnologías si el residuo está en forma líquida o debe descomponerse en pequeñas partículas y mezclarse con agua. Para retirar impropios¹⁴ se puede emplear la sedimentación, así como presionar los residuos líquidos a través de una pantalla para producir una fracción orgánica limpia. Pueden incluirse tamices o prensas posterior a la digestión anaerobia para obtener un digestato de alta calidad. (Wilken, 2019).

Eliminación en Seco de Impurezas:

El retiro de impropios de gran tamaño puede realizarse mediante tamizado de residuos y con apoyo de clasificación manual para retirar el materia indeseado. (Wilken, 2019)

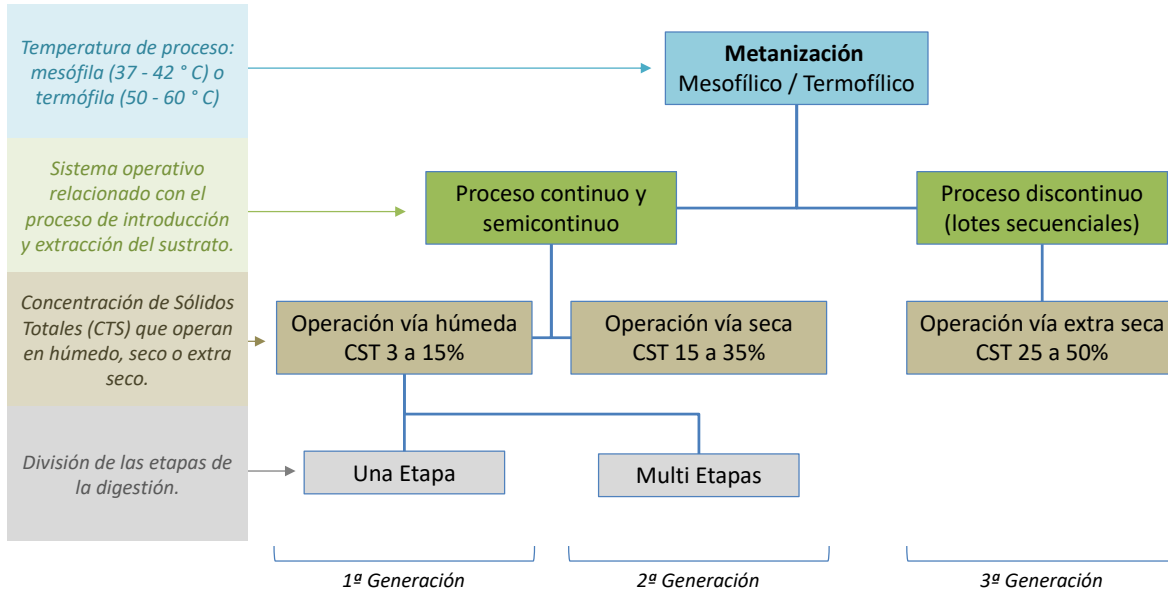
Procesos:

La metanización es una alternativa tecnológica para el tratamiento de residuos que se caracteriza por bajos costos de operación, reducción de la tasa de generación de lodos y emisión de GEI, y producción de biogás, y como un proceso con un balance energético positivo (McCarty 1964; Lettinga et al, 1980; Beccari et al, 1996; Chernicharo, 2007 citado en Colturato, 2015; 16)

Como alternativa tecnológica ha evolucionado, encontrándose en su tercera generación, con biodigestores que operan vía extra seca, caracterizada por una mayor eficiencia en su operación, comparado con tecnologías que emplean procesos húmedos y secos, como lo propone Colturato (2015), con las siguientes variantes y características:

¹⁴ Se trata de aquellos residuos o materiales inorgánicos y que se encuentran mezclados en bajas proporciones, por ejemplo: plásticos, cartón, madera, vidrio, yeso, metales, rocas, escombros, entre otros.

Figura 30: Evolución de las tecnologías de metanización.



Fuente: Adaptado de Fricke & Pereira, 2013, citado en Colturato, 2015; 17.

La concentración promedio de humedad presente en los RSU orgánicos varía de aproximadamente 50% a 80%. En general, los procesos húmedos diluyen el material a digerir hasta que tenga una concentración máxima de sólidos totales (ST) de aproximadamente el 15%, aunque la mayoría de estos sistemas funcionan con concentraciones de ST que varían del 3 al 7%. Los procesos secos operan con contenidos ST superiores al 15%, alcanzando el 35%, mientras que los procesos extra secos operan con contenidos ST en el rango del 25 al 50%. (Colturato, 2015; 18)

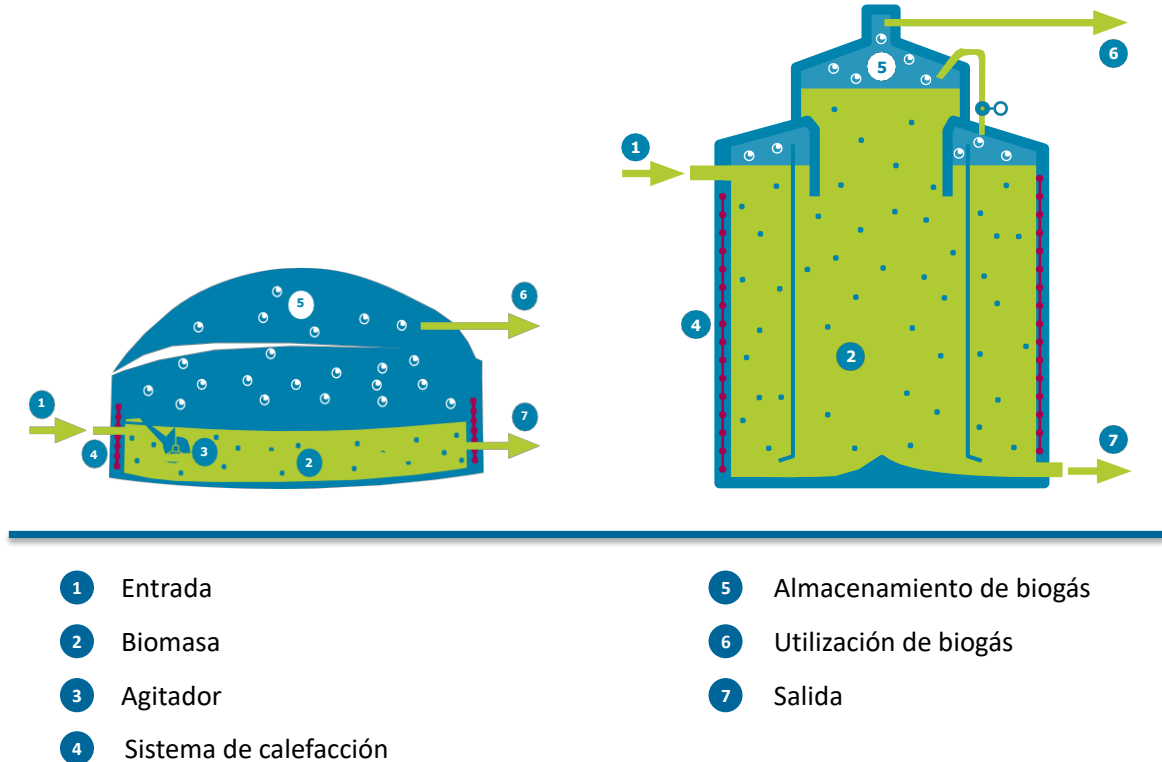
- **Operación Vía Húmeda:**

La operación de este sistema de digestión anaerobia emplea reactores de tanque agitados continuamente (CSTR por sus siglas en inglés); en éstos el material se alimenta continuamente, con varias cargas cada día. (Wilken, 2019; 20)

El material más adecuado para la digestión húmeda es residuo biológico líquido, tal como residuos industriales y comerciales o estiércol.

Estos procesos producen un flujo de biogás más homogéneo, permitiendo la optimización de los sistemas de generación de energía (Austermann, et al, 2007 citado en Colturato, 2015; 18).

Figura 31: Esquema de digestión anaerobia continua vía húmeda.



Fuente: Adaptado de Wilken, D. et al, 2019; 20.

○ *Preparación del sustrato:*

El pretratamiento del sustrato (Cabral, 2015; 55) con esta alternativa conlleva las siguientes actividades:

- Trituración de sustrato seco
- Eliminación de impurezas (metales o materiales ligeros como películas plásticas).
- Requerimientos de agua al sustrato fresco en tanques de mezcla
- Homogenización del sustrato
- Separación de material pesado
- Extracción de materiales ligeros/flotantes

La alternativa es más conveniente para el tratamiento de residuos orgánicos que han sido recolectados de forma diferenciada desde la fuente y/o que son resultado de un proceso de separación previa con una mínima presencia de impropios.

Figura 32: Ejemplo de sustrato conforme a condiciones de pretratamiento con operación vía húmeda.

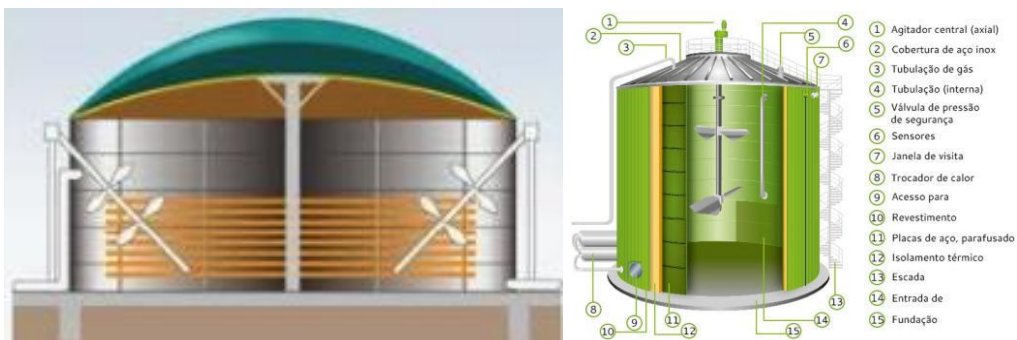


Fuente: Colturato, 2017; 78.

- **Construcción e Instalaciones Asociadas:**
Algunos requerimientos específicos de construcción (Cabral, 2015; 34) para operación vía húmeda son:
 - Equipamiento con mezcladores laterales.
 - Almacenamiento de biogás se conecta con una cubierta en parte superior del reactor.
 - Digestores con mezclador central requieren una inversión más alta.
 - Reactores más grandes de cubierta superior con doble membrana para protección contra acción del viento.
 - Requiere mayor aislamiento del reactor y calentamiento constante.

Es necesaria la infraestructura y equipamiento complementarios para la deshidratación del digestato.

Figura 33: Esquema de biodigestor con agitador tangencial y central para operación vía húmeda.



Fuente: Adaptado de Cabral, 2015; 33, 41.

- ***Eficiencia:***
Si el objetivo del tratamiento está orientado a generar la mayor cantidad de biogás, este sistema parecerá la opción más conveniente, tomando en cuenta las consideraciones propuestas por Cabral (2015; 55):
 - Ventaja económica para residuos con alto contenido de humedad y libres de impurezas.
 - Alta inversión en equipos de procesamiento, operación y desgaste.

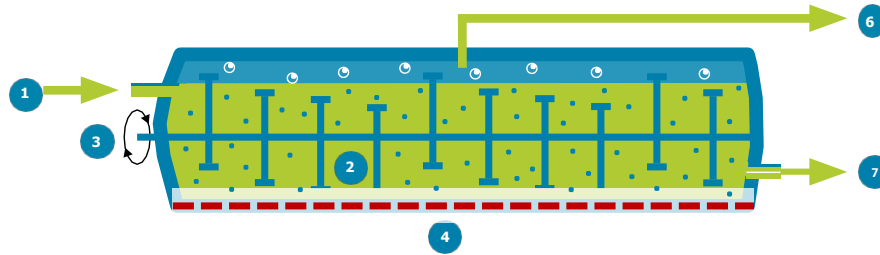
 - ***Costos:***
Tienen una ventaja económica en el sector de tratamiento de residuos solo para el procesamiento de aquellos previamente húmedos y libres de impurezas; existe una alta inversión en el procesamiento, operación y desgaste de equipos. (Cabral, 2015; 55)

 - ***Madurez Tecnológica:***
Solo se usa para el tratamiento de residuos de alimentos previamente segregados, pero no para el tratamiento de residuos urbanos orgánicos. (Cabral, 2015)
-
- ***Operación Vía Seca:***
Esta alternativa permite que la biomasa sea transportada lentamente de forma horizontal o vertical desde la entrada hacia la salida del sistema de biodigestión. Los digestores de flujo de tapón vertical funcionan sin agitadores, pero usan gravedad y bombas para mezclar biomasa; en tanto que los de flujo de tapón horizontal están equipados con una tecnología de agitación muy robusta, como lo describe Wilken (2019; 21)

Aparentemente, esta alternativa si está destinada para la recepción de residuos biológicos municipales heterogéneos, diferenciándose del sistema húmedo.

Es un proceso en el que la digestión no se interrumpe, es decir, los sustratos se insertan en el digestor al mismo tiempo que se elimina el material digerido, lo que da como resultado un sistema con flujo constante y producción de biogás. (Cabral, 2015; 52)

Figura 34: Esquema de digestión anaerobia continua vía seca.



- | | | | |
|---|------------------------|---|--------------------------|
| 1 | Entrada | 5 | Almacenamiento de biogás |
| 2 | Biomasa | 6 | Utilización de biogás |
| 3 | Agitador | 7 | Salida |
| 4 | Sistema de calefacción | | |

Fuente: Adaptado de Wilken, D. et al, 2019; 21.

o *Preparación del sustrato:*

Se requiere de un pretratamiento de los residuos orgánicos que serán tratados en el sistema de digestión anaerobia.

Contempla el retiro de voluminosos y otros impropios de menor tamaño, la recirculación de efluentes para lograr contenidos de humedad determinados, así como de material digerido.

El pretratamiento de los residuos necesario contempla:

- Trituración y cribado (material fino a va a digestor y fracción gruesa a vertedero)
- Retiro de metales y otras impurezas (metales y materiales ligeros como películas plásticas)
- Recirculación de efluentes para humificación del sustrato para un contenido de agua mayor al 25%.
- Recirculación de materia digerido para inoculación del sustrato con biomasa metanogénica activa.

Genera efluentes que son recirculados en el mismo proceso, sin embargo, debe considerarse que la continuidad de éste implica una generación permanente de dicho subproducto, lo que se puede asociar con requerimientos adicionales para su control y manejo.

Figura 35: Ejemplo de sustrato con operación continua vía seca.



Fuente: Colturato, 2017; 81, 84.

○ *Construcción e Instalaciones Asociadas:*

Permite establecer un número de reactores que formarían parte del sistema de tratamiento, según requerimientos de la cantidad de residuos a tratar.

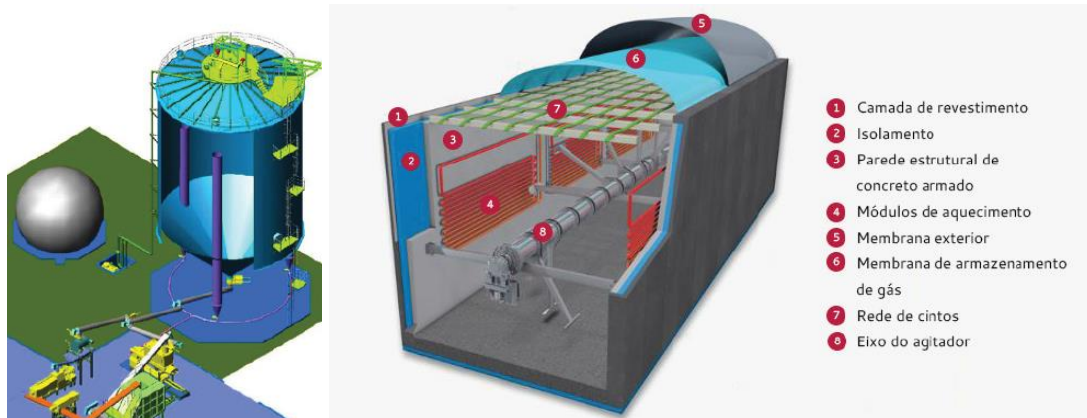
Una porción de los materiales procesados que ya no serán digeridos deberá deshidratarse en el postratamiento mediante compostaje.

El efluente líquido debe almacenarse temporalmente para su posterior recirculación a fin de humedecer los sustratos (Cabral, 2015; 52)

Algunos requerimientos específicos de construcción para operación vía seca, incluye:

- Espacio de almacenamiento de biogás por encima del nivel máximo del líquido (depósito primario)
- Puede contar con depósitos externos según el objetivo que se tenga para el biogás.
- Empleo de bombas para extracción del biogás.
- Requerimientos de espacio para postratamiento del material digerido mediante composteo.
- Efluente líquido requiere de almacenamiento para su posterior recirculación.

Figura 36: Esquemas de biodigestores con operación vía seca.



Fuente: OWS/Dranco y Eisenmann, citados en Cabral, 2015; 52.

- **Eficiencia:**
Alternativa de tratamiento más atractiva en términos de eficiencia energética, de procesos y reducción de emisiones, conforme a lo documentado por Cabral (2015; 53), con las siguientes características:
 - Eficiencia técnica más estable para digestión de residuos (energética, de proceso y reducción de emisiones).
 - Garantiza equilibrio con una buena producción de biogás, mínima liberación de gases, y en la calidad del material digerido.

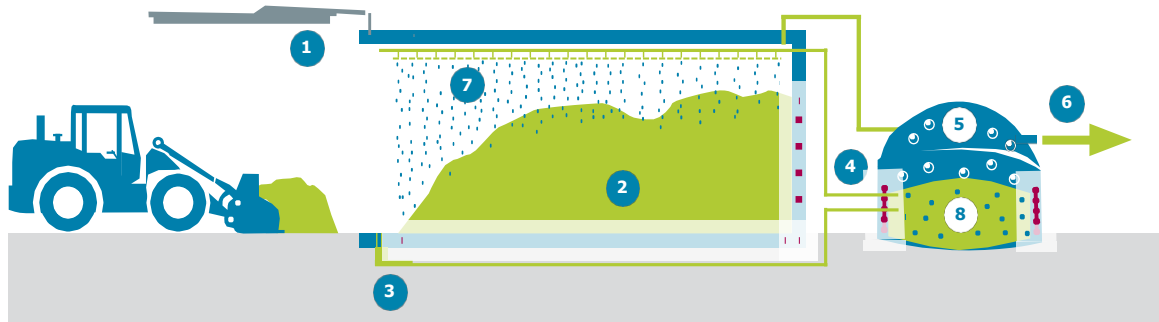
- **Costos:**
Los costos de inversión, debido a las mayores demandas tecnológicas involucradas, son más altos que los del sistema de lotes secos (Cabral 2015; 53) Mejor producción de biogás hace posible obtener un mayor volumen de ingresos en comparación con el sistema por lotes.

- **Madurez Tecnológica:**
Por la alta estabilidad de proceso, bajos costos operativos y bajas emisiones de gases de efecto invernadero, esta alternativa es de las más utilizadas y con potencial crecimiento en países en específico como Alemania. (Cabral, 2015; 53.)

- **Operación Vía Extra Seca:**
Los digestores discontinuos se desarrollaron como sistemas de garaje, en los que la materia prima se procesa en lotes durante un periodo de retención definido de un mes aproximadamente.
Transcurrido el periodo de retención el digestor se vacía para llenarse nuevamente con el siguiente lote; el digestato puede ser poscompostado sin que pase por un proceso de separación previo, a su vez que la nueva materia prima se inocula con digestato sólido del proceso anterior y la mezcla ocurre dentro del garaje.
- El lixiviado se recircula como líquido de percolación y se rocía sobre la materia prima entrante al proceso para inocularla.

- El flujo del material es discontinuo, para ello la materia prima y el digestato se mueve dentro y fuera del garaje utilizando un cargador frontal de ruedas; es necesario que la materia prima pueda apilarse, por ende, contener una gran cantidad de material estructural.
- Tecnología conveniente para tratamiento de materia prima con contenido de materia seca superior al 30%; le caracterizaría el empleo de reactores robustos dados los nulos requerimientos de componentes móviles en su interior, las operaciones confiables y los bajos costos de mantenimiento.
- Podría presentar un rendimiento inferior en una relación 3 a 1 comparado con otros sistemas, sin embargo, considerando que la alimentación es manual, con su implementación se generan más empleos que con los sistemas automatizados.

Figura 37: Esquema de digestión anaerobia vía lotes en seco.



- | | |
|--|--|
| 1 Puerta hermética | 5 Almacenamiento de biogás |
| 2 Biomasa | 6 Utilización de biogás |
| 3 Sistema de drenaje para líquido de percolación | 7 Distribución líquida de percolación |
| 4 Sistema de calefacción | 8 Tanque de almacenamiento de líquido de percolación |

Fuente: Adaptado de Wilken, D. et al, 2019; 22.

- El sistema de distribución del líquido de percolación garantiza un contenido óptimo de humedad en el sustrato a tratar.
- Tienen un diseño simple y operan con contenidos de sólidos más altos; se aplican para operación en seco o extra seco sin dilución de material con el empleo de sistemas de alimentación simples, robustos y económicos.
- Logran una producción discontinua de biogás, y con requerimientos de una mayor superficie para su emplazamiento comprado con otras alternativas. (Baere y Mattheeuws, 2008 citados en Colturato, 2015; 18)

- *Preparación del sustrato:*
Los requerimientos para la preparación del sustrato son marginales, al considerar únicamente el retiro de voluminosos de la fracción de orgánicos.
Las condiciones de pretratamiento son:
 - *Alimentación de sistema sin separación de residuos*
 - *Trituración de residuos de mayor tamaño*
 - *Utilizar inóculo (líquido) generado en la biomasa activa del proceso anterior.*
 - *Iniciado el proceso no se requiere mezclar, por lo tanto, menor desgaste de equipo empleado para alimentación.*
 - *Después de un ciclo de tratamiento (3-6 semanas dependiendo de del sustrato) el material digerido se retira y se envía a digestión aerobia.*

Flexibilidad a la presencia de impropios en la composición del sustrato, sin que repercuta en sus eficiencias de proceso.

Figura 38: Ejemplo de Sustrato Conforme a Condiciones de Pretratamiento con Operación Vía Extra Seca.



Fuente: Colturato, 2017; 85.

- *Construcción e Instalaciones Asociadas:*
La cantidad de digestores de garaje que formarán parte del sistema de tratamiento se define a partir de la cantidad de residuos orgánicos; se debe tomar en cuenta que el ciclo de tratamiento de cada reactor es de 3 a 6 semanas.

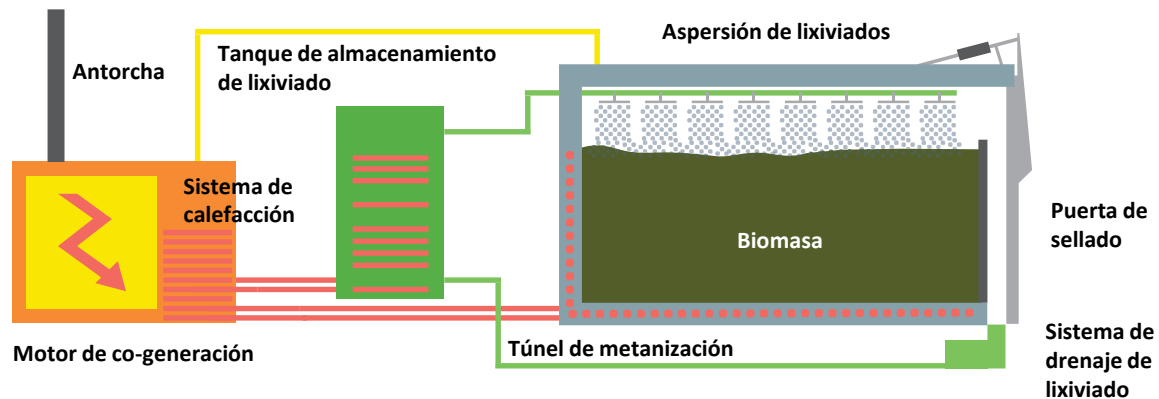
Los garajes estarán cerrados herméticamente y todos conectados a un depósito de biogás, junto con un sistema que permite el rociado del percolado sobre el sustrato, a fin de crear las condiciones adecuadas para el proceso de digestión. Los requerimientos específicos de construcción para operación vía extra seca, son:

- *Digestores se desarrollan como sistema de garaje.*
- *Sistema de drenaje para captación y control de lixiviados para su posterior recirculación.*
- *Reactores robustos sin componentes móviles en su interior.*
- *Almacenamiento de la materia prima se hace manualmente con el empleo de cargador frontal de ruedas.*
- *Sistema de distribución de líquido de percolación.*

Es posible la instalación de un sistema de aireación localizado en la base del garaje; asimismo, el calentamiento de sus paredes asegura la temperatura para el proceso de digestión.

Concluido el proceso y previo a la apertura de la puerta de sellado, el reactor se airea para evitar emisiones de metano, así como condiciones de explosividad.

Figura 39: Esquemas de biodigestores con operación vía extra seca.



Fuente: Bekon, citado en Cabral, 2015; 50.

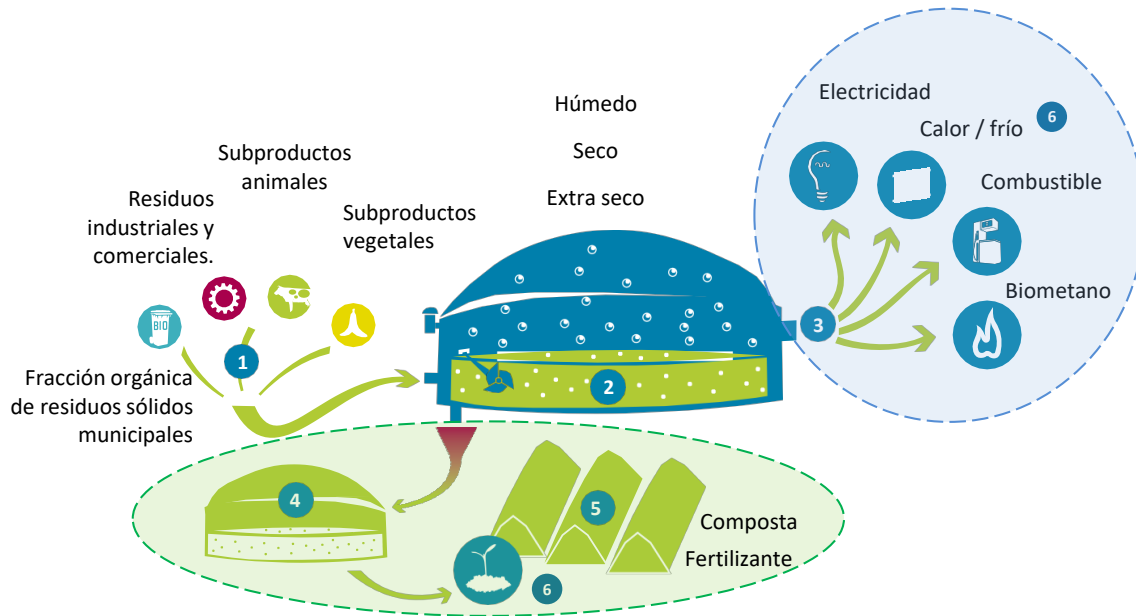
- **Eficiencia:**
Si la prioridad es la estabilización de la materia orgánica, con aprovechamiento de subproductos que deriven del proceso, esta opción tendría las mejores condiciones.
Algunas otras características sobre la eficiencia para esta alternativa son:
 - Se trata de un proceso discontinuo.
 - Menor mezcla de sustrato; menor eficiencia en generación de biogás.
 - Apertura de contenedor después del ciclo de digestión; volumen de biogás de 20% a 30% menor que en proceso continuo.
 - Mayor cantidad de sustrato susceptible de tratar; menor cantidad de biogás generado.
- **Costos:**
Costos de inversión más bajos que digestión en seco continuo, principalmente por la ausencia de grandes costos para la preparación y mezcla del sustrato. (Cabral, 2015; 51)
- **Madurez Tecnológica:**
La flexibilidad y pocas restricciones para el tratamiento de orgánicos le brinda un gran potencial para su implementación.
Países como Alemania han preferido la alternativa de proceso continuo debido a la mayor productividad de biogás y menores emisiones de GEI. (Cabral, 2015; 51).

Salidas:

Cuando el material de alimentación orgánico se digiere, una porción del carbono presente en la materia prima se convierte en un gas rico en metano (biogás); adicionalmente, queda un residuo sólido llamado "digestato" que es similar a la composta el cual debe someterse a un período de "curado" mediante aireación en pilas de compostaje antes de comercializarse para su uso como fertilizante o "mejorador" de suelo. (World Bank, 2011; 108)

Ambos subproductos, mediante su postratamiento pueden ser aprovechados de formas distintas, como lo propone Wilken (2019, 7):

Figura 40: Identificación de salidas derivado del proceso de biodigestión.



- | | | |
|-------------------------------------|-------------|--------------------|
| 1 Diferentes tipos de materia prima | 3 Biogás | 5 Compost |
| 2 Digestor | 4 Digestato | 6 Usos potenciales |

Fuente: Adaptado de Wilken, D. 2019; 7.

- Biogás:**
 El biogás es un producto gaseoso de la degradación biológica de sustratos orgánicos en condiciones anaeróbicas; se compone principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) y, en cantidades más pequeñas, aparecerá el sulfuro de hidrógeno (H₂S), la humedad (H₂O) y otros gases, por ejemplo, nitrógeno (N₂). (Cabral, 2015; 14)

Dependiendo del tipo de materia prima a utilizar, el contenido de CH₄ del biogás fluctúa entre 50% y 70%; mientras que el segundo componente más abundante es el dióxido de carbono (CO₂), que constituye entre el 30% y el 45% del biogás. También hay pequeñas cantidades de otros componentes como agua, oxígeno, trazas de compuestos de azufre y sulfuro de hidrógeno como lo describe Wilken (2019; 18).

Algunos valores de referencia de sobre el potencial en la producción de biogás, son:

Tabla 3: Valores de referencia para potencial producción de biogás.

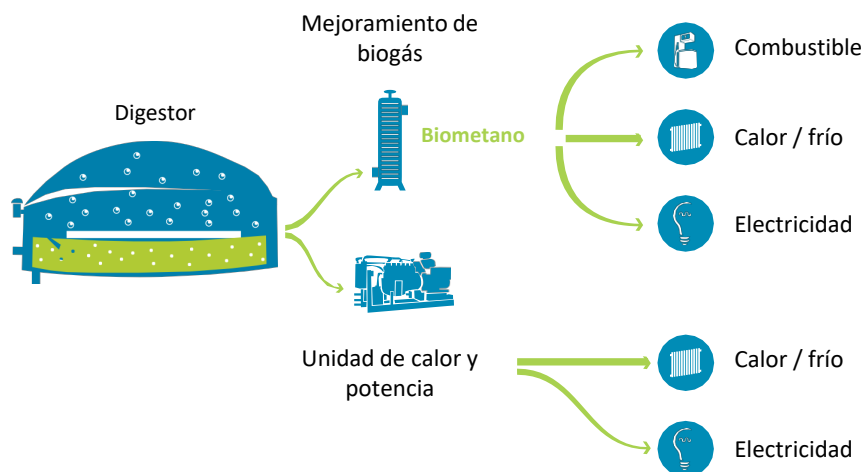
Punto de referencia	Residuos municipales (Mixtos)	Residuos orgánicos (Separados)	Restos de alimentos* (Separados)
Sólidos totales:	30 - 40%	30 - 40%	15 - 20%
Sólidos volátiles totales (SV):	50 - 60%	70 - 80%	85-95%
Impurezas (sin sedimentos):	10-20%	1-5%	5 - 10%
Potencial producción de biogás:	450-600 Nm ³ / t SV	350 Nm ³ / t SV	850 Nm ³ / t SV
Porcentaje de metano:	60 - 65% CH ₄	60 - 65% CH ₄	55 - 60% CH ₄

* Recogidos por separado grandes generadores

Fuente: Tomada de Colturato, 2017; 60.

- Alternativas de aprovechamiento del biogás:
 El biogás producido con mayor frecuencia se convierte en electricidad y calor mediante un CHP, aunque también se puede procesar para la obtención de biometano, el cual tiene propiedades químicas similares al gas natural, como lo plantea Wilken (2017; 8)

Figura 41: Alternativas para aprovechamiento del biogás.

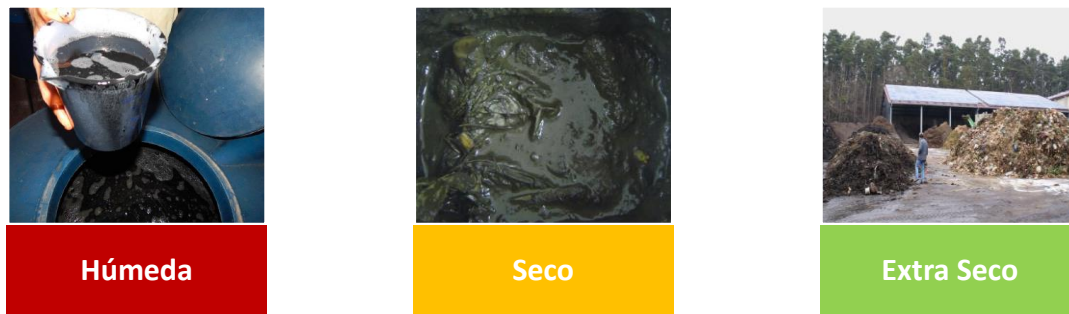


Fuente: Adaptado de Wilken, 2017; 8.

Digestato:

Es el material final resultante del proceso anaeróbico, mismo que se encuentra parcialmente estabilizado y que requiere someterse a un proceso de deshidratación. La fracción sólida generalmente se destina a una etapa de compostaje aeróbico, en tanto que la fracción líquida, dada su alta concentración de amoníaco, si no está destinada directamente a la fertirrigación debe someterse a procesos de nitrificación-desnitrificación y eliminación física y biológica de la DQO. (Colturato, 2015; 15)

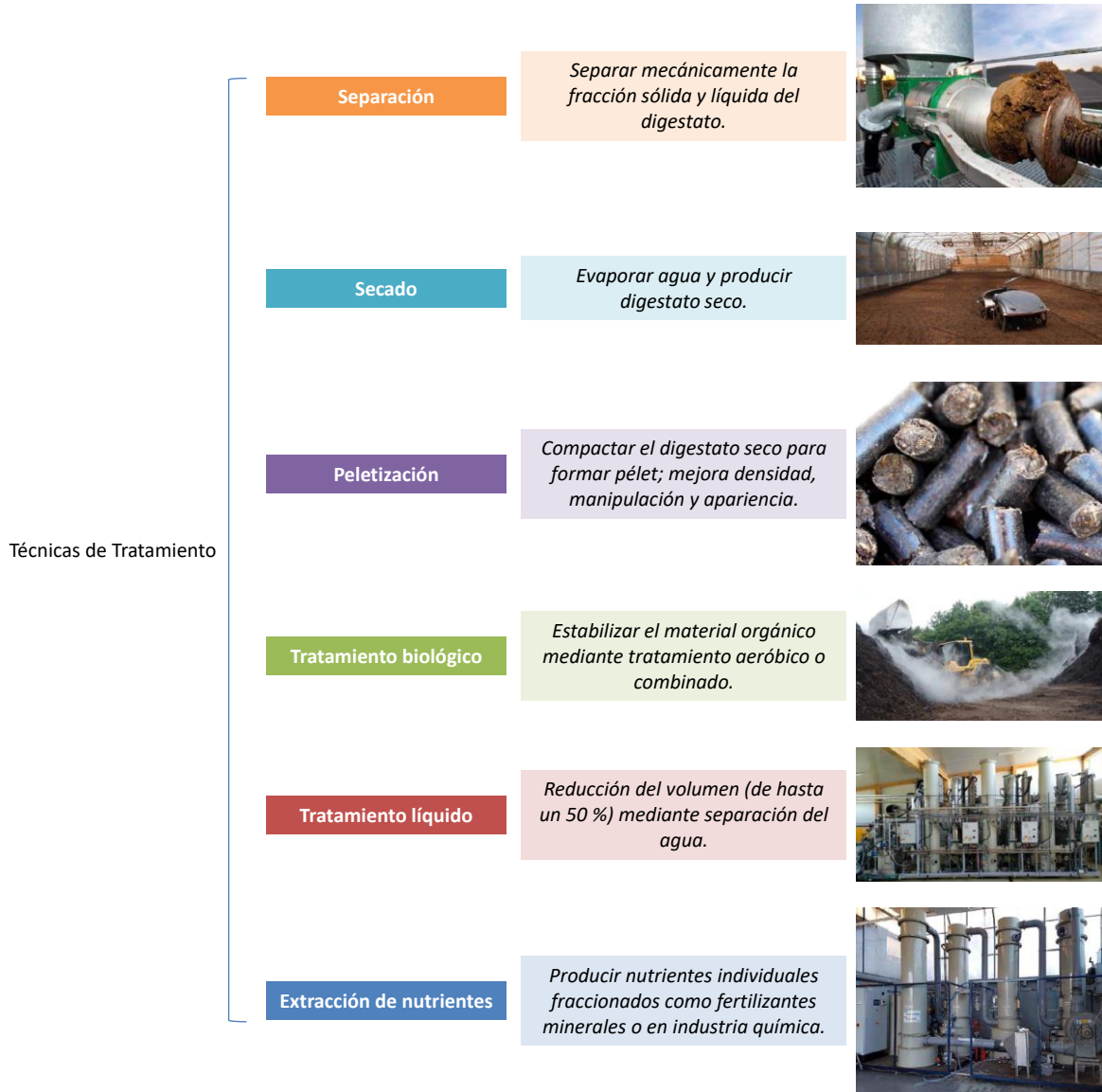
Figura 42: Condiciones del digestato por tipo de alternativa de digestión anaerobia.



Fuente: Adaptado de Colturato, 2017; 92.

- Alternativas de aprovechamiento del digestato:
Es posible implementar distintas alternativas de tratamiento, desde procesos simples como puede ser el composteo, hasta el empleo de soluciones tecnológicas sofisticadas, como las que muestran en la siguiente figura:

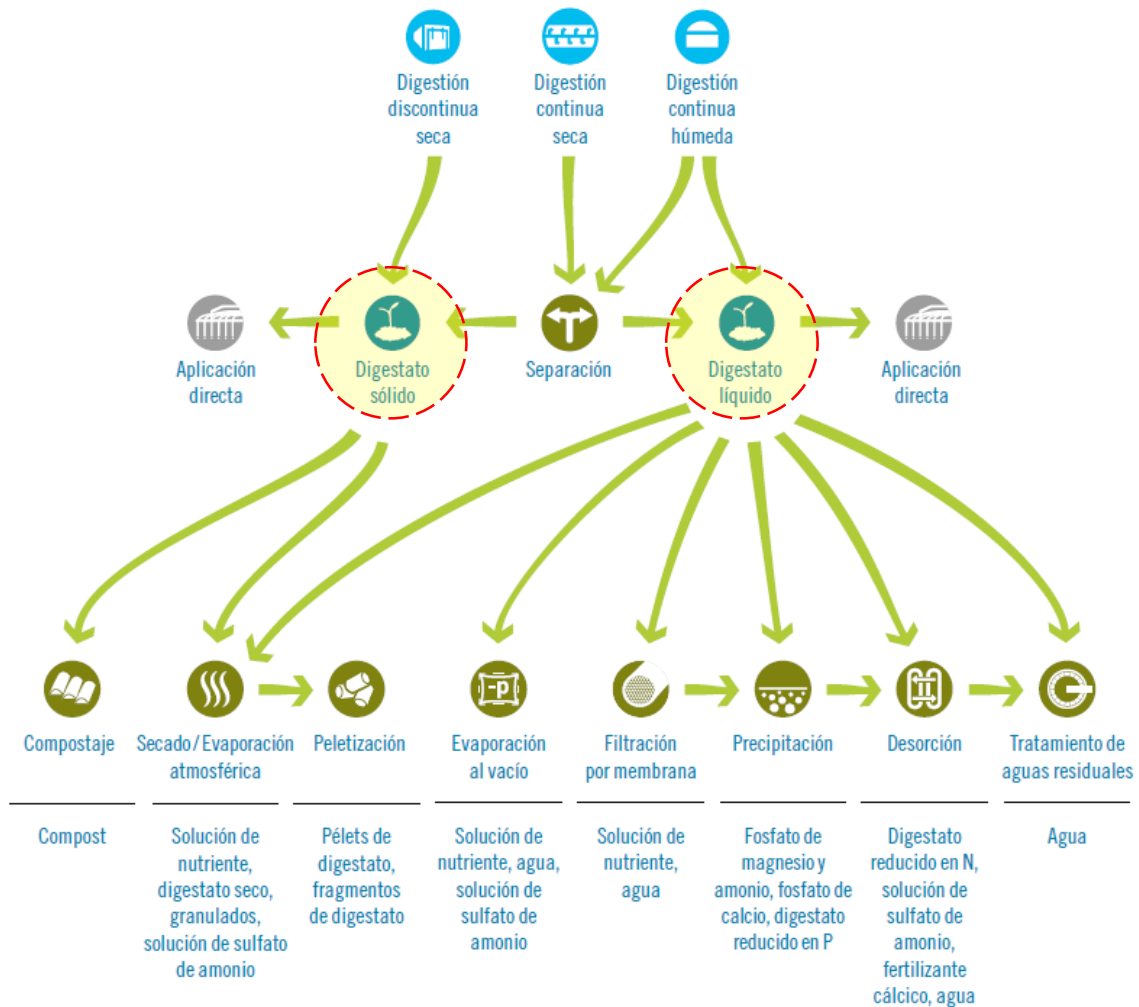
Figura 43: Técnicas de tratamiento del digestato.



Fuente: Adaptado de Wilken, 2018; 17-26

Por otra parte, algunas alternativas para el aprovechamiento del digestato, pueden incluir la siguientes:

Figura 44: Alternativas para aprovechamiento del digestato.



Fuente: Adaptado de Wilken, 2018; 8.

Para el digestato generado a partir de un proceso de digestión seca discontinua, las técnicas de tratamiento disponibles parecerían las más simples, en tanto que las alternativas para el digestato en estado líquido las opciones serían sofisticadas y por ende con mayor complejidad.

6.2 Evaluación de las alternativas de procesos y tecnologías de biodigestión.

De acuerdo con una evaluación de las tres alternativas de digestión anaerobia, presentada durante el taller “Factores Técnicos-Económicos de Proyectos de Aprovechamiento Energético de RSU” preparado por la GIZ México en coordinación con la Secretaría de Energía y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales durante 2017, mostró un comparativo de 8 elementos a fin de identificar aquella con el mejor rendimiento, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4: Criterios de evaluación para alternativas de tratamiento de sistemas de biodigestión.

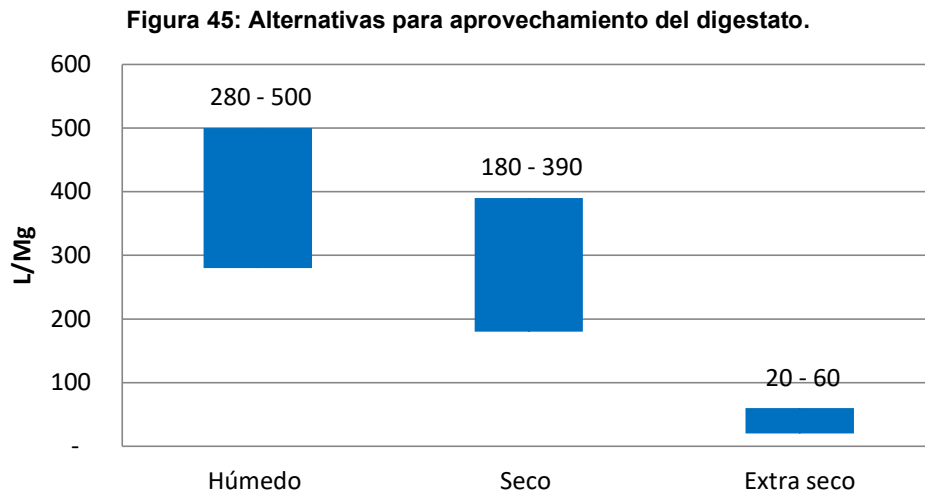
Id	Criterio / Tecnología	Húmeda	Seca	Extra-Seca
	Complejidad de los equipos			
1.	Pretratamiento:	--	+	+
2.	Deshidratación:	-	+	++
3.	Mantenimiento / Disponibilidad de la planta:	0	0	+
4.	Sedimentación / Acumulación:	+	-	++
5.	Productividad de metano:	+	+	-
6.	Pérdidas de metano:	+	+	-
7.	Costos de Inversión:	-	0	+
8.	Costos de operación:	-	0	+

+ El símbolo indica un mejor rendimiento en el elemento presentado. Cuantos más símbolos, mejor será el rendimiento.

Fuente: Tomada de Colturato, 2017; 88.

A partir de dicho comparativo, se tendrían las siguientes consideraciones:

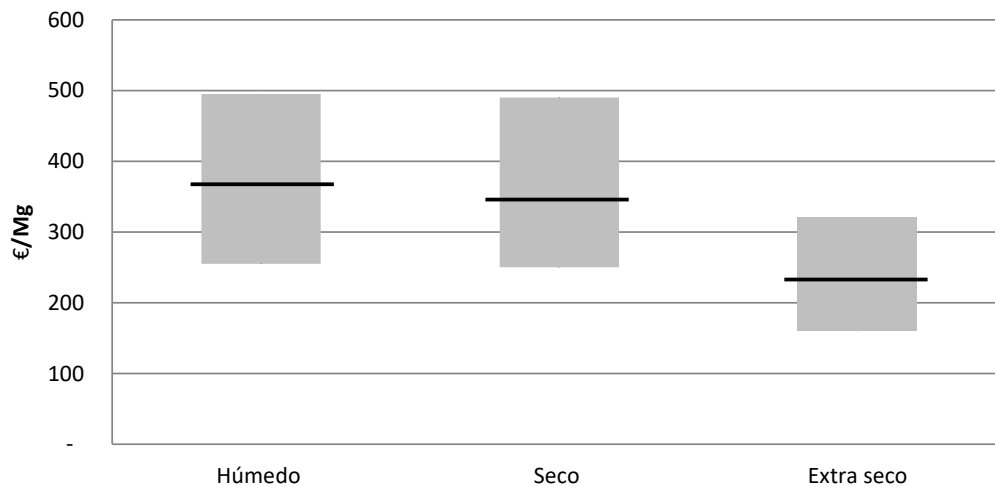
- Respecto al pretratamiento del sustrato, la alternativa seca y extra seca tendrían el mejor rendimiento en comparación con la opción húmeda:
 - Los requerimientos de preparación del sustrato para las opciones seca y extra seca son menores comparados con la alternativa húmeda, concebida para el procesamiento de residuos y/o subproductos del sector agrícola y que por consecuencia demanda de un sustrato libre de impurezas y con un alto contenido de humedad.
 - Para el caso de las opciones seca y extra seca, son tecnologías concebidas para el tratamiento de la fracción orgánica de residuos, por lo que los requerimientos de pretratamiento del sustrato son más flexibles, sin que ello afecte las eficiencias de sus procesos.
- En relación con el tema de deshidratación o post tratamiento del digestato, la alternativa extra seca tiene el mejor rendimiento comparado con las otras dos alternativas.
 - La opción húmeda tiene el menor rendimiento al generar un digestato en estado líquido, por consecuencia “generando otro problema” al requerir de forma adicional más infraestructura y equipamiento específico para la deshidratación.
 - La alternativa seca tiene un rendimiento en positivo, sin embargo, con requerimientos adicionales menos complejos para la deshidratación del material digerido en comparación con la opción húmeda.



Fuente: Adaptado de Wilken, 2018; 8.

- Como se aprecia en la gráfica anterior, en promedio con la alternativa húmeda se genera una cantidad de lixiviados casi diez veces mayor comparada con la alternativa extra seca; en el mismo orden de ideas, pero con una relación 7 a 1 comparando la alternativa seca y extra seca.
3. Sobre el tema de mantenimiento y disponibilidad de la planta, la alternativa extra seca tiene un mejor rendimiento, al tratarse de infraestructura y equipamiento menos complejo y automatizado, comparado con las alternativas seca y húmeda.
 4. Referente al tema de Sedimentación / Acumulación, la alternativa extra seca tiene el mejor rendimiento al emplear un sistema simple de alimentación del sustrato y retiro del material digerido; lo anterior, mediante el uso de un cargador frontal de ruedas, evitando la acumulación de sustrato al interior del reactor.
 5. Respecto a la productividad de metano, las alternativas húmeda y seca tienen el mejor rendimiento. En el primer caso dada la vocación natural del principio tecnológico empleado, y concebido para el tratamiento de corrientes específicas de residuos y con un alto contenido de humedad. En el segundo caso, con características similares y además como una alternativa diseñada para el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. A diferencia de lo anterior, la alternativa extra seca con rendimiento negativo derivado de las condiciones de operación asociadas al principio tecnológico, orientado a la estabilización de la fracción orgánica de los residuos, más que a la generación de subproductos asociados como pueden ser el biogás, fertilizantes líquidos y composta.
 6. En el mismo orden de ideas, por pérdidas de metano el mejor rendimiento se da con las alternativas húmeda y seca dado que se trata de sistemas cerrados y que se caracterizan por una alta productividad de biogás; a diferencia de lo anterior, la alternativa extra seca tiene un rendimiento negativo, dado que al suministrar el material a digerir y retirar el digestato, se dan las pérdidas de forma permanente.
 7. Otro elemento de comparación son los costos de inversión, rubro en el que la alternativa extra seca tiene el mejor rendimiento al tener un monto por tonelada tratada que va de €200 a €300 aproximadamente, en tanto que las alternativas seca y húmeda se encuentran en el rango que va de los €250 a los €500 por tonelada tratada.

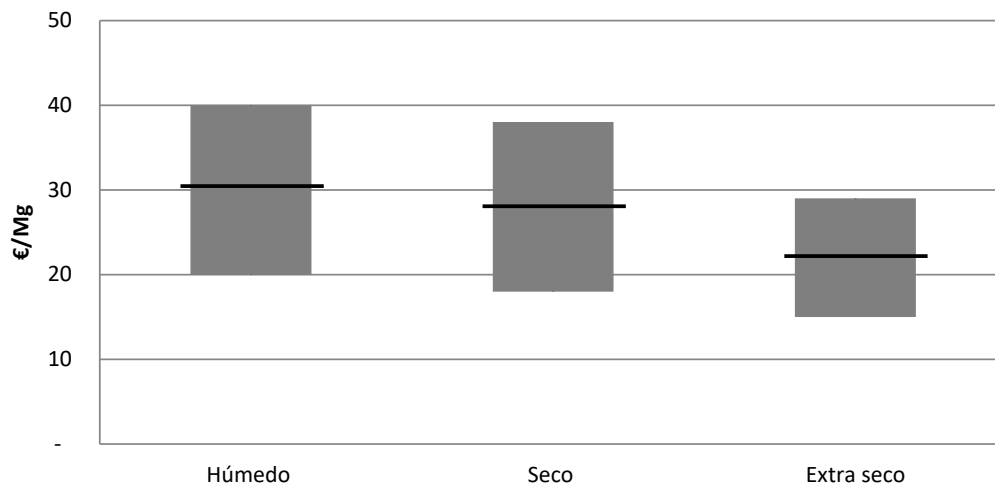
Figura 46: Costo por tonelada en inversión de tres alternativas de digestión anaerobia.



Fuente: Tomado de Colturato, 2017; 101.

- Finalmente, el último componente revisado se refiere a los costos de operación, donde nuevamente la alternativa extra seca tiene el mejor rendimiento, con un costo de operación por tonelada tratada que va de los €15 a €29, en tanto que las alternativas seca y húmeda ronda de los €20 a €40 aproximadamente.

Figura 47: Costo por tonelada en inversión de tres alternativas de digestión anaerobia.



Fuente: Tomado de Colturato, 2017; 104.

En suma, por lo menos en seis de los ocho elementos comparados la alternativa extra seca tiene los mejores rendimientos, siendo en aspectos de productividad y pérdidas de metano en los que tendría sus principales debilidades en comparación con las opciones seca y húmeda.

En segundo comparativo de las tres alternativas de digestión anaerobia preparado por el Ministerio de Ciudades de Brasil y la GIZ, permite identificar a través de 18 criterios las características de cada opción: húmeda, seca y extra seca; los elementos cualitativos y cuantitativos de dicha comparativa van a contribuir a la toma de decisiones respecto a la imagen objetivo del sistema de tratamiento de residuos sólidos para Quintana Roo.

Tabla 5: Comparación de alternativas para tratamiento mediante biodigestión.

Criterio	Digestión Húmeda	Digestión Seca Continua	Digestión Seca Discontinua
1. Condiciones para el uso de la tecnología:	Humedad > 85% > 15,000 habitantes. (Ca. 3,000 t / a)	Humedad < 75% > 80,000 habitantes. (Ca. 15,000 t / a)	Humedad < 65% > 25,000 habitantes. (Ca. 5,000 t / a)
2. Sustratos:	Los restos de alimentos (restaurantes, mercados, ferias y carnicerías)	RSU en general y cualquier otro residuo orgánico.	
3. Sustancias no orgánicas:	No es aceptable	En parte aceptable	Aceptable
4. Pretratamiento:	Recolectar por separado, mezclar, moler y / o mezclar con efluente.	Selección en planta, trituración, banda transportadora para alimentar el reactor, mezclar con el efluente en el proceso.	Selección en planta, trituración, ingresa al cargador en seco, inocula con riego.
5. Co-sustratos:	Trampa de grasa	Efluentes líquidos y pastosos, especialmente para aumentar la humedad de los sustratos secos.	
6. Concentración de sólidos en reactor:	10 - 15%	25 - 30%	35 - 45%
7. Producción específica de CH ₄ :	50-350 Nm ³ CH ₄ / t 25-175 L CH ₄ /hab/d	50-250 Nm ³ CH ₄ / t 25-125 L CH ₄ /hab/d	35-90 Nm ³ CH ₄ / t 20 - 40 L CH ₄ /hab/d
8. Tamaño de la planta m ³ / h CH ₄ :	25-750 m ³ / h CH ₄	100-1,850 m ³ / h CH ₄	25 a 1,250 m ³ / h CH ₄
9. Inversión completa R \$ / CH m ³ CH ₄ : *	R \$ 12,000-35,000 / m ³ CH ₄	Desde R \$ 22,500 hasta 31,500 / m ³ CH ₄	R \$ 22,500 a 40,500 / m ³ CH ₄
10. Costos de O & M % inversión:	9% - 17% de la inversión	9% -12% de la inversión	12% - 14% de la inversión
11. Número de plantas (Global):	500-1,000 plantas	500-750 plantas	
12. Tiempo de construcción:	10-15 meses	12-18 meses	9-12 meses
13. Tiempo de puesta en marcha:	4 - 6 meses	3 - 6 Meses	1-3 meses
14. Vida útil de instalación civil:	15-20 años	20-25 años	s/d
15. Vida útil de equipamientos:	5 – 10 años	7 – 15 años	s/d
16. Vida útil media:	10 – 15 años	13 – 20 años	
17. Ventajas:	Uso energético de residuos húmedos y su limpieza; Reducción de	Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales con poco pretratamiento; reducción de	

Criterio	Digestión Húmeda	Digestión Seca Continua	Digestión Seca Discontinua
18. Desventajas:	emisiones e inconvenientes del vertedero La separación y clasificación de fracciones orgánicas es exigente; desafío de comercialización de fertilizantes	emisiones, reducción de vertederos; saneamiento de residuos. Inversión inicial para planta relativamente alta; municipios no tienen experiencia, estructuras para O&M.	

Fuente: Cabral, 2015; 80.

Como se aprecia en la tabla anterior, en 6 de los 18 criterios, la alternativa de digestión seca discontinua presenta las mejores condiciones, y por lo menos en 5 criterios más está en igualdad de circunstancias que la digestión seca continua.

6.3 Determinación de procesos y tecnologías elegibles del componente biológico.

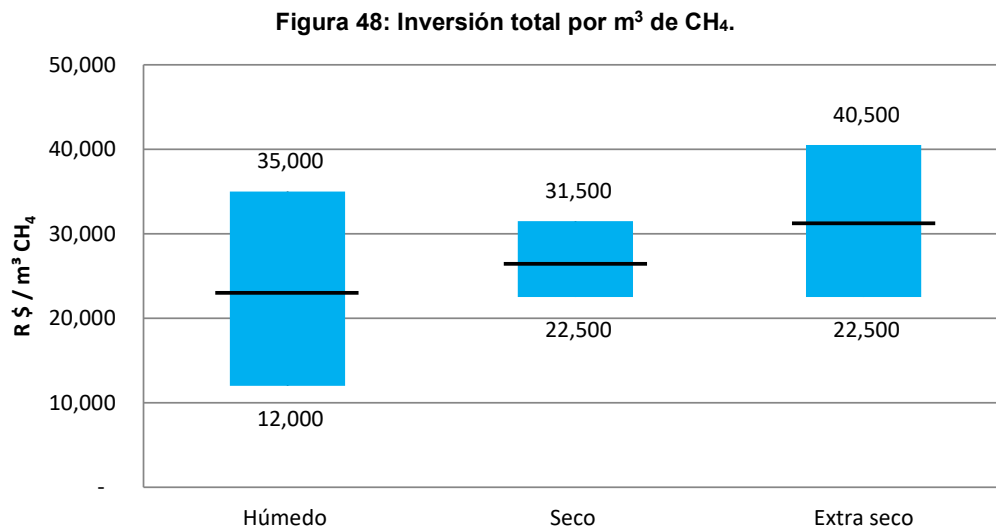
Etapa de Inversión:

Se refiere a la ejecución de los trabajos de obra civil e ingeniería de detalle y suministros para la construcción de los componentes del sistema para tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

- **Aspectos Financieros:**

- *Inversión total:*

La inversión total por metro cúbico de biogás generado, la alternativa de digestión extra seca requiere de una mayor inversión, seguida de la opción seca y húmeda, respectivamente; no obstante, la alternativa húmeda presenta un mayor rango de variación en el costo por tonelada de generación de metano comparado con las otras dos opciones.



Fuente: Elaboración propia con información de Cabral, 2015.

Si se busca la mayor generación de metano, la alternativa húmeda parecería la más conveniente al presentar el monto promedio más bajo de las tres alternativas, sin embargo, de acuerdo con el rango de los montos de inversión es posible que el monto total sea mayor al monto promedio de las tres alternativas.

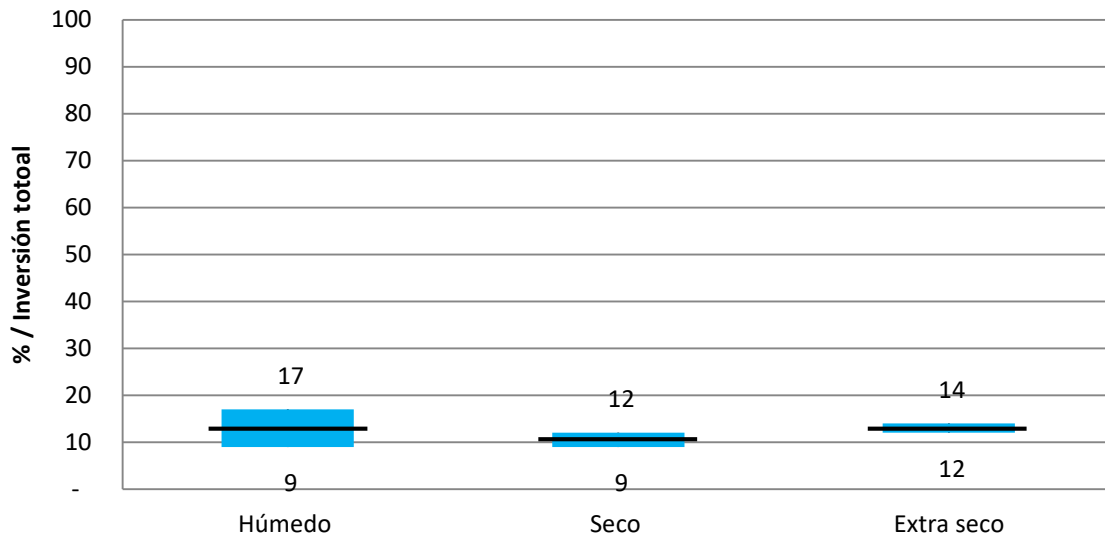
Un monto intermedio de inversión por metro cúbico producido se daría con la opción seca continua, que a pesar de tener un promedio de inversión por encima de la alternativa húmeda y por debajo del promedio de la alternativa extra seca, las posibles variaciones al alza se mantendrían por debajo del monto máximo de las otras dos alternativas.

○ *Costos de Operación y Mantenimiento, % sobre inversión total:*

La alternativa seca tiene el menor valor promedio del porcentaje de la inversión destinado a este rubro, en tanto que la alternativa húmeda y extra seca, mantienen un mismo valor promedio, y por encima de la alternativa seca.

La alternativa de digestión húmeda tiene un rango tan amplio en el porcentaje del monto de la inversión destinado a la operación y mantenimiento, que podría ser más costoso comparado con las otras dos alternativas.

Figura 49: Operación y mantenimiento - % / inversión total.



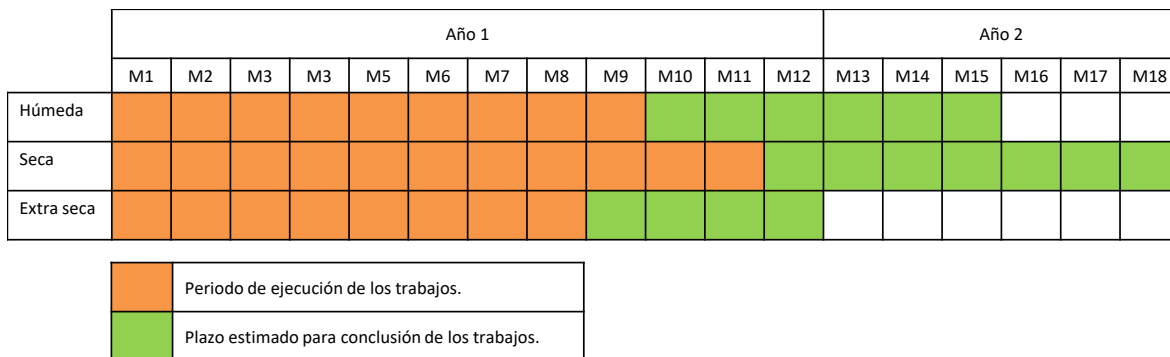
Fuente: Elaboración propia con información de Cabral, 2015.

● **Aspectos Técnicos:**

- *Plazo para Construcción de Infraestructura:*

En ningún caso se excede de 1.5 años para la ejecución de los trabajos; la construcción del sistema de digestión seca requiere el mayor plazo, y la alternativa húmeda se estima la conclusión de los trabajos en un plazo máximo de un año.

Figura 50: Plazo para construcción.



Fuente: Elaboración propia con información de Cabral, 2015.

Etapas de Operación:

Una vez ejecutados los trabajos de construcción, inicia la puesta en marcha y optimización de procesos para el tratamiento y estabilización de residuos.

Aspectos Financieros en el Pre-tratamiento:

- *Sustrato y Contenido de Impropios:*

Con la alternativa húmeda deberán preverse otras intervenciones en pretratamiento, lo que puede incidir en montos de inversión y operación.

Los requerimientos de pretratamiento con la alternativa seca son menores, al permitir la presencia parcial de impropios, óseas menos intervenciones para preparación del sustrato, comparada con la alternativa húmeda; además, tiene una vocación natural para tratamiento de residuos.

La alternativa seca tiene los menores requerimientos de pretratamiento del sustrato al permitir la presencia de impropios y ser una tecnología diseñada para el tratamiento de RSU.

- *Contenido de Humedad:*

La alternativa húmeda es necesario que el contenido de humedad sea mayor al 85%.

Para las otras dos alternativas el exceso de humedad es una condición indeseada y/o no necesaria.

La digestión húmeda genera un digestato en estado líquido, lo que va a requerir de intervenciones mayores para su deshidratación, lo que puede significar un incremento en montos los de inversión y operación.

Las alternativas secas generan un digestato con menor contenido de humedad, aunque también va a requerir de intervenciones menores para su estabilización.

El digestato generado con la alternativa seca se encuentra libre de humedad, siendo factible su postratamiento mediante procedimientos simples como el compostaje.

- *Pretratamiento y Concentración de Sólidos Totales en Reactor:*

La alternativa de digestión húmeda implicaría la realización de esfuerzos previos desde la etapa de recolección, lo que pondría el riesgo la funcionalidad del proyecto; además, funciona con la menor concentración de sólidos totales en el reactor, comparado con la opción seca y extra seca, siendo las más ineficiente.

La alternativa seca es compatible con un sistema para el tratamiento de residuos mediante una planta de MBT; adicionalmente, con el doble de concentración de sólidos totales en el reactor, logra un funcionamiento más eficiente que la alternativa húmeda.

La alterativa extra seca en condiciones similares a la opción húmeda respecto a su compatibilidad con una planta de MBT e incluso considerando un sistema de alimentación más simple, mediante el empleo de un cargador frontal; la concentración de sólidos totales en el reactor puede alcanzar casi el 50%, logrando el mejor posicionamiento en este rubro, comparado con el resto de las alternativas.

- *Capacidad de Procesamiento:*

Alternativa húmeda: se tendría una capacidad de procesamiento de 3,000 ton/año o su equivalente a un promedio de 8 ton/día.

Alternativa seca: se tendría mayor capacidad de tratamiento con un estimado de 15,000 ton/año o su equivalente a 41 ton/día.

Alternativa extra seca: la capacidad de tratamiento sería de 5,000 ton/año, con un promedio de 14 ton/día.

- **Aspectos Financieros en Tratamiento:**
 - *Costos de Operación y Mantenimiento:*

Alternativa húmeda: puede tener el mayor costo de operación y mantenimiento; además es necesario considerar los requerimientos de pretratamiento del sustrato.

Alternativa seca: presenta el menor costo de operación y mantenimiento de entre las tres alternativas y con un rango de variación menor que la opción húmeda.

Alternativa extra seca: tiene el segundo menor costo de operación y mantenimiento intermedio entre las tres alternativas y con la menor variación posible.

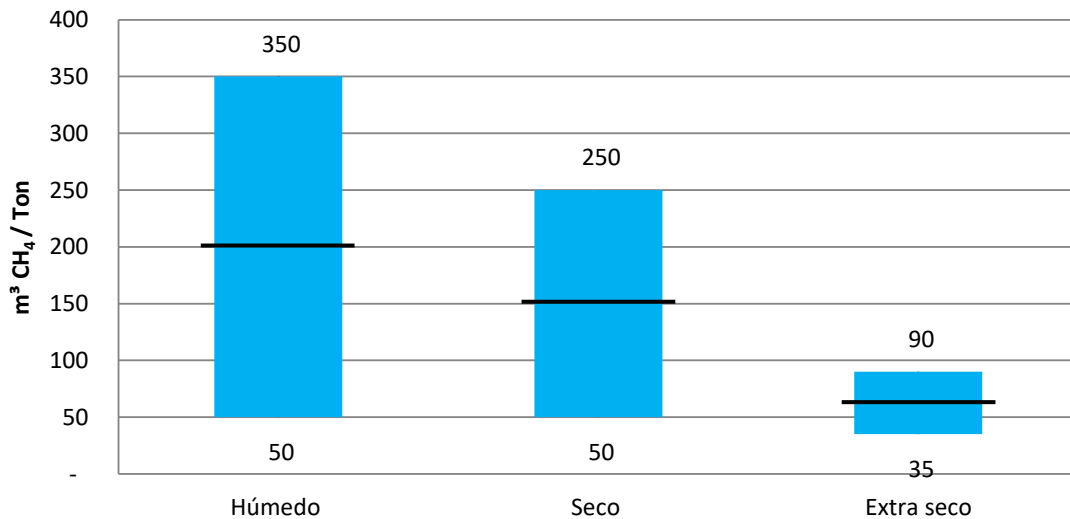
- **Aspectos Ambientales en Tratamiento:**
 - *Producción Específica de Metano:*

A pesar de su potencial para la generación de metano, la alternativa húmeda le caracterizan los altos costo de operación y requerimientos de pretratamiento para alcanzar los rangos más altos en este rubro.

La alternativa seca sería la mejor posicionada, sin embargo, determinar su elección depende de la imagen objetivo del sistema de tratamiento en su conjunto.

Es la alternativa menos conveniente por cuanto a generación de metano, pero con otras ventajas como los costos de operación, requerimientos de pretratamiento y altas eficiencias de proceso por cuanto a concentraciones de sólidos totales en el reactor durante el proceso de tratamiento.

Figura 51: Generación de metano por tonelada tratada por alternativa.



Fuente: Elaboración propia con información de Cabral, 2015.

- **Aspectos técnicos en el Postratamiento**

- *Generación de Biogás y Digestato:*

Alternativa húmeda: tiene mayor potencial en generación de biogás, sin embargo, requiere de corrientes específicas de residuos para su correcto funcionamiento; aunado a ello, el digestato generado presentaría altos contenidos de humedad lo que significaría un reto adicional a resolver para lograr estabilizar dicho material.

Alternativa seca: a pesar de ser una tecnología desarrollada para el tratamiento de residuos y una mayor generación de biogás, también genera digestato con altos contenido de humedad, aunque a diferencia de la alternativa anterior, con menores requerimientos para su deshidratación.

Alternativa extra seca: se caracteriza por una menor generación de biogás, muy por debajo de las otras dos opciones; no obstante, el digestato generado queda libre de humedad siendo prácticamente innecesario algún proceso de deshidratación.

6.4 Impactos sociales y ambientales por empleo de tecnología.

Con el objetivo de analizar los principales impactos sobre el medioambiente que serán ocasionados por el emplazamiento del proyecto, este apartado se enfoca en detectar las consecuencias ambientales y sociales potencialmente significativas, además de proponer soluciones para controlarlas y medidas para evitar, mitigar o compensar dichas consecuencias negativas importantes e intensificar aquellas que sean positivas, tomando como referencia los *Lineamientos de implementación de la Política de medio ambiente y cumplimiento de salvaguardias* del BID (Quiroga, R. et al 2007).

6.4.1 Identificación de impactos ambientales.

El desarrollo del proyecto supone la generación de consecuencias ambientales, mismas que se han diferenciado entre aquellos que afectarán de manera positiva y negativa en las etapas del proyecto.

Para ello, se toman como referencia documentos técnicos y guías nacionales como internacionales para la caracterización y desarrollo de proyectos asociados al tratamiento integral de residuos e identificación de sus impactos ambientales.

6.4.1.1 Impactos ambientales negativos.

En este apartado se incluyen aquellas afectaciones adversas que podrían generarse derivado de la ejecución de los trabajos asociados a la ejecución del proyecto.

- **Etapas de Construcción:**

Una vez realizados los estudios previos y obtenidas las autorizaciones correspondientes, inicia la ejecución de los trabajos de ingeniería y obra civil para la construcción del sistema de tratamiento de residuos; en esta etapa del proyecto se presentan las grandes intervenciones para habilitación del sitio y equipamiento.

Figura 52: Tipo de actividades en etapa de construcción.



Fuente: información disponible en la web solo con fines ilustrativos.

- **Directos:**

Con la ejecución de los trabajos para la construcción del sistema de tratamiento, serán generados una serie de impactos ambientales directos sobre el sitio, como pueden ser:

Tabla 6: Posibles impactos directos negativos en la etapa de construcción del proyecto.

Acciones o actividades:	Potenciales impactos ambientales.
1. Traslado de personal, otros insumos, maquinaria y equipamiento; demoliciones masivas y puntuales; excavaciones y movimientos de tierras; transporte de residuos y/o materiales; carga y descarga de material de residuos y/o materiales; aseo interno y externo de la obra, y uso de maquinarias y equipos a	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de emisiones y concentración ambiental de MP y gases. • Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto. • Modificación a estructura del suelo por tránsito de vehículos.

Acciones o actividades:	Potenciales impactos ambientales.
combustión, lo que implica la generación de emisiones de material particulado ¹⁵ (MP) y gases, así como de ruido.	
2. Construcción de caminos interiores y de acceso, cruce de causes, y quebradas.	<ul style="list-style-type: none"> ● Modificación de la cubierta vegetal. ● Modificación de las condiciones de escorrentía superficial. ● Impactos en la biota asociada al ecosistema hídrico. ● Desplazamiento del hábitat de ciertas especies.
3. Operación de la instalación para la producción de hormigón (concreto) con emisiones líquidas y generación de ruido.	<ul style="list-style-type: none"> ● Emisiones líquidas (depende de su manejo) con potencial impacto in situ. ● Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto.
<p>4. Acondicionamientos del terreno para construir o habilitar todas las partes y obras del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Escarpe, corta de vegetación. <p>● Movimiento de tierra: emisiones de MP.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Activación de procesos erosivos, pérdida de fertilidad natural y funciones hídricas (como capacidad de retención y filtración de agua). ● Aumento de los niveles de ruido o vibraciones en el entorno del proyecto. ● Aumento de la concentración ambiental de MP. ● Perturbación de la fauna silvestre. ● Pérdida o destrucción de suelos. ● Pérdida de calidad del suelo por modificación de su capacidad de aireación y funciones hídricas. ● Pérdida o fragmentación de la vegetación ● Pérdida de especies de flora en estado de conservación – revisar la NOM-059-SEMARNAT-2001 y formular un plan de rescate de la flora. ● Pérdida/ modificación de ambientes para la fauna.

¹⁵ Es aquel material sólido o líquido finamente dividido, cuyo diámetro aerodinámico es inferior a cien micrómetros. Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales. Consultado el 14 de enero de 2019, disponible en: juridico1.minsal.cl/4_DE_1992.doc

Acciones o actividades:	Potenciales impactos ambientales.
<ul style="list-style-type: none"> ● Tronaduras: emisiones de ruido y vibraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Perturbación y pérdida de la fauna terrestre – revisar la NOM-059-SEMARNAT- 2001 y formular un plan de rescate de la fauna. ● Afectación del valor paisajístico.
5. Construcción y ensamble del sistema de tratamiento de residuos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Interrupción del paisaje. ● Aumento de los niveles de ruido o vibraciones en el entorno del proyecto. ● Generación de residuos de la construcción. ● Construcción de las líneas o tendidos eléctricos.
6. Generación de residuos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Requerimientos de espacio para un almacenamiento temporal y posterior tratamiento y/o disposición final de residuos sólidos con características de domiciliarios, de la construcción, de manejo especial y peligrosos. LGPGIR y NOM-052-SEMARNAT-1993; NOM-161-SEMARNAT-2011
7. Funcionamiento de campamentos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Generación de aguas servidas y generación de residuos con características de domiciliarios.

Fuente: propia a partir de las Guías del Ministerio de Energía y el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile, 2012; Cámara Chilena de la Construcción, 2014 y Manual de Evaluación y Control Ambiental, 2009.

○ *Indirectos:*

Los impactos a terceros podrán incluir afectaciones como las que se muestran a continuación:

Tabla 7: Posibles impactos directos negativos en la etapa de construcción del proyecto.

Acciones o actividades:	Potenciales Impactos Ambientales:
Ingresos del personal, equipo de trabajo y suministros en etapa de construcción:	<ul style="list-style-type: none"> ● Afectación a usuarios de camino de acceso a viviendas ubicadas en las localidades cercanas por interrupción u obstrucción momentánea para el ingreso y salida de vehículos con personal y equipo de trabajo. ● Afectación a usuarios de vialidades por ingreso y salida de vehículos con personal y equipo de trabajo.
Construcción de infraestructura y	<ul style="list-style-type: none"> ● Alteración del paisaje para los predios en torno al sitio propuesto.

equipamiento para el tratamiento de residuos:	
---	--

Fuente: propia a partir de las Guías del Ministerio de Energía y el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile, 2012; Cámara Chilena de la Construcción, 2014 y Manual de Evaluación y Control Ambiental, 2009.

● **Etapa de Operación**

Al concluir la construcción del sistema de tratamiento de los residuos, iniciará la puesta en marcha y posterior operación de todo el sistema en su conjunto. Los procesos y actividades que en esta etapa se implementarán también van a generar un impacto ambiental.

Figura 53: Actividades en sistema de tratamiento.



Fuente: información disponible en la web solo con fines ilustrativos.

○ *Directos:*

En la recepción diaria de residuos y los procesos del sistema de tratamiento, van a ocasionar afectaciones al entorno durante toda su vida útil, como pueden ser los que a continuación se presentan:

Tabla 8: Posibles impactos directos negativos en la etapa de operación del proyecto.

Acciones o actividades que pueden causar impactos	Potenciales impactos ambientales.
8. Transporte de residuos:	<ul style="list-style-type: none"> ● Aumento de emisiones y concentración ambiental de MP y gases por el ingreso y salida de camiones de recolección con residuos y /o subproductos. ● Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto por el tránsito de camiones de recolección.
9. Manejo de residuos:	<ul style="list-style-type: none"> ● Emisiones de olores y aumento de la concentración ambiental de gases odoríficos en la zona de proyecto. ● Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto por el funcionamiento de mecanismo de separación. ● Generación de efluentes de proceso tales como los lixiviados. ● Producción de rechazos e impropios derivados de proceso. ● Atracción y proliferación de fauna nociva.
10. Construcción del Proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> ● Afectación del valor paisajístico de la zona. ● Generación de lixiviados en foso de recepción. ● Emisión de olores posterior al tratamiento de la fracción de orgánicos.
11. Operación de tendidos eléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Perturbación y/o pérdida de fauna por colisión de aves con tendido eléctrico. ● Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto por el funcionamiento del generador de corriente.

Acciones o actividades que pueden causar impactos	Potenciales impactos ambientales.
12. Vertido de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> ● Producción de purgas y drenajes en equipos (trituradoras y prensas) y zonas contaminadas. ● Generación de aguas residuales. (aguas grises). ● Aguas pluviales y de escorrentía contaminadas.
13. Almacenamiento de subproductos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Emisión de olores por almacenamiento temporal de subproductos y/o materiales de rechazo. ● Atracción y proliferación de fauna nociva. ● Afectación visual por acumulación de subproductos y/o materiales de rechazo.

Fuente: propia a partir de las Guías del Ministerio de Energía y el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile, 2012; la Agencia de Residuos de Cataluña, 2006 y RESA, 2009.

○ *Indirectos:*

Las afectaciones hacia terceros en la etapa de operación del proyecto se caracterizarán por la continuidad de los impactos a lo largo de la vida útil del proyecto, como los que se indican a continuación:

Tabla 9: Posibles impactos indirectos negativos en la etapa de operación del proyecto.

Acciones o actividades:	Potenciales Impactos Ambientales:
14. Ingresos del personal, suministros para la operación, camiones de recolección con residuos y otros proveedores de servicios.	<ul style="list-style-type: none"> ● Afectación a usuarios de camino de acceso por interrupción u obstrucción momentánea para el ingreso y salida de vehículos con personal y equipo de trabajo.

Fuente: propia.

6.4.1.2 Impactos ambientales positivos.

Con la construcción del proyecto también se van a generar consecuencias ambientales que tendrán un efecto positivo. Este apartado incluye de manera enunciativa aquellos impactos ambientales positivos que se lograrán con la ejecución del proyecto:

● **Etapa de Construcción:**

Los costos de inversión de la infraestructura necesaria para el tratamiento de los residuos también generan los siguientes impactos positivos en esta etapa del proyecto.

○ *Directos.*

De manera enunciativa, la generación de impactos positivos incluirá los siguientes:

Tabla 10: Posibles impactos directos positivos en la etapa de construcción del proyecto.

Acciones o actividades:	Potenciales Impactos:
Desarrollo y emplazamiento del proyecto en beneficio de Benito Juárez e Isla Mujeres.	<ul style="list-style-type: none"> ● Concentración de afectaciones al entorno en un sitio en específico de Benito Juárez e Isla Mujeres por el emplazamiento del proyecto.
Generación de empleos temporales.	<ul style="list-style-type: none"> ● Con el emplazamiento del proyecto serán generados empleos temporales para la etapa de construcción, lo que demandará mano de obra tanto calificada como no calificada además de la consecuente derrama económica en la zona del proyecto.

Fuente: propia.

● **Etapa de Operación:**

Con la ejecución del proyecto, en la etapa de operación también se generarán impactos positivos:

○ *Directos.*

Tabla 11: Posibles impactos directos positivos en la etapa de operación del proyecto.

Acciones o actividades:	Potenciales Impactos:
Tratamiento de la fracción orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> ● Reducción de emisiones de GEI a partir del aprovechamiento energético de un subproducto (biogás) derivado del tratamiento de residuos.
Generación de sustrato.	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso de sustrato como mejorador de suelo para espacios públicos. ● Potencial colocación de mejorador de suelo en sector agrícola. ● Estabilización del 54% de los residuos, aproximadamente.
Generación de empleos permanentes.	<ul style="list-style-type: none"> ● Demanda de mano de obra local calificada y no calificada por el emplazamiento del proyecto.

Fuente: propia.

○ *Indirectos:*

Tabla 12: Posibles impactos indirectos positivos en la etapa de operación del proyecto.

Acciones o actividades:	Potenciales Impactos:
Separación de residuos orgánicos del resto de los residuos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Generación de material estabilizado con potencial para generar combustible derivado de residuos y ser empleado en otros procesos de producción. ● Contribución a reducción de emisiones de GEI por sustitución-complemento de combustibles alternos.

Fuente: propia.

6.4.1.3 Medidas de mitigación y compensación de los impactos negativos.

Se trata de aquellas acciones que permitan evitar, eliminar, compensar o reducir los impactos ambientales potenciales adversos, derivados de la ejecución de los trabajos asociados al proyecto hasta llevarlos a un nivel aceptable.

- **Etapa de Construcción:**

Tabla 13: Medidas de mitigación para impactos en etapa de construcción.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
Actividad 1: Traslado de personal, otros insumos, maquinaria y equipamiento; demoliciones masivas y puntuales; excavaciones y movimientos de tierras; transporte de residuos y/o materiales; carga y descarga de material de residuos y/o materiales; aseo interno y externo de la obra, y uso de maquinarias y equipos a combustión, lo que implica la generación de emisiones de material particulado (MP) y gases, así como de ruido.	
Aumento de emisiones y concentración ambiental de MP y gases.	<ul style="list-style-type: none"> - Humectar las zonas de trabajo, principalmente durante las estas de despalme, excavación y aplanado del terreno - Usar mallas protectoras en perímetro. - Cubrir con lonas los acopios de material granular. - Reducir el tiempo de permanencia de acopios en obra. - Cubrir la tolva de camiones con lonas - Cargar el material o residuo hasta 10 cm bajo línea de superficie de la tolva. - Restringir velocidad de circulación en la obra. - Minimizar la altura de descarga del material. - Desarrollar e implementar un protocolo de aseo interno de la obra y de áreas públicas. - Lavado de neumáticos de equipos y camiones. - Estabilizar vías interiores de la obra. - Humectar residuos evacuados desde altura. - Pavimentar accesos a la obra. - Humectar caminos.
Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de equipos en buen estado. - Prefabricado se debe realizar fuera del área de obra. - Uso de guillotinas o tijeras, para sustituir el corte de metales con disco. - Apantallamiento del área. - Realizar faena en sector cerrado con buena ventilación. - Planificar horario de la faena. - Ubicación estratégica de equipos en la obra. - Uso de montacargas o grúa torre para transporte y descarga. - Uso de moldes de buena calidad y en buen estado.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de vibradores con cabeza recubierta con goma. El Reglamento de construcción del Ayuntamiento de Benito Juárez no lo prohíbe de forma explícita. - Evitar contacto de sonda del vibrador con amarrados. - Privilegiar uso de motor eléctrico. - Instalación de barrera acústica. - Insonorización y/o aislación del equipo.
Modificación a estructura del suelo por tránsito de vehículos.	<ul style="list-style-type: none"> - Definición, en la medida de lo posible, la menor cantidad de caminos de acceso al sitio y en su interior. - Planificar caminos de acceso de forma tal que representen la mínima afectación posible al ambiente. - Aprovechar senderos y brechas preexistentes. - Almacenamiento o reúso del material removido, evitando su abandono a los lados del camino para reducir daños, erosión y deslizamientos.
Actividad 2: Construcción de caminos de acceso, cruce de causes, y quebradas.	
Modificación de la cubierta vegetal.	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar e implementar un Plan de Reforestación y Compensación de flora nativa. - En el supuesto de algún corte de vegetación, deberá preverse su mayor desintegración posible a fin de facilitar su proceso de reintegración al entorno. - Definir, en la medida de lo posible, la menor cantidad de caminos de acceso al sitio y en su interior. - Planificar caminos de acceso de forma tal que representen la mínima afectación posible al ambiente. - Aprovechar senderos y brechas preexistentes. - Las áreas dentro del sitio que no tengan afectaciones, se deben mantener en las condiciones originales.
Modificación de las condiciones de escorrentía.	<ul style="list-style-type: none"> - Respetar una distancia mínima conforme a la legislación vigente (área de protección) entre las obras y las zonas de escorrentía. - Revisar y respetar las zonas con cavernas y cenotes, conforme a la legislación vigente y a estándares de seguridad de construcción. - En ningún caso se hará disposición de escombros, residuos y materiales sobrantes en las cavernas o cenotes.
Impactos en la biota asociada al ecosistema hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> - Reducir al mínimo los movimientos de tierra o material productos de excavación y de maquinaria. - Permitir y facilitar el escape y libre tránsito de la fauna silvestre que pueda encontrarse. - Están prohibidas la caza, extracción y cualquier otra forma de modificación de la biota asociada al ecosistema terrestre e hídrico.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
Desplazamiento del hábitat de especies de fauna	<ul style="list-style-type: none"> - Limitar el despalme a las áreas estrictamente necesarias y se avance desde las áreas perturbadas hacia las conservadas, a fin de permitir la emigración de la fauna existente. - Permitir y facilitar el escape y libre tránsito de la fauna silvestre que pueda encontrarse. - Están prohibidas la cacería, la extracción o cualquier tipo de juego o abuso de la fauna silvestre.
Actividad 3: Operación de la instalación para la producción de hormigón (concreto) con emisiones líquidas y generación de ruido.	
Emisiones líquidas (depende de su manejo) con potencial impacto in situ.	<ul style="list-style-type: none"> - Optimizar el uso de agua. - Controlar el flujo de emisiones líquidas, evitando su escurrimiento fuera del predio o escurrimiento que pueda contaminar los acuíferos.
Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de equipos en buen estado. - Apantallamiento del área. - Planificar horario de la faena. - Ubicación estratégica de equipos en la obra. - Instalación de barrera acústica. - Insonorización y/o aislación del equipo.
Actividad 4: Acondicionamientos del terreno para construir o habilitar todas las partes y obras del proyecto.	
Escarpe, corta de vegetación.	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar el despalme fuera de lo requerido para la construcción de la infraestructura básica, así como movimientos con el equipo fuera de los límites del predio. - Realizar únicamente el despalme de las áreas que así lo requieran. - Las áreas dentro del sitio que no tengan afectaciones, se deben mantener en las condiciones originales. - Desarrollar e implementar un Plan de Reubicación, Reforestación y Conservación de la flora. - Limitar el despalme a las áreas estrictamente necesarias y se avance desde las áreas perturbadas hacia las conservadas, a fin de permitir la migración de la fauna existente. - Reducir al mínimo los movimientos de tierra o material productos de excavación y de maquinaria. - Permitir y facilitar el escape y libre tránsito de la fauna silvestre que pueda encontrarse.
Movimiento de tierra: emisiones de MP.	<ul style="list-style-type: none"> - Regar caminos y áreas de trabajo. - Usar mallas protectoras en perímetro. - Cargar el material o residuo hasta 10 cm bajo línea de superficie de la tolva. - Restringir velocidad de circulación en la obra y en caminos de acceso a la obra.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilizar vías interiores de la obra.
Tronaduras: emisiones de ruido y vibraciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Usar equipos en buen estado. - Planificar horarios de trabajo. - Instalar barrera acústica. - Preparado de amarrados fuera de obra. - Prefabricado fuera de obra. - Uso de guillotinas o tijeras. - Apantallamiento del área. - Realizar faena en sector cerrado con buena ventilación. - Ubicación estratégica de equipos en la obra. - Uso de moldes de buena calidad y en buen estado. - Uso de vibradores con cabeza recubierta con goma. - Evitar contacto de sonda del vibrador con amarrados. - Privilegiar uso de motor eléctrico. - Evitar camiones estacionados fuera de la obra. Los vehículos relacionados a la obra no pueden estar afuera, ni en caminos, ni en carreteras, mucho menos en zonas de selva.
Actividad 5: Construcción y ensamble del sistema de tratamiento de residuos.	
Interrupción del paisaje.	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir elementos en el proyecto para aprovechar al máximo la presencia de barreras visuales, sean estas vegetales o rocosas. - Incorporar elementos naturales que ayuden a armonizar la integración al entorno de los elementos construidos.
Aumento de los niveles de ruido o vibraciones en el entorno del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Usar equipos en buen estado. - Planificar horarios de trabajo. - Instalar barrera acústica. - Preparado de amarrados fuera de obra. - Prefabricado fuera de obra. - Uso de guillotinas o tijeras. - Apantallamiento del área. - Realizar faena en sector cerrado con buena ventilación. - Ubicación estratégica de equipos en la obra. - Uso de montacargas o grúa torre para transporte y descarga. - Uso de moldes de buena calidad y en buen estado. - Uso de vibradores con cabeza recubierta con goma. - Evitar contacto de sonda del vibrador con amarrados. - Privilegiar uso de motor eléctrico

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar camiones estacionados fuera de la obra. Los vehículos relacionados a la obra no pueden estar afuera, ni en caminos, ni en carreteras, mucho menos en zonas de selva.
<p>Generación de residuos de la construcción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cubrir tolva de camiones. - Restringir velocidad de circulación en la obra. - Estabilizar caminos de acceso y vías interiores. - Dotar de equipo de protección de seguridad al personal encargado de la manipulación de residuos peligrosos: guantes, cubre boca, goggles y overol. - Evitar el almacenamiento prolongado de residuos orgánicos y/o que contengan restos de alimentos. - Gestionar los RSU, los residuos peligrosos y de manejo especial de acuerdo a la LGPGIR su reglamento y normas oficiales. - Almacenar únicamente, y en el menor plazo posible, residuos inertes. - Contar con un sistema que permita la captación, contención y almacenamiento adecuado de residuos, previo a su recolección para tratamiento y/o disposición final.
<p>Construcción de las líneas o tendidos eléctricos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Remoción y excavación de zonas estrictamente necesarias. - Reducir al mínimo los movimientos de tierra o material productos de excavación y de maquinaria. - Realizar únicamente el despalme de las áreas que así lo requieran. - Desarrollar e implementar un Plan de Reubicación, Reforestación y Conservación de la flora. - Limitar el despalme a las áreas estrictamente necesarias y se avance desde las áreas perturbadas hacia las conservadas, a fin de permitir la emigración de la fauna existente. - Permitir y facilitar el escape y libre tránsito de la fauna silvestre que pueda encontrarse.
Actividad 6: Generación de residuos.	
<p>Requerimientos de espacio para almacenamiento temporal y posterior tratamiento y/o disposición final de residuos domiciliarios, de la construcción, especiales y peligrosos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar el suministro de envases y embalajes mediante la compra de insumos y materiales a granel, en la medida de lo posible. - Evitar la combinación de los distintos tipos de residuos, a fin de aprovechar al máximo las fracciones de reutilizables y/o reciclables. - Gestionar los RSU, los residuos peligrosos y de manejo especial de acuerdo a la LGPGIR su reglamento y normas oficiales, así como la Ley para la prevención, gestión integral y economía circular de los residuos del Estado de Quintana Roo y demás disposiciones jurídicas aplicables en la entidad.
Actividad 7: Funcionamiento de campamentos.	
<p>Generación de aguas servidas y generación de residuos con características de domiciliarios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Delimitar claramente los espacios destinados para el establecimiento de campamentos.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
	<ul style="list-style-type: none"> - Dotar del equipamiento necesario para evitar las descargas de aguas grises y/o residuales sobre el terreno natural - Dotar del equipamiento necesario para el almacenamiento temporal de residuos. - Gestionar los RSU, los residuos peligrosos y de manejo especial de acuerdo con la LGPGIR su Reglamento y Normas Oficiales, así como la Ley para la prevención, gestión integral y economía circular de los residuos del Estado de Quintana Roo y demás disposiciones jurídicas aplicables en la entidad.

Fuente: propia.

● **Etapa de Operación:**

La operación y funcionamiento del sistema de tratamiento también ocasionará una serie de afectaciones hacia el entorno; es por ello por lo que resulta conveniente la formulación de medidas que permitan su mitigación. La siguiente tabla muestra el tipo de medidas que se podrán implementar:

Tabla 14: Medidas de mitigación para impactos en etapa de construcción.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
Actividad 8: Transporte de residuos	
Aumento de emisiones y concentración ambiental de MP y gases por el ingreso y salida de camiones de recolección con residuos y /o subproductos.	<ul style="list-style-type: none"> - Humectar las zonas de trabajo. - Usar mallas protectoras en perímetro. - Cubrir los acopios de material granular. - Minimizar permanencia de acopios en obra. - Cubrir la tolva de camiones. - Cargar el material o residuo hasta 10 cm bajo línea de superficie de la tolva. - Restringir velocidad de circulación en la obra y en los caminos de acceso - Minimizar la altura de descarga del material. - Protocolo de aseo interno de la obra y de áreas públicas. - Lavado de ruedas de equipos y camiones. - Estabilizar vías interiores de la obra. - Humectar residuos evacuados desde altura. - Pavimentar accesos a la obra. - Humectar caminos
Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto por el tránsito de camiones de recolección.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de equipos en buen estado. - Preparado de amarrados fuera de obra. - Prefabricado fuera de obra. - Uso de guillotinas o tijeras.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
	<ul style="list-style-type: none"> - Apantallamiento del área. - Realizar faena en sector cerrado con buena ventilación. - Planificar horario de la faena. - Ubicación estratégica de equipos en la obra. - Uso de montacargas o grúa torre para transporte y descarga. - Uso de moldes de buena calidad y en buen estado. - Uso de vibradores con cabeza recubierta con goma. - Evitar contacto de sonda del vibrador con amarrados. - Privilegiar uso de motor eléctrico. - Instalación de barrera acústica. - Evitar camiones estacionados fuera de la obra, ni en caminos, ni en carreteras. - Insonorización y/o aislación del equipo.
Actividad 9: Manejo de residuos	
Emisiones de olores y aumento de la concentración ambiental de gases odoríficos en la zona de proyecto.	El proveer a trabajadores de infraestructura sanitaria, evita que las personas, animales y vectores, estén en contacto con los residuos domésticos y desechos humanos y evita que éstos contaminen el ambiente y los acuíferos evitando también la dispersión de enfermedades.
Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto por el funcionamiento de mecanismo de separación.	- Instalar barrera acústica.
Generación de efluentes de proceso tales como los lixiviados.	<ul style="list-style-type: none"> - Aprovechar la generación de afluentes en procesos de digestión anaerobia al interior de la celda¹⁶ de disposición final de residuos, en la medida de lo posible. - Disponer de mecanismos para su control y manejo en el caso de generación de excedentes o producción de extraordinarios tales como tanques de almacenamiento y tratamiento.
Producción de rechazos e impropios derivados de proceso.	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitar al personal de operación. - Implementar acciones para una reingeniería y mejora continua de procesos.

¹⁶ Se refiere al envío de afluentes de procesos de digestión anaerobia, que pueden ser generados de manera extraordinaria, para su inserción en el sistema de control de lixiviados de las celdas de disposición final de residuos sólidos, previsto por la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
Atracción y proliferación de fauna nociva.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema preventivo para eliminación y control de plagas en todo el proceso de tratamiento de los residuos, que no dañe la fauna local de insectos, reptiles y roedores. - Mantener proceso de manera eficiente para reducir al máximo la presencia de residuos sin tratamiento dentro de la planta.
Actividad 10: Construcción del Proyecto	
Afectación del valor paisajístico de la zona.	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir elementos en el proyecto para aprovechar al máximo la presencia de barreras visuales, sean estas vegetales o rocosas. - Incorporar elementos naturales que ayuden a armonizar la integración al entorno de los elementos construidos, como el empleo de cercos vivos a partir de reforestación con especies locales en el perímetro del sitio de proyecto. - Desarrollar e implementar un Plan de Reubicación, Reforestación y Conservación de la flora. Desarrollar e implementar un Plan y programas continuos de capacitación y educación para todos los trabajadores y contratistas de la obra en materia ambiental, manejo de residuos y conservación de la naturaleza y de los recursos hídricos.
Generación de lixiviados en foso de recepción.	<ul style="list-style-type: none"> - Disponer de un sistema para su captación, conducción y tratamiento. - Aprovechar la generación de afluentes en procesos de tratamiento al interior de la planta, en la medida de lo posible. - Disponer de mecanismos para su control y manejo en el caso de generación de excedentes o generación de extraordinarios.
Actividad 13: Operación de tendidos eléctricos.	
Perturbación y/o pérdida de fauna por colisión de aves con tendido eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar señalizadores visuales para prevenir colisiones de aves. - Instrumentar medidas de prevención contra electrocución de aves mediante la colocación de elementos para disuadir que las aves se posen sobre los postes o líneas conductoras.
Aumento de los niveles de ruido en el entorno del proyecto por el funcionamiento del generador de corriente.	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar barrera acústica.
Actividad 12: Vertido de aguas residuales.	
Producción de purgas y drenajes en equipos (trituradoras y prensas) y zonas contaminadas.	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar sistemas de captación y conducción de purgas y drenajes para su colecta y manejo adecuado.
Generación de aguas residuales. (aguas grises).	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar sistemas de captación y conducción de aguas residuales para su colecta y posterior tratamiento.¹⁷

¹⁷ Para las obras complementarias al Proyecto como oficinas administrativas u otras donde se generen aguas residuales.

Potenciales Impactos:	Medidas de Mitigación:
Aguas pluviales y de escorrentía contaminadas.	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir en el diseño del proyecto un sistema de captación y conducción de aguas pluviales para su libre descarga sobre causes o el suelo, sin que tenga contacto con los elementos de los distintos procesos en la planta. - Instalar sistemas de captación y conducción de aguas pluviales de escorrentía contaminadas, para su posterior tratamiento.
Actividad 13: Almacenamiento de subproductos.	
Emisión de olores por almacenamiento temporal de subproductos y/o materiales de rechazo.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener proceso de manera eficiente para reducir al máximo a presencia de subproductos al interior de la planta. - Implementar sistemas simples para la mitigación de olores como el empleo de barreras vivas.
Atracción y proliferación de fauna nociva.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema preventivo para eliminación y control de plagas en todo el proceso de tratamiento de los residuos. - Mantener proceso de manera eficiente para reducir al máximo la presencia de residuos sin tratamiento dentro de la planta.
Afectación visual por acumulación de subproductos y/o materiales de rechazo.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener proceso de manera eficiente para reducir al máximo la presencia de residuos sin tratamiento dentro de la planta. - Incluir en el proyecto el desarrollo de espacios para el almacenamiento temporal que impida la exposición de los distintos materiales recuperados.
Actividad 14: Ingresos del personal, suministros para la operación, camiones de recolección con residuos y otros proveedores de servicios.	
Afectación a usuarios de camino de acceso a viviendas ubicadas en las localidades cercanas por interrupción u obstrucción momentánea para el ingreso y salida de vehículos con personal y equipo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer horarios específicos para el ingreso y salida de vehículos con personas y equipos de trabajo. - Definir protocolo de ingreso y salida de vehículos al sitio de proyecto. - Delimitar y señalizar zonas de acceso al sitio de proyecto. - Implementar un plan de comunicación y sistema de manejo de quejas/ reclamaciones y/o alegaciones para tener comunicación directa con la población más cercana.
Afectación a usuarios de un tramo del camino de acceso por reducción momentánea del flujo vehicular debido al ingreso y salida de vehículos con personal y equipo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer horarios específicos para el ingreso y salida de vehículos con personas y equipos de trabajo. - Definir protocolo de ingreso y salida de vehículos al sitio de proyecto. - Delimitar y señalizar zonas de acceso al sitio de proyecto. - Implementar un plan de comunicación y sistema de manejo de quejas/ reclamaciones y/o alegaciones para tener comunicación directa con la población más cercana.

Fuente: elaboración propia a partir de información de la Cámara Chilena de la Construcción, 2014; 2010; CCAD-UICN, 2006; Manifestación de Impacto Ambiental para Ampliación del Relleno Sanitario, Silao, México, 2018.

La generación de impactos en esta etapa del proyecto, podrán ocurrir en función de la eficiencia de los distintos procesos del sistema de tratamiento, lo cual es completamente controlable, no obstante, es necesario la inclusión de otras medidas de mitigación en la etapa de pre-inversión para llevar los distintos impactos ambientales a niveles aceptables.

6.4.2 Identificación de impactos sociales.

Con el objetivo de identificar a los actores clave que serán impactados directa e indirectamente por el proyecto, este apartado integra las principales características en torno a los aspectos sociales y los efectos que conlleva el tratamiento de residuos orgánicos en los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres, Puerto Morelos y Cozumel, Quintana Roo.

Para ello, se han tomado como referencia los lineamientos propuestos por la Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos (AIAI por sus siglas en inglés) para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos.

La evaluación de impacto social actualmente se concibe como el proceso de identificación y gestión de los temas sociales de los proyectos de desarrollo, incluyendo el involucramiento de las comunidades afectadas a través de procesos participativos de identificación, evaluación y gestión de los impactos sociales (Vanclay, 2015).

6.4.2.1 Análisis y evaluación de probables impactos.

Con el objetivo de identificar aquellas afectaciones que puedan ocurrir sobre los distintos actores clave, este apartado se centra en el análisis y evaluación de probables impactos directos e indirectos derivado del proyecto en cualquiera de sus etapas: pre-inversión, construcción y puesta en marcha.

- **Impactos directos:**

En la evaluación de impacto social se refiere a los cambios e impactos sociales directamente causados por el proyecto en sí, como las molestias que ocasiona a las personas el ruido de maquinaria del proyecto, como lo propone Vanclay (2015). Se trata de aquellas afectaciones que por sí solo el proyecto puede ocasionar sobre los distintos actores claves, diferenciándolos entre positivos y negativos:

- *Positivos*

Intervenciones que derivado del proyecto tienen como consecuencia una mejora de las condiciones actuales en torno a la gestión de los residuos y se señalan para cada actor o grupo de actores clave identificado (s) según la etapa en la que dichos cambios pueden ocurrir.

Población:

Etapa de operación:

- Asegura el manejo integral de residuos mediante un tratamiento que permite recuperar la mayor cantidad de orgánicos y reducir su envío a disposición final.
- Fomenta la comercialización del mejorador de suelo.
- Reduce la demanda de volúmenes en relleno sanitario, lo que a su vez contribuye a la extensión de su vida útil.
- Contribuye a la disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Autoridades locales:

Etapa de Estudios y Autorizaciones:

- Contribuye a la toma de decisiones consensada y bajo un soporte técnico.
- Permite el desarrollo y fortalecimiento de capacidades institucionales.
- Ofrece mayor certidumbre sobre la gestión de los residuos.

Etapa de Construcción:

- Permite el desarrollo y fortalecimiento de capacidades institucionales.
- Facilita el acceso a las fuentes de financiamiento.

Etapa de Operación:

- Brinda un mayor poder de negociación con terceros.
- Fortalece el desempeño de las autoridades sobre la gestión de los residuos.
- Concibe viable la recuperación y aprovechamiento de la fracción orgánica contenida en los residuos, la cual mediante su tratamiento a través de procesos de digestión permitirá la generación de subproductos como sustratos, mismos que pueden ser utilizados o comercializados, según sea el caso.
- Permite el desarrollo de capacidades locales para una gestión integral de residuos.
- Hace viable que la mayor cantidad de residuos que son recuperados, sean tratados y redireccionados a distintos procesos de tratamiento, permitiendo reducir la cantidad enviada a disposición final.

Sector privado:

Etapa de Construcción:

- El proyecto supone la demanda de materiales e insumos, mismo que podría suministrarse de forma local.

Etapa de Operación:

- Generadores de corrientes específicas de residuos orgánicos podrá enviar sus residuos a tratamiento una vez iniciadas operaciones, donde serían manejados de forma adecuada.

○ *Negativo:*

Se trata de las intervenciones que, por el proyecto, tienen como consecuencia una afectación a las condiciones actuales en torno a la gestión de los residuos y se señalan para cada actor o grupo de actores clave identificado (s) según la etapa en la que dichos cambios pueden ocurrir.

Población cercana:

Etapa de construcción:

- El proyecto implica un incremento en el tránsito vehicular, por la circulación del equipo y maquinaria empleada sobre los caminos y vialidades de acceso al sitio del proyecto.
- Afecta el paisaje.
- Genera emisiones acústicas nocivas.
- Genera emisiones de gases atmosféricos contaminantes y causantes de malos aromas.

Etapa de Operación:

- El proyecto supone un incremento en el tránsito vehicular, por la circulación de los camiones de recolección de residuos empleados por las autoridades locales, así como de otros particulares.
- Genera emisiones acústicas nocivas.
- Genera emisiones de gases atmosféricos contaminantes y causantes de malos aromas.

6.4.2.2 Formulación de medidas de mitigación.

Para cada actor afectado de manera negativa por el proyecto, se formularon medidas de mitigación para evitar, reducir, reparar y compensar cualquier modificación indeseada que derive del mismo.

- **Impactos directos:**

Para los actores clave impactados de manera directa y que sufrirían afectaciones por el proyecto, se plantearon las siguientes medidas:

- *Negativo:*

Aquellos actores que han sido afectados de manera directa y de forma negativa por el emplazamiento del proyecto:

Población cercana:

Con el proyecto, será necesaria la formulación de un dictamen vial que establezca las acciones mínimas indispensables para la circulación segura y constante en cualquiera de las etapas del proyecto, particularmente de los camiones de recolección a su llegada y retirada a la zona de proyecto, como de la población local cercana al sitio.

Mantener en buen estado los escapes y motores de los vehículos de recolección (verificaciones vehiculares) con el fin de evitar ruido y emisiones de gases contaminantes.

Prestadores del Servicio de Recolección:

En el supuesto de alguna adecuación y/o modificación a las rutas de recolección, implicará la revisión del contrato entre las autoridades locales y los prestadores de servicios.

Mantener en buen estado los escapes y motores de los vehículos de recolección (verificaciones vehiculares) con el fin de evitar ruido y emisiones de gases contaminantes.

6.5 Conclusiones

Un Sistema de Tratamiento Mecánicos Biológico (MBT por sus siglas en inglés) constituye un elemento esencial en un esquema de aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos; deberá contemplarse en la etapa de inversión que las provedurías contemplen suministros con productos locales y/o de la región.

El componente biológico de un sistema MBT puede ser cubierto a partir de tres opciones de biodigestión, denominadas de operación húmeda, seca y extra-seca; ésta última forma parte de una tercera generación de la tecnología, que tendría como principales características, que está pensada para el tratamiento de residuos sólidos urbanos, los requerimientos mínimos de pretratamiento de los residuos a tratar, la posibilidad de mantener eficiencias aun con la presencia e impropios, los proceso de operación pueden ser cubiertos con empleo de un cargador frontal y la posibilidad de generar un sustrato prácticamente libre de humedad y permitiendo concluir su estabilización mediante procesos de composteo.

Derivado de un ejercicio de evaluación de las tres alternativas de tratamiento de la fracción orgánica de residuos, fue posible identificar que la alternativa extra seca tiene los mejores rendimientos, siendo en aspectos de productividad y pérdidas de metano en los que tendría sus principales debilidades en comparación con las opciones seca y húmeda.

También quedó de manifestó que las alternativas húmeda y seca, presentan condiciones favorables cuando el objetivo del sistema de tratamiento está enfocado en la producción de biogás, sin embargo, con dificultades operativas en el pretratamiento, al requerir de especificaciones ajenas a las que caracterizan a los residuos como, la presencia de impropios, el contenido de humedad excesiva, así como en el efluente resultante del proceso de digestión anaerobia en estas dos modalidades implica grandes requerimientos para la estabilización del digestato, generando así un nuevo problema por resolver.

7 Proyecto a nivel conceptual con elementos de ingeniería básica preliminares.

7.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

7.1.1 Antecedentes.

La propuesta del proyecto tiene como objetivo construir una planta de metanización para recibir y tratar residuos orgánicos de grandes generadores del sector hotelero y residuos domésticos en Cozumel. El propósito de la planta es la generación de biogás a partir de la digestión anaeróbica de estos residuos (metanización), con producción final de biofertilizante líquido y sólido, electricidad y calor.

El proyecto en su etapa inicial corresponde a la construcción de una planta de metanización para el tratamiento exclusivo de residuos orgánicos segregados en la fuente de grandes generadores - El tratamiento se realizará en húmedo mediante tecnología de biodigestión seca continua con módulos de pretratamiento y almacenamiento difuso, instalados en el sitio de generación de residuos.

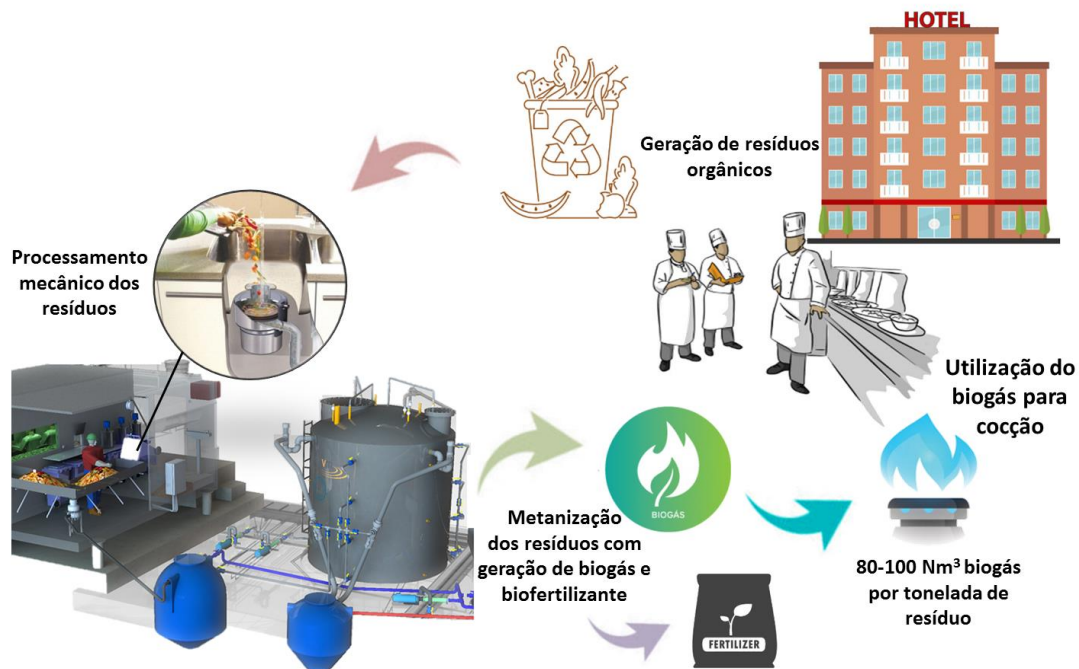
7.1.1.1 Descripción general de la planta.

El proyecto incluye la construcción de una planta de tratamiento de residuos tipo biodigestión seca continua, cuya principal característica es la versatilidad y posibilidad de implementar módulos de pretratamiento en los sitios de generación de residuos.

Esta característica proporciona una mayor versatilidad y adaptabilidad en la gestión de residuos. Además de los factores logísticos de la tecnología, la producción de energía y composta a partir de la metanización de residuos orgánicos es una ventaja estratégica en la creación de activos.

En la siguiente figura se presenta el diseño conceptual de la tecnología de biodigestión seca continua insertada en el contexto de la gestión de residuos en el sector hotelero en Cozumel.

Figura 54: Diseño conceptual de la tecnología de biodigestión seca continúa insertada en el contexto de la gestión de residuos.



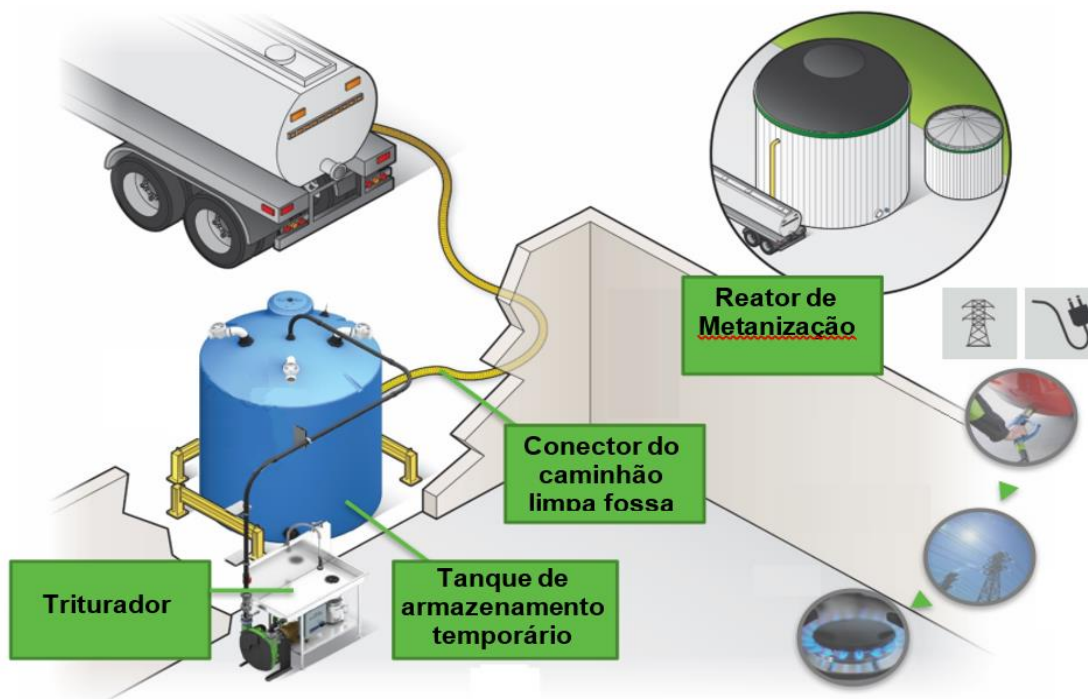
Fuente: Methanum, 2019.

La planta de biogás comprenderá:

Unidades de pretratamiento y almacenamiento:

- Dispositivo de trituración de residuos acompañado de una bomba de succión y bombeo de material triturado al tanque de almacenamiento temporal. El tanque de almacenamiento temporal será vaciado periódicamente por el camión, que llevará los residuos a la planta de Metanización. La siguiente figura ejemplifica el dispositivo que se instalará en el predio del gran generador, preferiblemente cerca de las instalaciones que realizarán su aprovechamiento.

Figura 55: Diseño conceptual de la tecnología de biodigestión seca continua insertada en el contexto de la gestión de residuos.



Fuente: Methanum, 2019.

- En los casos en que no exista la posibilidad de instalar el dispositivo de pretratamiento y almacenamiento, los residuos generados deberán ser empaquetados en bolsas plásticas, que serán enviadas para su recolección y posteriormente al sistema de pretratamiento instalado en la planta, que consta de una trituradora de bolsas y una trituradora como se indica en la siguiente figura:

Figura 56: Trituradora de bolsas.



Fuente: Methanum, 2019.

Unidad de digestión anaeróbica:

- Sistema de metanización, consistente en un reactor de metanización de la fracción orgánica de residuos segregados (FORS).

- Sistema de mezcla de material de digestión compuesto por agitadores mecánicos o hidráulicos.
- Sistema de control de temperatura, compuesto por intercambiadores de calor instalados en el interior del reactor de metanización.

Unidad de Post-Tratamiento de Material Digerido:

- Sistema de separación sólido-líquido, compuesto por una centrífuga; y
- Instalaciones de almacenamiento para las fases líquida y sólida del material digerido;

Unidad de acondicionamiento y utilización de biogás:

- Sistema de micro aeración interna en el reactor de metanización para desulfuración de biogás;
- Filtro de pulido para eliminar partículas y concentraciones residuales de sulfuro de hidrógeno (H₂S);
- Sistema de secado de biogás;
- Sistema de cogeneración de energía, compuesto por un grupo generador de biogás (CHP);
- Un quemador.

Unidades periféricas:

- Edificio técnico-administrativo, que contiene salas de control y laboratorio de apoyo;
- Subestación de energía eléctrica; y
- Cuarto eléctrico.

Cabe señalar que el trazado de esta propuesta permite el movimiento de todos los vehículos necesarios para el transporte de materia prima (FORS) y salida del material final resultante del proceso (digestores y relaves), así como el espacio necesario para perfecta logística del funcionamiento de la planta. Sin embargo, este esquema es una versión preliminar, que será revisada durante el desarrollo de los proyectos básicos y ejecutivos.

Las principales características del proceso consideradas para el diseño del proyecto se destacan a continuación:

- La producción de biogás a partir de la conversión de sustratos orgánicos complejos en metano se lleva a cabo a través de un consorcio microbiano. Se trata de al menos tres grupos distintos de microorganismos, que se diferencian tanto por el sustrato que consumen como por los productos generados. El proceso global de metanización de sustratos orgánicos se compone básicamente de cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

- La formación de biogás monoetapa implica un equilibrio entre las cuatro fases de un reactor, ocurriendo a pH neutro y con condiciones adecuadas de alcalinidad (la reducción del pH, asociada a una relación inadecuada entre las concentraciones de ácido acético y carbonato cálcico, puede representar una acumulación de ácidos grasos en el reactor y, en consecuencia, un desequilibrio entre las fases).
- La actividad metanogénica ocurre en un amplio rango de temperatura (entre -5°C a +70°C), sin embargo, para que se observe una buena eficiencia en el reactor en la conversión de ácido acético en metano, se debe asegurar que el biodigestor opera a la temperatura adecuada. Los microorganismos metanogénicos se desarrollan principalmente en tres rangos de temperatura, clasificándose en: psicrófilos ($T < 20^{\circ}\text{C}$), mesófilos ($20^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$) y termófilos ($T > 45^{\circ}\text{C}$). Más específicamente, dentro de estos grupos, existen rangos de temperatura ideales, donde las tasas de proliferación y actividad son más altas. Para los microorganismos mesófilos, se debe mantener una temperatura constante de alrededor de 37°C dentro del reactor.
- Como se describirá a su debido tiempo, uno de los productos resultantes de la biodigestión anaeróbica es el H_2S , que es uno de los componentes del biogás. En las plantas de biogás se debe buscar reducir las concentraciones de H_2S , ya que este gas es muy nocivo para el motor de combustión interna, para el concreto (si no es resistente al sulfuro) y, en general, para todos los componentes que están en contacto directo con el biogás. Por tanto, es fundamental que las plantas de biogás cuenten con sistemas para reducir las concentraciones de H_2S en el biogás.
- Dada la actual generación de residuos en el sector hotelero de Cozumel, se consideró la recepción y tratamiento de aproximadamente 25 T/d de residuos sólidos orgánicos para el dimensionamiento de los equipos principales. Es de destacar que este dimensionamiento considera la disponibilidad actual de residuos orgánicos (alrededor de 20.0 ton/d promedio y 25.0 ton/d como máximo) y posibles picos en la generación de este sustrato para no comprometer el desempeño del sistema para diferentes capacidades.

7.1.1.1.1 Unidad de pretratamiento.

Los residuos orgánicos afluentes a la planta de metanización deben segregarse en la fuente de generación y almacenarse temporalmente en tanques. Una vez que los tanques estén completamente llenos, un camión tipo tanque séptico irá a la empresa para succionar el material y llevarlo a la unidad de digestión anaeróbica (planta de biogás).

A su llegada a la planta de biogás, los camiones serán pesados en una balanza vial, con el fin de registrar la cantidad de material recibido por la unidad, a través de la diferencia entre el peso del camión con el residuo y el peso del camión vacío. Luego, los residuos se bombearán al reactor anaeróbico (fermentador principal).

Los grandes generadores que no cuenten con una unidad de pretratamiento y almacenamiento instalada en sus proyectos deben empaquetar los residuos en bolsas plásticas y / o bidones. La porción de residuos empaquetados en bolsas será dirigida a un dispositivo que tritura bolsas y una trituradora, solo después de este procedimiento se procederá al reactor anaeróbico.

7.1.1.1.2 Unidad de digestión anaeróbica.

El reactor de metanización será del tipo de mezcla completa (CSTR - Reactor de tanque agitado de flujo continuo, siglas en inglés), una tecnología probada y ampliamente utilizada para la digestión anaeróbica de sustratos más densos.

Los reactores CSTR son la principal tecnología utilizada para la metanización de residuos agrícolas en el mundo, que tiene cierta similitud con los residuos provenientes de los centros de suministro de alimentos. La gran ventaja de los reactores CSTR es que permiten la inserción de prácticamente cualquier tipo de sustrato debido a su capacidad de homogeneizar la materia contenida en su interior.

Con la homogeneización del material de entrada en el sistema, se favorece la actividad microbiana y, en consecuencia, la estabilización de la materia orgánica, ya que el componente metanogénico está sometido a constantes condiciones operativas, tanto referidas al medio como al sustrato. De esta forma, se minimizan las perturbaciones a las que están sometidos los microorganismos anaeróbicos, permitiéndoles ejercitar sus actividades metabólicas de manera ideal y constante.

El reactor principal de metanización será cilíndrico, construido en concreto armado resistente a sulfatos, en el que se lleva a cabo el proceso de digestión anaeróbica y la consiguiente producción de biogás. Se impermeabilizará la superficie interna del reactor de metanización, para evitar la transferencia de masa en estado gaseoso y / o líquido a través de los muros de hormigón. Se eligió un reactor cilíndrico para promover un flujo continuo en el reactor, evitando cortocircuitos y la creación de zonas muertas, problemas operacionales que reducen el volumen útil de los equipos y perjudican la actividad metanogénica. Las principales características del reactor de metanización son:

- La cantidad 1
- Diámetro 16.0 m
- Altura del tanque 7.75 metros
- Altura del líquido 7.25 metros
- Volumen de biodigestión 1,457.7 m³
- Temperatura de funcionamiento Mesófilo (37°C)
- Régimen operativo Alimentación semicontinua

Para mantener la temperatura en las condiciones de funcionamiento definidas en el proyecto (37°C), se instalará un sistema de calefacción interna tipo serpentín, conectado a un sistema de distribución de calor. La energía térmica provendrá de la unidad de cogeneración de energía. Se instalará un intercambiador de calor acoplado al sistema de refrigeración del motor de este módulo, para que sea posible el intercambio de calor entre el refrigerante y el agua. El agua calentada luego será reprimida al reactor de metanización para controlar la temperatura de este sistema y regresará al intercambiador de calor, manteniendo el circuito cerrado.

También está previsto instalar un acumulador de biogás en la parte superior del reactor, que tendrá la función de almacenamiento de presión estática. Se instalará una membrana de material apto para el almacenamiento de biogás. Las principales características del reactor son:

- Suelo y paredes de concreto armado con clase de exposición XA2, según norma europea NP EM 206-1;

- Recubrimiento de la pared interna del fermentador, expuesta al biogás, con una pintura a base de resina EPOXY.

El reactor también contará con un sistema biológico de oxidación de H_2S mediante la inyección de pequeñas cantidades de aire, de forma controlada, en la zona de almacenamiento de biogás. Esta operación tiene como objetivo suplir la demanda de oxígeno de los microorganismos responsables de la oxidación de los sulfuros, sin, sin embargo, comprometer el desempeño del sistema anaeróbico y / o formar una atmósfera explosiva en el interior del reactor.

Los principales elementos de este sistema son los siguientes:

- Correas dispuestas radialmente con soporte central de acero inoxidable;
- Malla de nailon;
- Soplador para inyectar aire en el interior del acumulador de biogás.

Este conjunto constituye un hábitat ideal para la proliferación de microorganismos aeróbicos responsables de la conversión biológica del H_2S en azufre elemental. Gracias a la gran superficie de contacto que proporciona la red de nailon, que sirve de soporte para el desarrollo de microorganismos, la reducción de H_2S consigue una alta eficiencia. Las variaciones en la presión interna del gasómetro entre 0 y 5 mbar no influyen significativamente en el proceso de reducción biológica de las concentraciones de H_2S .

Cabe señalar que el azufre elemental que precipita en la fase líquida del reactor no compromete el equilibrio entre los grupos microbianos responsables de la producción de metano, sino que conduce a un aumento de las características agronómicas del biofertilizante, aumentando sus propiedades nutricionales, debido al aumento observado en los niveles de azufre.

Considerando el tipo y la cantidad de biomasa que se introduce diariamente en el sistema; la capacidad de retención del reactor de metanización; el volumen útil de metanización; y la temperatura del reactor (intervalo mesófilo). Se espera que el material en digestión dentro del reactor presente un contenido de sólidos totales capaces de bombear y agitar sin altos requerimientos energéticos, viscosidad reducida y posible presencia de material flotante.

El reactor estará equipado con dos agitadores laterales, debidamente dimensionados para asegurar la homogeneización continua del sustrato y la eliminación de la biomasa flotante. Cada mezclador se instalará en una brida ubicada en el costado del reactor de metanización y contará con un sistema para regular la dirección del flujo. Los agitadores cuentan con un sistema de sellado especial que garantiza la total estanqueidad del conjunto.

El material efluente al reactor de metanización, llamado digestato, será enviado con la ayuda de una bomba al sistema de separación de fases para la separación de la fracción sólida y líquida. Estos se pueden usar o comercializar como un excelente acondicionador del suelo y se almacenarán por separado.

7.1.1.1.3 Unidad de postratamiento de digestato.

Después de separar la fracción sólida y líquida, la porción líquida se enviará a un tanque de almacenamiento. Esta unidad tendrá $622 m^3$ de volumen útil, el equivalente a almacenar unos 7 días de producción de digestato.

Las principales características del depósito de almacenamiento de digestato líquido (biofertilizante) son:

- La cantidad 1
- Diámetro 12.0 m
- altura del tanque 6.0 m
- altura del líquido 5.5 metros
- volumen de biodigestión 622 m³

n general, se espera que el biofertilizante líquido presente las siguientes características:

- Materia seca total inferior al 5%;
- Ausencia de partículas flotantes;
- Buena viscosidad.

Para la salida del digesto líquido, se proyecta la construcción de un área de abastecimiento de camiones cisterna. El biofertilizante sólido, a su vez, se almacenará en un patio para luego cargarlo en camiones. El patio tendrá aproximadamente 6 m de ancho y 8 m de largo, lo que permitirá un almacenamiento máximo de alrededor de 45 m³ de producto.

7.1.1.1.4 Unidad de acondicionamiento y utilización de biogás.

El acondicionamiento del biogás generado es fundamental para que sea posible utilizar la energía contenida en este combustible sin comprometer los elementos electromecánicos y tuberías involucrados en este proceso. Así, la unidad contará con los siguientes sistemas de acondicionamiento:

- Desulfuración del biogás, mediante micro aeración, para eliminar la mayor parte del H₂S contenido en el biogás;
- Filtración para eliminar partículas sólidas y concentración residual de H₂S; y
- Secado de biogás para eliminar el exceso de vapor de agua contenido en el biogás.

Las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el biogás pueden alcanzar el 5% (50,000 ppmv) dependiendo del sustrato procesado.

Este compuesto, durante el proceso de combustión o si se oxida, forma ácidos corrosivos que dañan los equipos de cogeneración de energía y sistemas asociados como válvulas y tuberías en general. Para su uso en unidades de cogeneración de energía, generalmente debe eliminarse en concentraciones inferiores a 200 ppmv.

Como ya se ha comentado, se propone el uso de la técnica de micro aireación, en la que se inyecta aire atmosférico en la campana de gas del reactor anaeróbico de forma controlada. En estos sistemas, los microorganismos sulfo-oxidantes utilizan oxígeno como aceptor de electrones para oxidar el sulfuro de hidrógeno (donante) para obtener energía.

Para la colonización de microorganismos sulfo-oxidantes, se instalará una red en la campana de biogás del reactor, entre la masa líquida y la membrana del gasómetro. Con el fin de garantizar las concentraciones de sulfuro de hidrógeno para el correcto funcionamiento del grupo electrógeno y aumentar la robustez del sistema. Además, se puede instalar un sistema de filtrado de biogás externo para asegurar la eliminación de las concentraciones residuales de H₂S aún presentes.

Figura 57: Precipitación de azufre en la malla utilizada para sustentar los microorganismos sulfo-oxidantes.



Fuente: Methanum, 2019.

La presencia de material particulado en el biogás puede desgastar los sistemas de cogeneración y los elementos periféricos a ellos. Así, se prevé la eliminación de este compuesto del flujo de gas mediante el uso de filtros mecánicos para su retención.

Finalmente, se prevé una etapa de secado del biogás para eliminar el vapor de agua, que corresponde aproximadamente a un 1 a un 5% de la composición del biogás. Incluso a bajas concentraciones, la condensación de este vapor de agua en las tuberías, en asociación con H_2S , puede corroer el sistema de cogeneración de energía y los elementos periféricos. Para el presente proyecto se propone el secado de biogás por compresión y enfriamiento.

Estas operaciones (desulfuración, filtrado y secado de biogás) mejoran la eficiencia de la combustión y prolongan los intervalos entre paradas para el mantenimiento del sistema de cogeneración de energía, generando ahorro y continuidad.

Después del tratamiento de biogás, se dirigirá a un sistema de cogeneración compuesto por un motor de combustión acoplado a un generador eléctrico, también conocido como grupo generador o Combined Heat and Power (CHP). Además de generar electricidad, la cogeneración permite la reutilización térmica recuperando el calor disipado por el refrigerante y los gases de escape del motor.

Se estima que se generarán $2,200 \text{ m}^3/\text{día}$ de biogás, con aproximadamente 65% de metano en su composición, lo que permite alcanzar una capacidad instalada de 0.193 MW^{18} . Con esta capacidad instalada, el sistema podrá abastecer la totalidad de la demanda eléctrica de la planta de biogás (correspondiente al 5% de la electricidad generada), pudiendo además exportar alrededor de $1,606 \text{ MWh}/\text{año}$ de electricidad a la red pública local. La figura siguiente muestra un equipo de cogeneración de biogás.

Derivado de lo anterior el proyecto de generación de energía eléctrica de la Isla de Cozumel, de acuerdo con el marco jurídico vigente, se considera un proyecto de generación distribuida en la modalidad de generador exento, esto debido a que la capacidad instalada estimada sería menor a los 0.5 MW (500 kW). Cabe señalar que los generadores exentos no requieren permiso para

¹⁸ Considerando un factor de planta del biodigestor del 90%, un factor de eficiencia del equipo de cogeneración del 95% y una eficiencia eléctrica del 38%.

generar electricidad por parte de la Comisión Reguladora de Energía, sin embargo, si requieren concretar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad, así como cumplir con especificaciones técnicas y de calidad para poder interconectar la central de generación (CRE, 2017).

Figura 58: Equipos de cogeneración a biogás.



Fuente: Methanum, 2019.

También se estima una generación bruta de 1,424 MWh térmicos/año de energía térmica, que se utilizará en un sistema de calentamiento interno del reactor de metanización, como se describió anteriormente. El propósito del calentamiento es mantener la temperatura del fluido cercana a los 37°C, optimizando la eficiencia de los procesos biológicos.

El módulo de cogeneración se ensamblará en un contenedor específico, construido con estructuras de acero y aislamiento térmico y acústico. La cogeneración contará con el apoyo de bases antivibración, equipadas con un cuadro de control eléctrico y un sistema de regulación automática de la combustión interna para controlar las emisiones.

Con el fin de garantizar que no se emita biogás directamente a la atmósfera en los momentos en que el sistema de recuperación de energía de biogás no esté en funcionamiento, o se produzca una generación de biogás superior al que se puede utilizar en el sistema de cogeneración, se instalará en el plantar una bengala. La figura siguiente muestra la imagen de un quemador de biogás.

Figura 59: Quemador.



Fuente: Methanum, 2019.

El quemador por utilizar será del tipo Flare Stack, con combustión abierta con una eficiencia del 90%, con control de llama y presión. El sistema estará diseñado para funcionar en un entorno industrial, sujeto a mal tiempo, las 24 horas y los 7 días de la semana. El sistema tendrá un dispositivo de supervisión que permitirá la detección de llama, alarma de falla, estado / comando de la válvula. La bengala también tendrá un sistema de encendido automático.

7.1.1.2 Unidades periféricas.

7.1.1.2.1 Edificio técnico-administrativo.

El edificio técnico-administrativo incluirá la sala de control, en la cual será posible monitorear todos los procesos de la planta; siendo supervisado/controlado vía software, que permitirá el seguimiento / control de las siguientes funciones:

- Supervisión y control automático de los ciclos de carga del reactor, con control de las cantidades introducidas;
- Supervisión y control automático del proceso de agitación;
- Supervisión y control automático del sistema de calefacción;
- Supervisión automática de nivel de gasómetro;
- Supervisión y control del funcionamiento del sistema de separación sólido/líquido;
- Supervisión del tanque post-fermentador que almacena el digestato líquido;
- Supervisión y control de la cantidad de material recirculado;
- Supervisión de la temperatura de la fase líquida dentro del reactor de metanización;
- Supervisión de la presión hidrostática en el reactor de metanización;
- Supervisión y control de presión en la fase gaseosa del reactor de metanización;
- Supervisión de los datos recibidos por el sistema de análisis de biogás (composición, caudal, temperatura y presión);
- Supervisión del sistema de secado de biogás;

- Supervisión del sistema de cogeneración de energía;
- Control de nivel de funcionamiento del reactor y alarmas.

El sistema de automatización permitirá consultar las averías de las actividades mencionadas y activar, en consecuencia, todos los sistemas de alarma necesarios.

Además de la sala de control, el edificio técnico-administrativo contará con un laboratorio para la realización de los ensayos ordinarios de laboratorio imprescindibles para el buen funcionamiento de la planta. El edificio técnico-administrativo también contará con sala eléctrica e infraestructura para la realización de reuniones, despensa y baños.

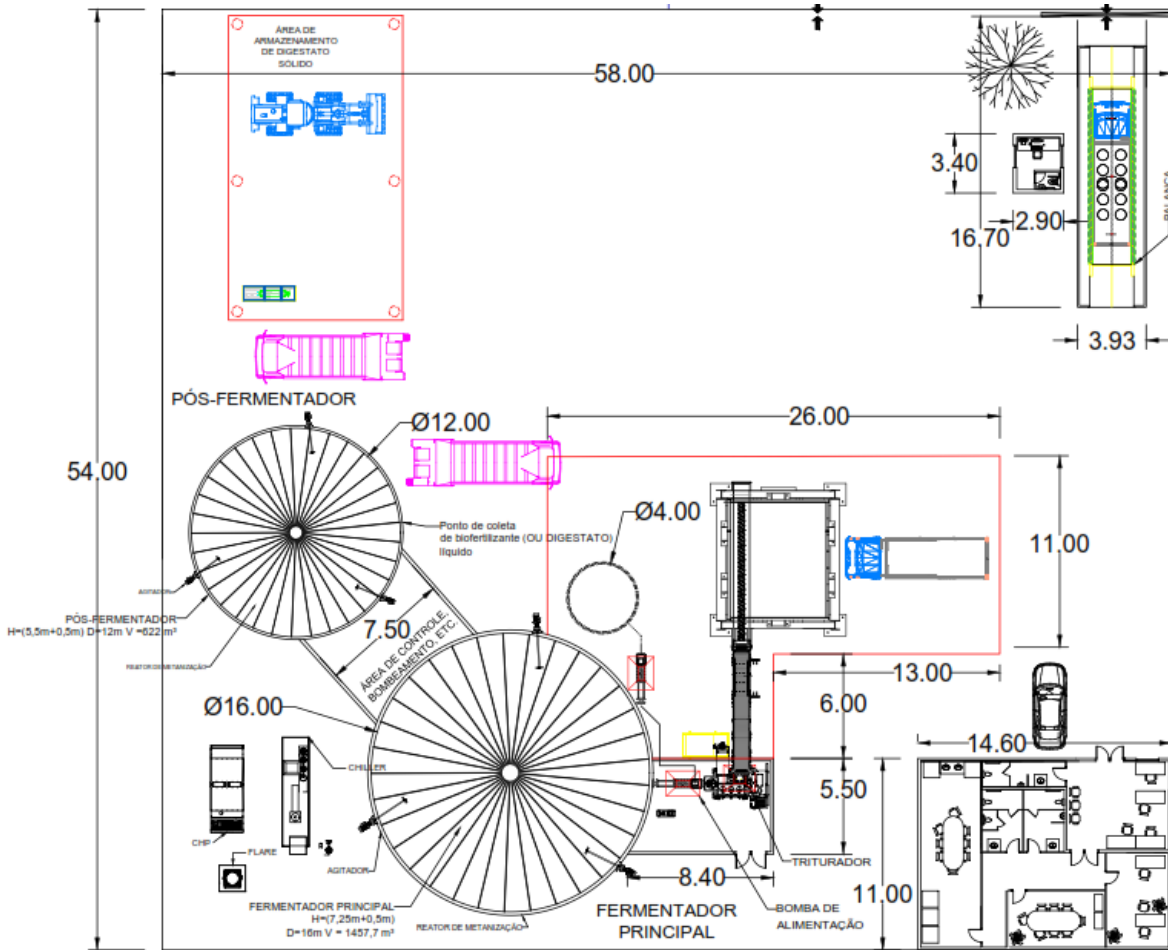
7.1.1.2.2 Cuarto eléctrico.

Junto al reactor de metanización, se construirá un edificio que servirá de abrigo para dispositivos eléctricos, como motores, cuadro de control eléctrico, cuadro de automatización, compresores para control de aire de válvulas neumáticas, el compresor del sistema de micro aeración (desulfuración), entre otros.

7.1.1.3 Diseño de la Fase 1.

El diseño de la fase 01 comprende la instalación de un sistema de tratamiento de residuos segregado (CSTR) tipo biodigestión seca continua, el diseño se desarrolló con miras a la futura expansión del sistema.

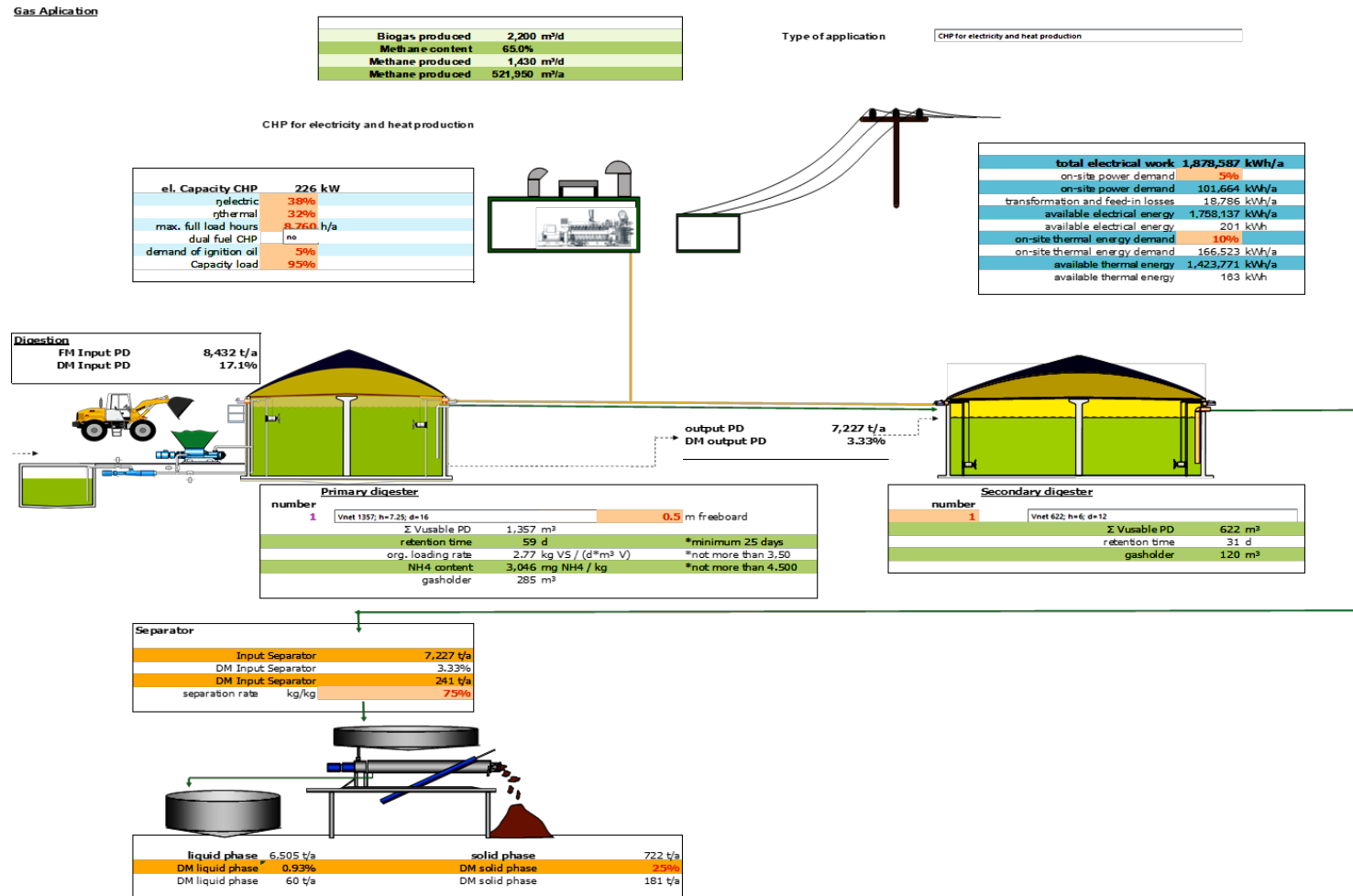
Figura 60: Diseño de fase 1.



Fuente: Methanum, 2019.

7.1.1.4 Balance de masa y energía.

Figura 61: Balance de masa y energía.



Fuente: Methanum, 2019.

7.1.2 Descripción de datos de entrada para el modelo financiero.

Como parte de la determinación de los parámetros económicos necesarios para calcular los indicadores financieros se realizó un trabajo recopilatorio de diversas fuentes de información útiles y que van desde cotizaciones, consultas directas con proveedores, otros estudios realizados, consultas en la red y literatura especializada.

Cada uno de los siguientes apartados corresponde a la determinación de uno de los componentes necesarios para el desarrollo y cálculo de los indicadores financieros.

7.1.2.1 Balance de masa.

El balance de masa integra los datos de entrada de todo el proceso de tratamiento, en este sentido, el ingreso corresponde en su origen al material tipo FORSU proveniente de hoteles, clubes de playa y restaurantes y la cantidad a utilizar corresponde a la obtenida en el Proyecto ENRES para Cozumel ejecutado en el 2019 con un valor de 22 ton/día o 8,030 ton/año.

Por otro se contemplaron una serie de factores para determinar de forma paramétrica las pérdidas por digestión anaerobia (3.26 ton/día), por evaporación y conversión a CO₂ (8.53 ton/día), la producción de composta (9.11 ton/día) y el rechazo (1.10 ton/día), dichos valores fueron obtenidos a partir de una cotización realizada a la empresa BEKON para un proyecto con características similares en Costa Rica en el 2019.

Tabla 15: Desagregación de balance de masa.

Balance de Masa	Factor	Cantidad	Unidad
Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)	100%	22	ton/día
Pérdidas Digestión Anaerobia	14.81%	3.26	ton/día
Perdida (CO ₂ + Vapor H ₂ O) Composta	38.77%	8.53	ton/día
Composta	41.41%	9.11	ton/día
Rechazo	5.00%	1.10	ton/día

Fuente: Elaboración propia a partir de ENRES, 2019 y Bekon Cotización 2019.

7.1.2.2 Balance de energía eléctrica.

La producción de energía eléctrica con base en los parámetros de ingreso de residuos orgánicos considerando las eficiencias planteadas previamente conllevan una generación de 1,691 MWh/año mientras que, considerando una cantidad para el autoconsumo al interior de las instalaciones de 85 MWh/año se contempla un total de energía disponible de 1,606 MWh/año, dichos valores se reportan a continuación:

Tabla 16: Balance de energía eléctrica.

Balance de energía eléctrica	Factor	Cantidad	Unidad
Capacidad Instalada ¹⁹	100%	0.193	MW
Generación	100%	1,691	MWh/año
Autoconsumo	5%	85	MWh/año
Energía eléctrica disponible	95%	1,606	MWh/año

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización Methanum, 2019 y Cálculos del Potencial energético en Cozumel, 2022.

7.1.2.3 Emisiones de GEI evitadas.

Las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas a la atmosfera que son evitadas con la implementación del proyecto corresponden a dos valores primordialmente, el primero corresponde a las emisiones directas por quema de metano y que ascienden a 8,786 tCO₂e al año, mientras que el segundo se determina a partir de las emisiones por sustitución de electricidad del sistema eléctrico nacional que alcanzan un valor de 715 tCO₂e/año.²⁰

Tabla 17: Emisiones de GEI evitadas.

Emisiones de GEI evitadas	Cantidad	Unidad
Emisión Directa por Quema de Metano	8,786	tCO ₂ e año
Emisión por Sustitución de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional	715	tCO ₂ e año

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos del potencial energético en Cozumel, 2022.

7.1.2.4 Determinación del CAPEX.

Las inversiones en bienes de capital o CAPEX esta categorizado por la obra civil y equipos fijos por un lado y por equipo móvil, embalajes y transporte; montaje, grúas y puesta en marcha; e impuestos y gastos de internación dichos elementos se presentan en las siguientes tablas.

¹⁹ El proyecto de generación de energía eléctrica de la Isla de Cozumel, de acuerdo al marco jurídico vigente, se considera un proyecto de generación distribuida en la modalidad de generador exento, esto debido a que la capacidad instalada estimada sería menor a los 0.5MW (500kW). Cabe señalar que los generadores exentos no requieren permiso para generar electricidad por parte de la Comisión Reguladora de Energía, sin embargo, si requieren concretar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad, así como cumplir con especificaciones técnicas y de calidad para poder interconectar la central de generación (CRE, 2017).

²⁰ Se utilizó el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2021, publicado por la SEMARNAT disponibles en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>

Tabla 18: CAPEX precio y factores en obra civil y equipos 1 de 2.

CAPEX Obra Civil y Equipos Fijos	Precio unidad (USD sin IVA)	% en las obras civiles	% en equipos	% de equipo nacionales
Pretratamiento	\$460,000	30%	70%	90%
Metanización húmeda	\$380,000	60%	40%	30%
Postratamiento	\$170,000	60%	40%	30%
Generación de energía eléctrica (CHP)	\$330,000	25%	75%	30%
Interconexión con el sistema eléctrico	\$95,000	35%	65%	30%
Automatización y sistema eléctrico	\$70,000	90%	10%	30%
Sistema de ventilación de escape, filtración de aire y control de emisiones atmosféricas	\$50,000	45%	55%	30%
Adquisición de terreno	\$0	0%	100%	100%
Ingeniería, documentación y gestión de proyecto	\$200,000	0%	100%	0%
Total	\$1,755,000			

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización Methanum, 2019.

Tabla 19: CAPEX montos por inversiones 2 de 2.

CAPEX Obra Civil y Equipos Fijos	Inversión en obras civiles	Inversión en equipos	Inversión en equipo nacional	Inversión en equipo importado
Pretratamiento	\$138,000	\$322,000	\$289,800	\$32,200
Metanización húmeda	\$228,000	\$152,000	\$45,600	\$106,400
Postratamiento	\$102,000	\$68,000	\$20,400	\$47,600
Generación de energía eléctrica (CHP)	\$82,500	\$247,500	\$74,250	\$173,250
Interconexión con el sistema eléctrico	\$33,250	\$61,750	\$18,525	\$43,225
Automatización y sistema eléctrico	\$63,000	\$7,000	\$2,100	\$4,900
Sistema de ventilación de escape, filtración de aire y control de emisiones atmosféricas	\$22,500	\$27,500	\$8,250	\$19,250
Adquisición de terreno	\$0	\$0	\$0	\$0
Ingeniería, documentación y gestión de proyecto	\$0	\$200,000	\$0	\$200,000
Total	\$669,250	\$1,085,750	\$458,925	\$626,825

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización Methanum, 2019.

En lo referente al equipo móvil se cuenta con tres elementos para la operación, el primero corresponde a un cargador frontal con una capacidad de 3.8m³ para las operaciones necesarias en cuanto a la carga del material al sistema de tratamiento, su descarga, el acomodo en pilas para composta, el volteo para su aireación y maniobras para el traslado a su zona de aprovechamiento. Por otro lado, se contempla el uso de un contenedor metálico de 5m³ y dos contenedores de un metro cubico.

Tabla 20: Equipo móvil considerado.

Equipo Móvil	Cantidad	Costo	Unidad de medida	Vida Útil Por Considerar
Cargador Frontal 3.8 m ³ capacidad	1	\$309,650.58	USD/unidad	Vida útil 10 años
Contenedores 5 m ³ (metálicos)	1	\$6,785.50	USD/unidad	Vida útil 5 años
Contenedores 1 m ³	2	\$4,464.25	USD/unidad	Vida útil 5 años

Fuente: Elaboración propia a partir de IDOM, 2021 y consulta en la red.

Finalmente, se contempla tres componentes adicionales referentes al CAPEX y que corresponden a embalaje y transporte, montaje, grúas; puesta en marcha e impuestos y gastos de internación.

Tabla 21: Otros elementos del CAPEX.

Otros Elementos del CAPEX	%	Costo	Unidad de medida	Ponderación Respecto al CAPEX
Embalaje y Transporte	3%	\$18,804.75	USD	Respecto al CAPEX en equipos importados
Montaje, Grúas y Puesta en Marcha	6%	\$65,145.00	USD	Respecto al CAPEX en Equipos
Impuestos y Gastos de Internación	3%	\$18,804.75	USD	Respecto al CAPEX en equipos importados

Fuente: Elaboración propia a partir de Bekon Cotización 2019 y Stadler Planta de Tratamiento Mecánico Proyecto 350 ton/día 2020.

7.1.2.5 Determinación del OPEX.

En cuanto al OPEX entendido como el costo permanente para el funcionamiento de las instalaciones se cuenta con personal asociado a 5 tipos de puesto con un total de 9 integrantes del equipo operativo, costos de mantenimiento de obras civiles y equipo fijo, el costo por disposición de residuos en el relleno sanitario, los insumos para el equipo móvil tales como el combustible, lubricante y, por último, el mantenimiento de los contenedores móviles.

Tabla 22: Montos asociados al OPEX.

OPEX	Cantidad	Costo	Unidad de medida	Horas por jornada	Unidad	Notas
Director de Planta	1	\$30,000	USD/año	8	h/día	Bruto
Administrativo	1	\$12,000	USD/año	8	h/día	Bruto

OPEX	Cantidad	Costo	Unidad de medida	Horas por jornada	Unidad	Notas
Técnico Mantenimiento Electromecánico	2	\$18,000	USD/año	16	h/día	Bruto
Operario Biodigestión	3	\$18,000	USD/año	24	h/día	Bruto
Operador Cargador Frontal	2	\$9,000	USD/año	16	h/día	Bruto
Mantenimiento Obras Civiles y Equipo Fijo	1%	\$14,250	USD/año	NA		Excluyendo el CHP
Mantenimiento CHP por MWh e	1	\$15.00	USD/MWh e	NA		
Disposición en Relleno Sanitario	1	\$392.46	MXN/ton	NA		Tarifa PASA Cozumel 2019
Combustible	1	\$103,697	MXN/año	Consumo Equipos Móviles (50% tiempo efectivo)		\$24.37 MXN/litro
Lubricantes y otros	5%	\$5,185	MXN/año	Respecto al Costo Combustibles		
Mantenimiento Contenedores	7%	\$787	USD/año	CAPEX Contenedores		
Mantenimiento Equipos Móviles	5%	\$330,988	USD/año	CAPEX Cargador Frontal		

Fuente: Elaboración propia a partir de ENRES, 2019; Bekon Cotización 2019; IDOM, Ingeniería de Detalle Xalapa 2021 y Consulta en la Red.

7.1.2.6 Determinación de ingresos.

Como ultimo parámetro considerado para establecer los indicadores financieros se tiene la determinación de los ingresos por la venta del excedente anual de producción de energía en pesos por kilowatt hora (kWh), además del material resultante denominado “mejorador de suelo” como subproducto resultante en dólares por tonelada y por último el precio del carbono por ahorro de emisiones medido en dólares por tonelada de dióxido de carbono evitada.

Tabla 23: Determinación de ingresos globales.

Ingresos	Monto	Unidad de medida
Excedente Anual Producción de Energía	\$4.015	MXN/kWh
Mejorador de suelo	\$26.00	USD/ton
Precio del Carbono	\$25.83	USD/tCO ₂ e

Fuente: Elaboración propia a partir de ENRES, 2019; CFE, Tarifa APBT, Alumbrado Público en Baja Tensión, Marzo 2022: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/AlumbradoPublicoBT.aspx> y CEPAL,

El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina, 2019:

<https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>

7.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

7.2.1 Sistema de tratamiento de residuos orgánicos mediante biodigestión.

Como parte de la descripción técnica del proceso de tratamiento de residuos orgánicos se presenta el proceso de biodigestión en seco cotizado por la empresa Bekon, el cual comprende un conjunto de unidades funcionales a partir de las etapas de tratamiento y que inicia en el fermentador continuando con el tanque de percolado, la pared modular trasera, los contenedores, el gasómetro, la antorcha de emergencia y de gas pobre.

También se integra la secuencia de funcionamiento del fermentador y procesos asociados tales como la higienización, las medidas para reducir las emisiones, el control de proceso y la seguridad en el trabajo.

Finalmente, se incluyen los apartados descriptivos de los equipos necesarios tales como la infraestructura, instrumentos de medición y anexos correspondientes a la descripción técnica del sistema de tratamiento.

7.2.1.1 Descripción general del proceso de biodigestión en seco.

Este proceso fue desarrollado con el fin de generar biogás a partir del tratamiento de biomasa sólida particularmente aplicable a los residuos de recolección selectiva o la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.

El sistema contempla la biodigestión en seco mediante un proceso discontinuo aplicado a partir de lotes que permiten tratar biomasa con un alto contenido de materia seca, además es resistente a impurezas como arenas, piedras, componentes de madera o fibras no biodegradables.

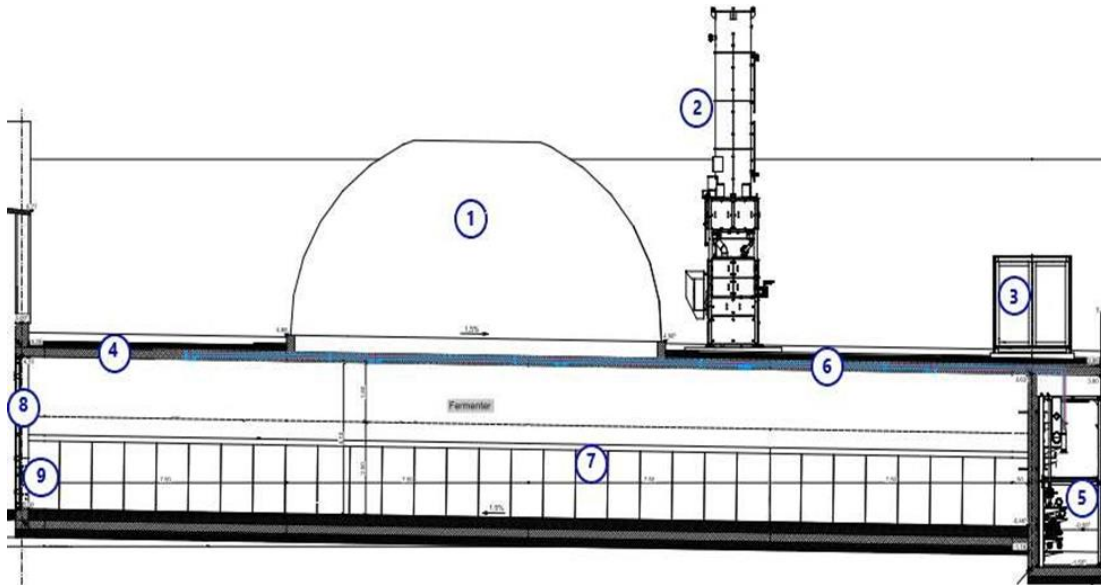
Para el proceso contemplado la empresa refiere que un sistema completo consta de cuatro fermentadores secos idénticos y fermentador de percolación. En este sentido, el material es rociado con agua proveniente del proceso de percolado esto durante la etapa de biodigestión que corresponde a aproximadamente 3 semanas.

7.2.1.2 Fermentador.

El fermentador corresponde a un sistema de túneles tipo contenedor con un de tamaño variables de acuerdo con los requerimientos de cada proyecto.

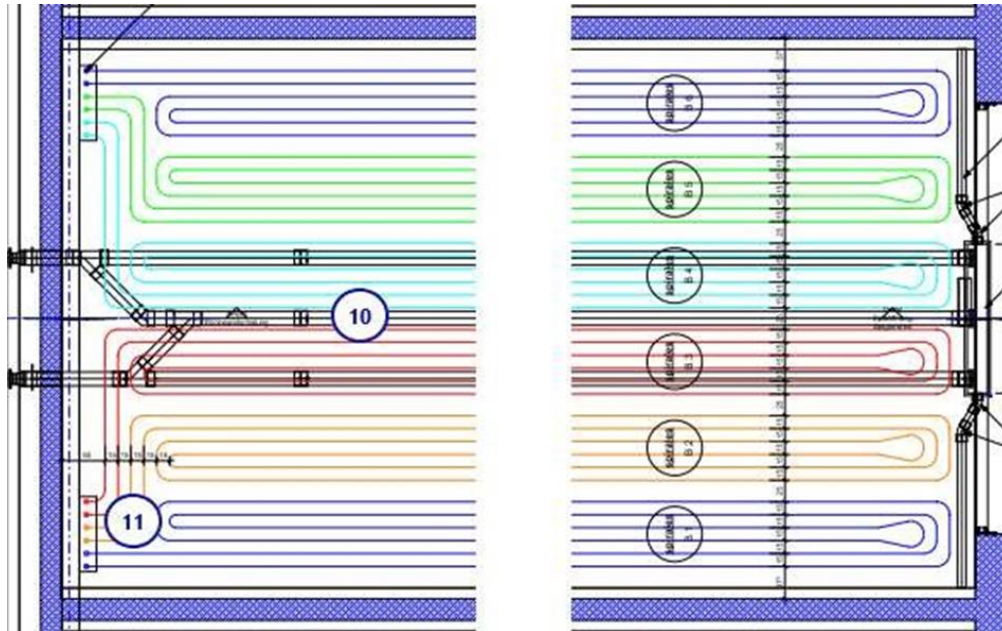
Adicional a la estructura principal, el arreglo permite la colocación del gasómetro, la antorcha y los contenedores técnicos en la parte superior del módulo.

Figura 62: Sección del túnel de biodigestión.



Fuente: Bekon, 2022.

Figura 63: Sección del túnel de biodigestión.



Fuente: Bekon, 2022.

Tabla 24: Leyendas figuras.

ID	Elemento
1	Gasómetro de almacenamiento
2	Antorcha de emergencia
3	Contenedor MT/contenedor ET
4	Construcción del túnel
5	Pared trasera modular con pasarela técnica
6	Tubo de percolación con boquillas para rociar percolado
7	Paneles de drenaje
8	Marco de la puerta del fermentador
9	Canaleta de retención
10	Tubos spigots
11	Circuitos/Mangueras de calefacción de suelo

Fuente: Bekon, 2022.

Los fermentadores están diseñados como construcciones cerradas de concreto armado (4) además el suelo del fermentador integra varios circuitos de agua caliente (11) con los que se lleva a cabo el calentamiento del sustrato.

En la fase de puesta en marcha y antes de abrir los fermentadores, se inyecta aire en el subsuelo a través de los tubos Spigots (10). Para garantizar su limpieza, éstos terminan en el borde delantero del túnel en un canal cubierto con una rejilla que recorre toda la anchura del túnel. A través de esta abertura de limpieza, los tubos Spigots pueden ser enjuagados con ácido acético si es necesario.

La utilización del calor de los gases de escape producto de la cogeneración con un nivel de temperatura de alrededor de 85°C garantiza una eficiencia energética.

Para facilitar el drenaje del percolado, el suelo del fermentador tiene una pendiente hacia la pared posterior. Los paneles de drenaje (7) en las paredes del fermentador permiten un drenaje eficiente del percolado.

La hermeticidad permanente de las puertas de los fermentadores está garantizada por un sello inflable incorporado a la puerta de los fermentadores. Los sensores de presión electrónicos controlan constantemente la presión interna. Las caídas de presión más grandes se registran en el sistema de control de la planta e inician avisos o advertencias específicas.

Las canaletas de retención (9) en el interior del fermentador, montadas dentro del marco de la puerta del fermentador, evitan la acumulación de presión del sustrato sobre la puerta. Las paredes traseras modulares (5) están situadas detrás de las paredes traseras de hormigón de los fermentadores.

En una operación estándar, los fermentadores están constantemente bajo una ligera sobrepresión en un rango de 5mbar a un máximo de 20mbar (10 - 40 psf). Para evitar daños en los fermentadores debido a la sobrepresión en caso de emergencia, por ejemplo, cuando la cogeneración y la antorcha no están en funcionamiento, se instala un dispositivo de seguridad contra la sobrepresión en cada fermentador y tanque de percolado. La protección contra la sobrepresión protege de igual manera contra los daños debidos a la presión negativa.

La funcionalidad de la protección contra la sobrepresión es puramente física y no se ve influida por las averías o problemas eléctricos.

Figura 64: Vista de las puertas del fermentador con rejilla de retención.



Fuente: Bekon, 2022.

7.2.1.3 Tanque de percolado/ pozo de percolado/ contenedor bomba.

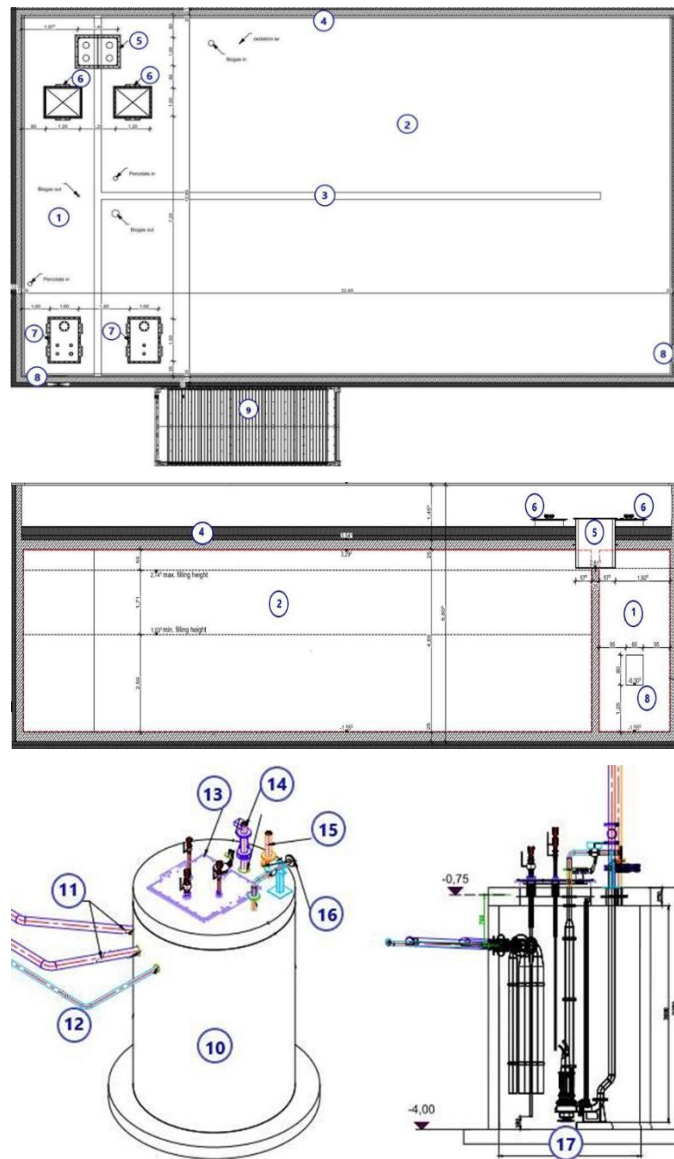
Junto al fermentador de percolado hay una trampa de arena que permite que materia en suspensión se sedimente antes de que el percolado fluya mediante desbordamiento, hacia el tanque de percolado. La trampa de arena y el tanque de percolado tienen las siguientes dimensiones:

Tabla 25: Dimensiones de tanque de percolado, trampa de arena y pozo de percolado.

ID	Elemento
Tanque de percolados	
Volumen	Aprox. 0.04m ³ por t materia de entrada al/year
Dimensiones	(interior l x w x h) (1.5-2 * X) m * X m * 4,85 m
Material	Hormigón armado (opcionalmente con revestimiento de PE)
Trampa de arena	
Dimensiones	(interior l x w x h) 2.5m * X m * 4,85 m
Material	Hormigón armado (opcionalmente con revestimiento de PE)
Pozo de percolados	
Dimensiones	(interior d x h) aprox. 2m*3m
Material	Hormigón armado (opcionalmente con revestimiento de PE)

Fuente: Bekon, 2022.

Figura 65: Vista superior del tanque de percolados/trampa de arenas sin tuberías y vista isométrica + sección pozo de percolados.



Fuente: Bekon, 2022.

Tabla 26: Dimensiones de tanque de percolado, trampa de arena y pozo de percolado.

ID	Elemento
1	Trampa de arenas
2	Tanque de percolados
3	Muro separador
4	Construcción de concreto
5	Sistema de desbordamiento trampa de arenas □ tanque de percolado

ID	Elemento
6	Orificio de entrada 1.0m x 1.2m
7	Elementos de fundición para el equipo de medición 1.5m x 1.0m
8	Orificio de entrada 0.8m x 0.6m
9	Contenedor bomba
10	Pozo de percolado de hormigón cilíndrico
11	Tubos de percolación de la pared trasera modular
12	Tubo de condensado de la pared trasera modular
13	Marco de elementos fundidos con tapa 1.0m x 1.0m
14	Tubería de percolado hacia la trampa de arena
15	Tubería de biogás a la línea de recogida de biogás
16	Entrada de condensado del CHP (motor cogeneración)
17	Bomba de percolación sumergible

Fuente: Bekon, 2022.

El percolado es drenado a través de los paneles en las paredes del fermentador y fluye a través de tuberías (11) dentro de la pasarela técnica, hasta el pozo central de percolado (10). El condensado fluye a través de una tubería (12) hacia el pozo de percolado. Desde el pozo de percolación, el percolado se bombea (17) a la trampa de arena (1) del tanque de percolados. Por medio de un sistema de desbordamiento (5), el percolado fluye desde la trampa de arena hasta el tanque de percolado (2). El tanque de percolado está hecho de hormigón armado (4) y se calienta mediante un intercambiador de calor exterior. Para prolongar el tiempo de reacción biológica, así como la distancia de sedimentación de los sólidos en suspensión, se puede situar una pared (3) en el centro del tanque de percolados.

En el techo del tanque de percolados/trampa de arena hay dos orificios (6) para entrar en el tanque de percolados/trampa de arena y dos elementos de fundición para el equipo de medición (7). En las paredes del tanque de percolados y de la trampa de arenas hay otros dos orificios de entrada (8) que se utilizan para limpiar la trampa de arena y el tanque de percolados.

El tanque de percolados actúa como enlace entre los fermentadores, que se encuentran en diferentes etapas del proceso de biodigestión debido al funcionamiento en lotes (batch).

Con dimensiones relativamente grandes, el tanque de percolados tiene varias funciones: El suministro de percolado a los fermentadores, la reducción y amortiguación del percolado cargado orgánicamente procedente de los fermentadores y la nivelación de la producción de gas.

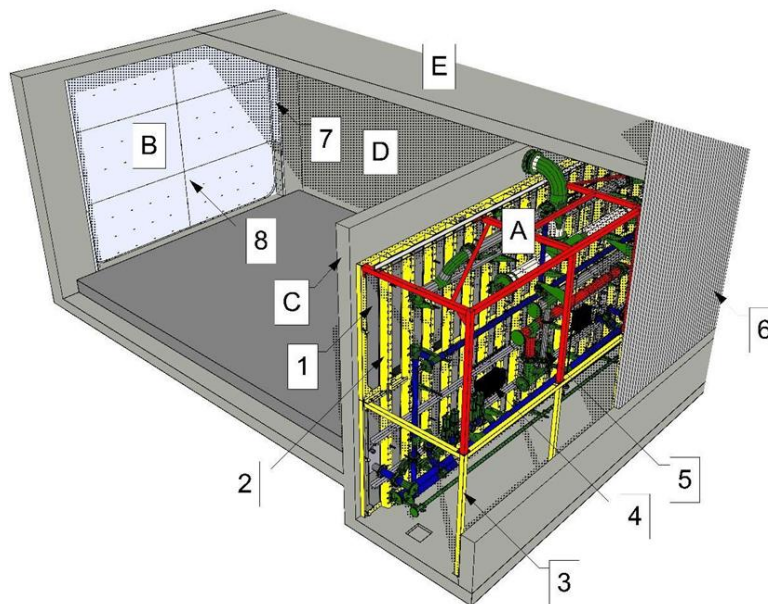
A través de una bomba de percolado, situada en el contenedor bomba, el percolado se extrae del tanque de percolado, se bombea a las líneas de percolación en el techo de los fermentadores y se rocía sobre el sustrato. Una vez que el percolado ha escurrido a través del sustrato en el fermentador, este es drenado de nuevo a través de los paneles de drenaje y el circuito de percolación se cierra.

El exceso de percolado acumulado se extrae del tanque de percolados a través de una conexión de succión y se elimina posteriormente.

7.2.1.4 Pared modular trasera / pasarela técnica.

Todas las conexiones (biogás, percolado, aire de salida, aire fresco) del fermentador, incluidas válvulas y sensores, se encuentran en la pared trasera/pasarela técnica del fermentador. Esta pared modular trasera está estandarizada, prefabricada y probada en nuestra planta de producción. Un módulo de pared trasera contiene todas las conexiones necesarias para un fermentador. La pared trasera se fija con un marco de acero. Este último forma una pasarela técnica con buena accesibilidad a todos los componentes de la pared trasera. Las paredes traseras modulares se colocan en una cubeta de hormigón, junto a la parte trasera de la losa del fermentador. Gracias al alto grado de prefabricación, el tiempo de montaje en la obra se reduce considerablemente y la calidad de ejecución es muy alta. El análisis de gases también está situado en la galería técnica. Para determinar la calidad del biogás, se establecen cíclicamente varios puntos de medición, uno tras otro (cada fermentador y punto de entrega de biogás).

Figura 66: Componentes y ensamblaje de la pared trasera.



Fuente: Bekon, 2022.

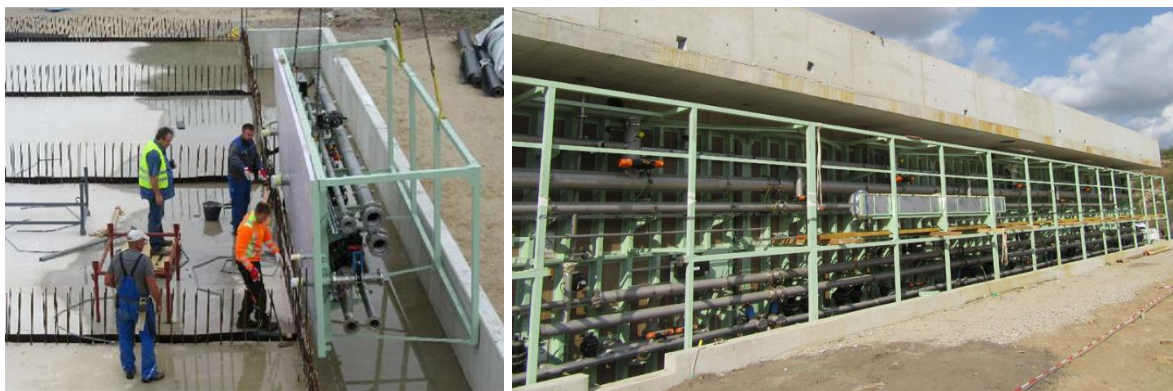
Tabla 27: Componentes y ensamblaje de la pared trasera.

Componentes	Elemento
1	Muro aislante
2	Viga de encofrado / anclaje de tuberías
3	Soporte de pared trasera
4	Armario eléctrico de control y conmutación
5	Tuberías y accesorios
6	Fachada exterior
7	Marco de la puerta del fermentador
8	Puerta hermética

Componentes	Elemento
Ensamblaje/Montaje:	
A	Montaje de la galería técnica, incluida la pared trasera y el encofrado del muro interior (galería técnica con todas las tuberías, accesorios, sensores, cables y control eléctrico prefabricados)
B	Montaje de la puerta incluyendo el marco (se necesita apoyo de la compañía de obra civil)
C	Hormigonado de la pared trasera
D	Hormigonado de las paredes laterales
E	Hormigonado del techo del fermentador

Fuente: Bekon, 2022.

Figura 67: Ensamblaje de la pared trasera.



Fuente: Bekon, 2022.

7.2.1.5 Contenedores técnicos.

Los componentes técnicos necesarios para la planta de biodigestión seca (control eléctrico, sistema de calefacción, aire presurizado, aire de ventilación, análisis de gases) se encuentran en los contenedores técnicos situados en el techo de los fermentadores. Las paredes y el techo están revestidos con aislamiento de lana mineral y placas perforadas galvanizadas. El suelo está entarimado con un revestimiento resistente a la abrasión y al aceite.

Figura 68: Techo del fermentador con contenedores técnicos, gasómetro y antorcha.



Fuente: Bekon, 2022.

Los contenedores técnicos se dividen en contenedores MT (tecnología mecánica) y ET (Tecnología eléctrica).

Contenedor MT:

Este contenedor de 40 pies (largo x ancho x alto: 12.19m x 2.44m x 2.59m) está dividido en dos salas:

Primera sala:

- Distribución del sistema de calefacción
- Producción de aire comprimido

Segunda Sala:

- Ventilador de extracción
- Sistema de ventilación y lavado del digestor

Contenedor ET:

Este contenedor de 20 pies (largo x ancho x alto: 6.06m x 2.44m x 2.59m) proporciona espacio para el alojamiento de los armarios de distribución y para el computador de control de la planta.

- Control
- Aparatos eléctricos
- Visualización y funcionamiento

El contenedor ET alberga la fuente de alimentación central y la conexión de señales a los componentes de campo, el control de la planta y la visualización de la biodigestión, incluidos sus componentes de seguridad. El personal de operación maneja el Sistema de Control Distribuido (DCS por sus siglas en inglés) a través de la visualización de la biodigestión, los interruptores de seguridad de la puerta del fermentador y la monitorización del aire de la sala de CH₄.

La construcción compacta y la escasa distancia entre la pared trasera y los contenedores técnicos permiten reducir al mínimo la longitud de las tuberías y las canalizaciones.

Tabla 28: Especificaciones técnicas de los equipos de proceso.

ID	Elemento
Soplador de aire de alimentación del fermentador	
Cantidad	1
Lugar de instalación	Contenedor MT
Proveedor	Aerzener o equivalente
Tipo	Compresor de pistón rotativo
Capacidad	máx. 24,000 Pa, 460 - 1840 m ³ /h (Capacidad de aspiración)
Ventilador axial de pared para la ventilación a temperatura	
Cantidad	2
Lugar de instalación	Pared lateral Contenedor MT
Proveedor	WMB o equivalente
Tipo	Ventilador de pared axial
Capacidad	1000 - 8000 m ³ /h
Potencia del motor	0,29 - 0,37 kW
Accionamiento	230/400V, 50Hz
Ventilador de abstracción del fermentador	
Cantidad	1
Lugar de instalación	Contenedor MT
Proveedor	Karl Klein, Zenner o equivalente
Tipo	Ventilador centrífugo ex - protegido
Capacidad	Aproximadamente 1000-4.500 m ³ /h
Accionamiento	230/400V, 50Hz, Ex
Estación de aire comprimido	
Cantidad	2
Lugar de instalación	Contenedor MT
Proveedor	Keaser o equivalente
Tipo	Compresor de tornillo
Sobrepresión de funcionamiento	Máx. 11 bar
Cantidad suministrada	0.26 m ³ /h cada uno
Potencia del motor	4 kW cada uno
Depósito de aire comprimido	200 L cada uno

Fuente: Bekon, 2022.

7.2.1.6 Gasómetro.

Para el almacenamiento intermedio del CH₄ producido, se ha instalado un depósito de gas de doble membrana en el techo de los fermentadores. Este almacenamiento intermedio de gas ofrece la posibilidad de suministrar metano a la cogeneración/CHP de manera uniforme, independientemente del estado del proceso de los fermentadores. Por lo tanto, el almacenamiento de gas es la interfaz entre la producción de biogás y la utilización de este. El biogás procedente de los fermentadores y del tanque de percolación se almacena y homogeneiza en el tanque de almacenamiento de gas. gasómetro está formado por dos membranas. Una membrana interior para el almacenamiento de biogás y una membrana exterior para la protección contra la intemperie. La membrana exterior permanece permanentemente inflada con aire. La medición automática del nivel coordina el uso del gasómetro en el proceso.

Todos los componentes eléctricos del gasómetro están protegidos por Ex (Ex – protected).

El típico soplador de aire de apoyo y almacenamiento de gas, utilizado por BEKON, tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 29: Especificaciones técnica del soplador de soporte del gasómetro.

ID	Elemento
Proveedor	TECON GmbH o equivalente
Lugar de instalación	Techo del fermentador
Tipo	Almacenamiento de gas de doble membrana
Volumen de almacenamiento de gas V _{max}	Según requerido
Presión de funcionamiento	5 - 8 mbar
Soplador de soporte del gasómetro	
Cantidad	1
Lugar de instalación	Techo del fermentador
Proveedor	Tecon o equivalente
Tipo	Ventilador centrífugo ex - protegido
Poder de motor	0.6 kW

Fuente: Bekon, 2022.

Figura 69: Gasómetro de doble membrana con antorcha en el techo del fermentador (ejemplo).



Fuente: Bekon, 2022.

7.2.1.7 Antorcha de emergencia y de gas pobre.

La antorcha de emergencia y de gas pobre sirve para dos propósitos: la combustión de gas pobre durante el proceso de cierre de un fermentador y la combustión de biogás de emergencia, en caso de que la cogeneración/CHP no esté disponible.

Figura 70: Antorcha de gas pobre y de emergencia de biogás (ejemplo).



Fuente: Bekon, 2022.

Una antorcha de biogás típica para las plantas de biodigestión seca tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 30: Especificaciones técnicas de la antorcha de emergencia de biogás y gas pobre.

ID	Elemento
Proveedor	C-DEG o equivalente
Cantidad	1
Lugar de instalación	Techo del fermentador
Tipo	Quemador inyector, cámara de combustión, llama oculta
Altura	Aproximadamente 9 m; 10 m por encima de los cimientos del borde superior
Caudal, biogás	100 - 600 m ³ /h
Potencia	máxima
Encendido	directamente con el electrodo de encendido
Control de la llama	Ionización
Llama	Escondida
Temperatura. de llama	>1,000 °C (temperatura alta)
Tiempo de residencia	>0.3s

Fuente: Bekon, 2022.

7.2.1.8 Tratamiento del biogás a biometano.

El biometano se produce mediante el enriquecimiento del contenido de metano del biogás donde el proceso pasa por una serie etapas de pretratamiento (por ejemplo, secado, desulfuración y eliminación de otros componentes); por otro lado, se puede contar con técnicas para el enriquecimiento de metano y que se componen de separación por membranas, tecnologías de depuración, adsorción por cambio de presión o tratamiento criogénico.

El pretratamiento y la limpieza son necesarios para el procesamiento y el uso posteriores del biometano; en este sentido, la presencia de impurezas potenciales en el biogás crudo depende esencialmente de la materia prima utilizada y de la tecnología aplicada en el proceso de producción.

Las impurezas gaseosas en el biogás para pretratamiento pueden ser:

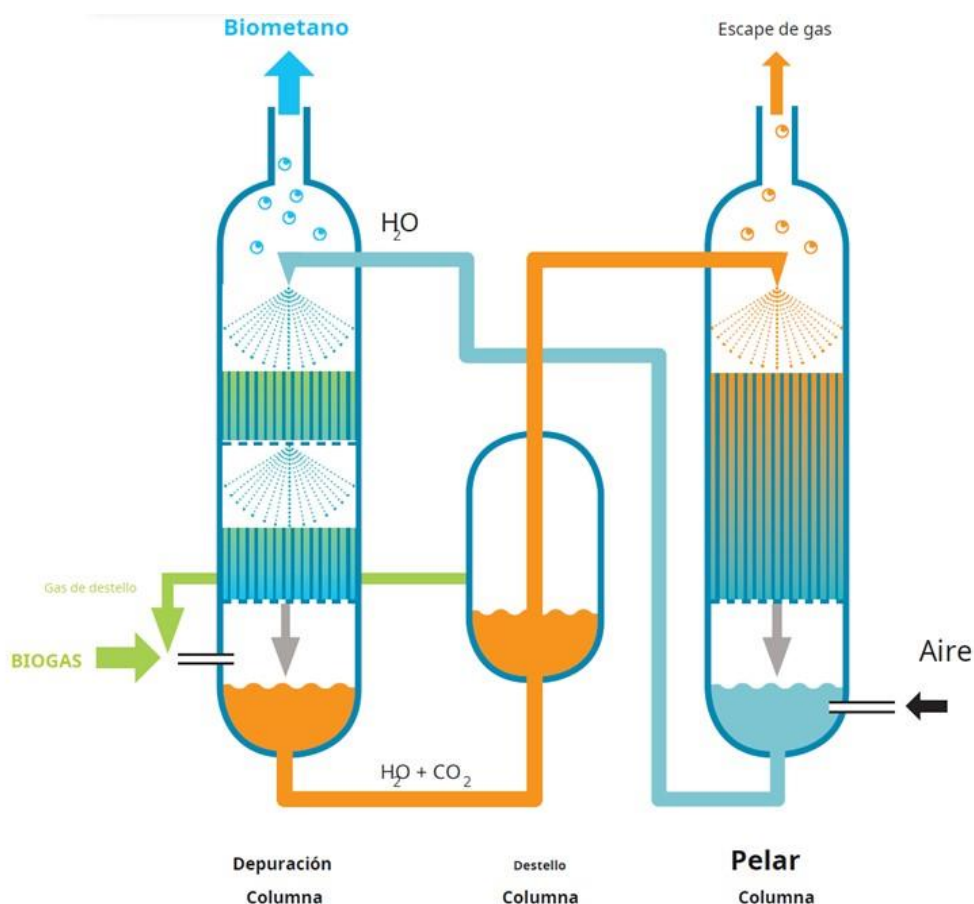
- Sulfuro de hidrógeno;
- Agua;
- Compuestos orgánicos de silicio (por ejemplo, siloxanos)
- Oxígeno;
- Amoníaco;
- Polvo, aceite y aerosoles

Dependiendo del contenido particular del biogás y de la red de hierro en el digestor; nacional y los requisitos de combustible en cuestión, es posible que también deban eliminarse otros gases.

El principal proceso involucrado en la conversión de biogás a biometano es la separación de CH₄ y CO₂ esto mediante una serie de tecnologías disponibles en el mercado y que se han utilizado y mejorado durante muchos años entre las que destacan las siguientes:

- i. Separación de membranas
- ii. Tecnologías de fregado (métodos de absorción);
- iii. Lavado de agua
- iv. Fregado físico
- v. Lavado químico
- vi. Adsorción por cambio de presión (PSA);
- vii. Tratamiento criogénico.

Figura 71: Esquema técnico de tecnologías de fregado.



Fuente: Bekon, 2022.

El uso de las tecnologías a emplear será determinado en función de las características del biogás resultante y de las capacidades de éstas, de tal forma que dicho tratamiento permita su utilización para la generación de biogás como sustituto de gas natural.

Finalmente, para tener el poder calorífico que solicitado por la normatividad nacional en la materia se requiere una concentración de biometano arriba de 98.6%.

Una vez se cuente con los requerimientos de contenido de metano y otros elementos, se dispondría de un potencial para utilizar el producto resultante; ya sea mediante su almacenamiento, inyección a red de gas natural o generación de energía eléctrica mediante la inclusión de un generador eléctrico CHP, como principales alternativas.

7.2.2 Secuencia de funcionamiento del fermentador.

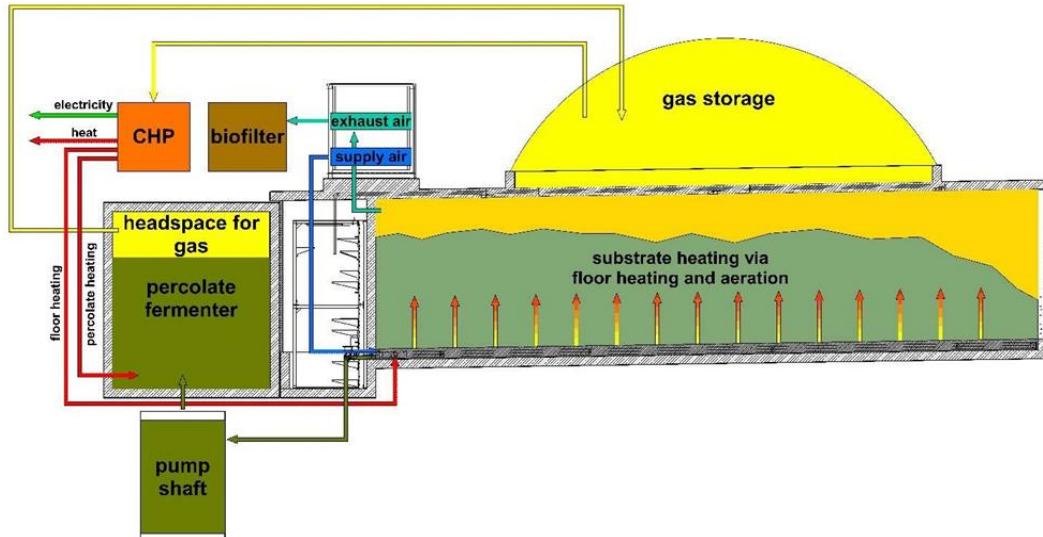
Además del llenado y vaciado del fermentador, el tratamiento de los residuos biológicos en los fermentadores se divide en tres fases, que se describen con más detalle a continuación:

7.2.2.1 Vaciado y llenado de un fermentador.

El digestato se retira del fermentador con una pala cargadora y luego se lleva a la fase de compostaje (si está disponible) o se elimina adecuadamente. Después de controlar y limpiar (si es necesario) todos los componentes de percolación, aireación y drenaje del interior del fermentador, se introduce el siguiente lote de material fresco en el fermentador, utilizando una pala cargadora.

Para optimizar la duración del proceso o el rendimiento de biogás, puede ser necesario y útil añadir aproximadamente un 10% del digestato al siguiente lote de biodigestión para su inoculación. Esto se aplica especialmente en los meses de invierno, cuando la experiencia demuestra que es necesario aumentar la activación inicial. Esta cantidad para la inoculación se añade uniformemente desde el último ciclo de descarga de un fermentador al material fresco directamente dentro del relleno con el cargador de ruedas. Al final del proceso de llenado, la rejilla de retención se coloca de nuevo en la entrada del fermentador y se cierra la puerta del fermentador.

Figura 72: Ilustración esquemática: vaciado y llenado de un fermentador.



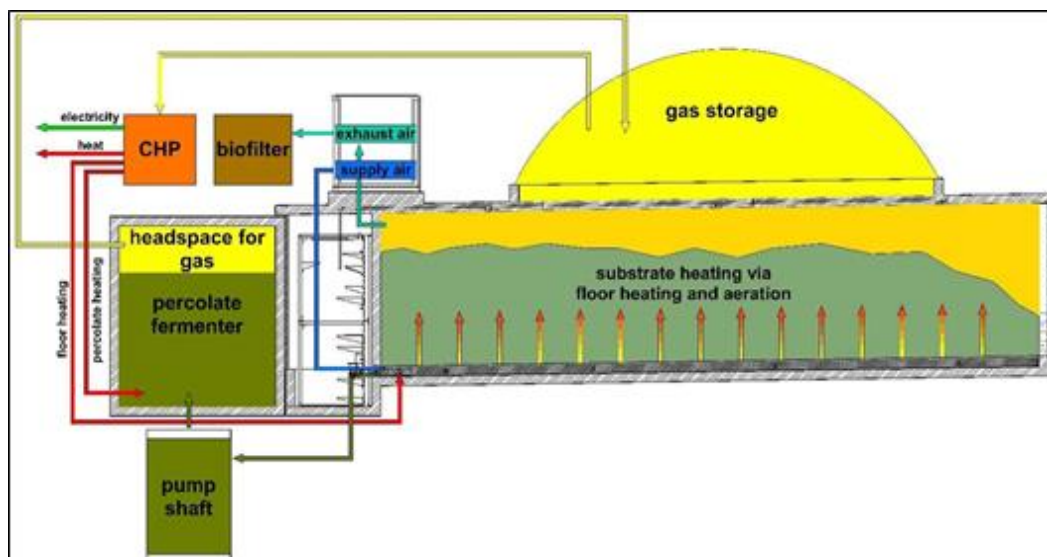
Fuente: Bekon, 2022.

7.2.2.2 Arranque de la operación.

Después de cargar los residuos biológicos en los fermentadores con una pala cargadora, se cierra y bloquea la puerta hermética del fermentador. La hermeticidad al gas de la puerta se garantiza mediante un sellado circunferencial de aire comprimido con control de presión. En las primeras 6-24 horas, el material se pretrata primero mediante aireación activa, utilizando 3 líneas de aireación en el suelo del fermentador. En esta fase, la temperatura de proceso termofílica

requerida de unos 50-55°C (o mesófila de 40- 45°C) se establece mediante el autocalentamiento aeróbico (actividad biológica). Este proceso se apoya en circuitos de calefacción de suelo en cada fermentador. La calefacción funciona con un nivel de temperatura correspondiente de 60-70°C. Durante el periodo de autocalentamiento aeróbico y el establecimiento de la temperatura de funcionamiento necesaria para la fermentación anaeróbica real, se inicia ya una digestión hidrolítica de la biomasa. El aire de salida enriquecido con CO₂ y sustancias olorosas, debido al proceso de descomposición aeróbica, es extraído y conducido al biofiltro para el tratamiento del aire de salida.

Figura 73: Ilustración esquemática: operación de puesta en marcha.



Fuente: Bekon, 2022.

7.2.2.3 Proceso de biodigestión.

El proceso de digestión anaeróbica en el interior de los fermentadores se lleva a cabo bajo temperaturas termófilas de 50-55°C o, con menor frecuencia, a temperaturas mesófilas de 40-45°C. El control de la temperatura se consigue mediante los circuitos de calefacción del suelo y la percolación con percolado precalentado. Los circuitos de calefacción se integran en el suelo de hormigón durante la fase de construcción. Así, no es necesario instalar ningún componente en el interior del fermentador. Con esta configuración, es posible un control óptimo de la temperatura dentro del fermentador.

El sustrato se fermenta anaeróbicamente sin ninguna otra mezcla o procesamiento durante todo el tiempo de retención. Dado que no se utilizan bombas, agitadores u otros dispositivos de mezcla y transporte, esta tecnología tiene una extraordinaria tolerancia a residuos o sustancias voluminosas o robustas en el sustrato. Por lo tanto, el esfuerzo requerido para la reparación y el mantenimiento de la planta es bastante bajo.

La configuración modular y el llenado alternativo de los fermentadores garantizan que la producción de gas sea uniforme. Para lograr esta uniformidad en la producción de gas, es necesario un mínimo de 4 fermentadores.

Con el inicio de la fase de biodigestión anaeróbica, se inicia la percolación del material. La percolación con percolado precalentado sirve para inocular el sustrato con biología anaeróbica y para humedecer el sustrato de manera uniforme. La temperatura del percolado es igual a la

temperatura del proceso. Al inicio del proceso de biodigestión, el aire de salida, todavía cargado con un alto contenido de CO_2 , se descarga temporalmente en el biofiltro (en caso de existir).

La hidrólisis comienza primero, permitiendo la formación de CO_2 . Los ácidos orgánicos formados en esta fase son convertidos en CO_2 y CH_4 por las bacterias formadoras de metano dentro del fermentador de percolado. Al cabo de unos días, las bacterias formadoras de metano también se establecen en el fermentador.

La mezcla de biogás resultante puede liberarse en el sistema de gas en una fase temprana, cuando el contenido de CH_4 todavía está aumentando, ya que todos los fermentadores funcionan en modo discontinuo con un desfase temporal entre ellos. La nivelación de la calidad del biogás se consigue mediante la mezcla en el tubo de recogida de biogás y en el espacio de gas del fermentador percolado.

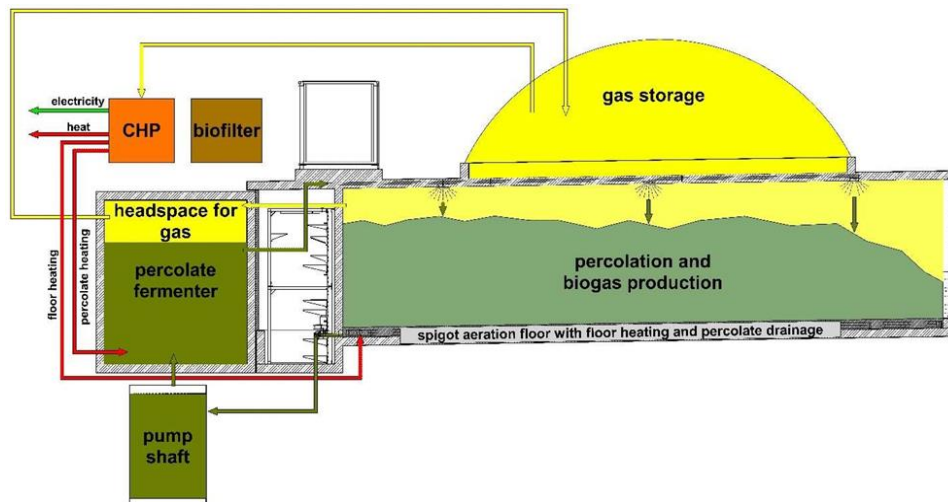
Un sistema de boquillas de percolación, integrado en el techo del fermentador, rocía el percolado de manera uniforme sobre el sustrato. La cantidad y la duración de la percolación se realizan según un esquema programable.

La circulación de biogás a través de los tubos spigots se utiliza para mejorar la penetrabilidad del material en el fermentador con percolado y para mejorar la descarga de biogás del material. El lavado múltiple y masivo crea canales que proporcionan un drenaje adicional.

La eficiencia del drenaje del percolado está garantizada gracias a los tubos spigots ubicados en el piso del fermentador y a paneles de drenajes perforados instalados lateralmente en la pared interior de los fermentadores. Este drenaje evita las zonas de acumulación de percolado y asegura un flujo uniforme de percolado a través de todo el material.

El proceso de biodigestión continúa durante 3 semanas. Al final de este periodo, el contenido orgánico disponible para la producción de biogás se ha degradado en su mayor parte.

Figura 74: Ilustración esquemática: biodigestión.



Fuente: Bekon, 2022.

7.2.2.4 Cierre de la operación.

Tras un tiempo de permanencia de unas 3 semanas, el proceso de biodigestión se interrumpe reduciendo primero la percolación 3 días antes de la operación de cierre. Un día antes de abrir el fermentador, se inicia una aireación intensiva del sustrato con aire fresco.

El proceso de purga del fermentador se divide en cuatro fases:

Fase 1: Desplazamiento del metano desde el espacio de gas del fermentador hasta la utilización del gas

En la primera fase, el aire fresco de suministro se introduce a presión en el espacio de gas del fermentador. La aireación a presión de alta potencia se garantiza mediante un soplador específico. Este proceso sirve para desplazar el metano de forma fiable y reducir al mínimo la nueva formación de metano. Al principio del proceso, el aire de salida del fermentador todavía tiene una alta concentración de metano. Por lo tanto, se puede llevar al almacenamiento de gas y se utiliza en la cogeneración/CHP o se mejora del gas en una fase posterior.

Fase 2: Desplazamiento del metano del espacio de gas del fermentador a la antorcha

Una vez que el espacio de la cabeza del fermentador por encima del sustrato se ha enjuagado parcialmente y el contenido de metano alcanza un valor umbral de aproximadamente el 20% en volumen, el sistema de control distribuido (DCS) cambia automáticamente el flujo de aire de escape del sistema de biogás a la antorcha de emergencia de biogás y de gas pobre. El aire de escape que contiene CH₄ se conduce de forma segura a través del sistema y se quema reduciendo las posibles emisiones. La concentración de metano en el aire de escape disminuye muy rápidamente debido a la falta de producción de metano, evitando así el riesgo de una mezcla explosiva.

Fase 3: Desplazamiento del aire de salida del espacio de gas del fermentador al biofiltro

La combustión de gas pobre se mantiene hasta que se logra una seguridad en la concentración de metano del 2% en volumen. A continuación, el sistema cambia a la trayectoria del aire de escape hacia el biofiltro. Una mezcla adicional de aire fresco y la supervisión de un contenido residual de metano < 40% LEL (límite inferior de protección contra explosiones) mediante un sensor de protección contra explosiones separado garantizan la protección contra explosiones a través de la vía de aire de escape.

Fase 4: Medición de la aprobación de las emisiones del fermentador antes de la apertura

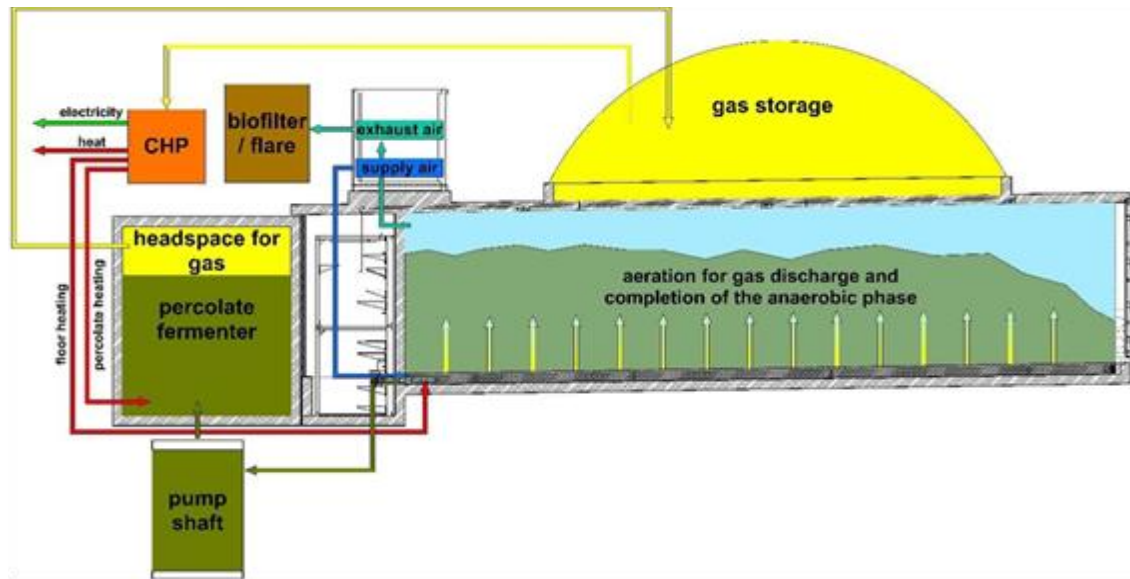
El tiempo de postratamiento reduce aún más el contenido de metano a menos del 1% en volumen. A continuación, se completa el proceso de apagado.

Durante todo el periodo de apagado, el análisis de gas multiplexado pasa de la medición secuencial de todos los fermentadores a la medición continua del fermentador que se va a apagar, supervisando así el proceso.

Esta medición es verificada por el personal mediante un dispositivo de medición portátil autónomo. Además, debe determinarse la concentración de CO₂. Solo si no se detectan concentraciones relevantes de metano y dióxido de carbono, la cadena de seguridad del DCS para el control de las puertas del fermentador (contacto de cierre, control de la presión) puede ser liberada manualmente por el personal de operación mediante un interruptor de llave.

La extracción de aire del fermentador continúa durante el proceso completo de vaciado y llenado del fermentador.

Figura 75: Ilustración esquemática: operación de apagado.

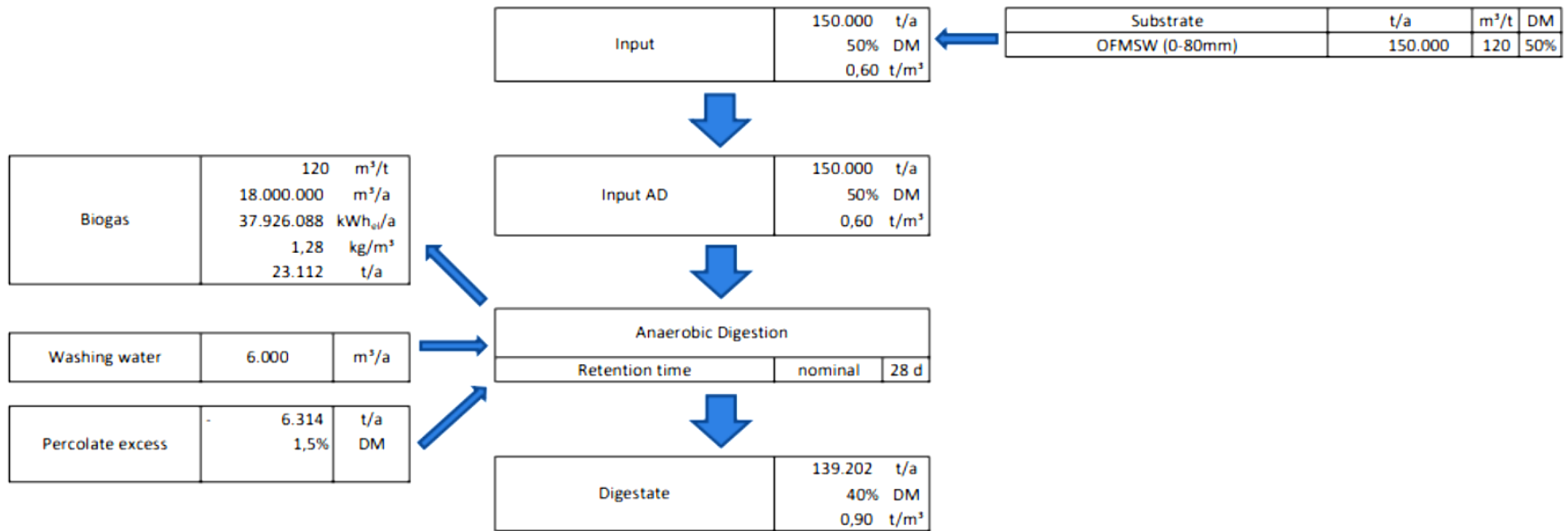


Fuente: Bekon, 2022.

7.2.2.5 Balance de masa.

Como parte de los documentos entregados en la cotización fue integrado un balance de masa preliminar el cual reporta un volumen de salida de digestato de 139.2 ton/año con una producción de biogás anual de 18 millones de metros cúbicos esto con un ingreso de 150,000 ton/año de materia orgánica.

Figura 76: Balance de masa preliminar.



Fuente: Bekon, 2022.

7.2.2.6 Presupuesto Bekon.

Respecto a los costos de inversión de BEKON, la empresa determino un costo desagregado de la siguiente forma:

- Ingeniería y maquinaria 13,635,000 €
- • Obra civil a cargo del cliente 8,700,000 €

Los costos establecidos en el segundo aparatado se basan en costos alemanes.

El precio incluye:

- Movimiento de tierras
- Posible mejora del suelo, reemplazo del suelo, cimentación de pilotes
- Instalaciones al aire libre (oficinas, caminos, estacionamientos, cercas, paisajismo e iluminación externa)
- Maquinas
- Estación transformadora, material de inoculación
- Conexión a la red (desarrollo) electricidad/agua/telecomunicaciones.
- Unidad purificadora de biogás
- Protección contra rayos
- Derecho de aduana

7.2.3 Sistema para el acondicionamiento de biogás.

La última fase del sistema de tratamiento contempla la integración de los elementos necesarios para lograr el acondicionamiento del biogás a bio metano a fin de ser utilizado como sustituto de gas natural, a esta fase de tratamiento se les denomina mejora (upgrading) de biogás a biometano.

Dicho proceso de tratamiento es descrito en los siguientes apartados y se sustentan en la descripción incorporada en la respuesta a una solicitud de cotización realizada para este proceso en específico y cuya respuesta corresponde a la empresa AB Energy.

Dentro de los sistemas propuestos se establece como primer elemento el sistema de filtración y secado de biogás para posteriormente instalar los módulos adicionales de filtración correspondientes la reducción del contenido de ácido sulfhídrico y compuestos orgánicos volátiles. Finalmente, el producto resultante pasa por un sistema de membranas con el objeto de separar el dióxido de carbono y agua restante a fin de alcanzar la calidad necesaria para realizar la compresión del bio metano y su posterior traslado o almacenamiento.

En este sentido el equipo está diseñado para la calidad de biogás de entrada siguiente y considerando un contenido de CH₄ entre 50% y 60%:

Tabla 31: Parámetros de calidad del biometano a la entrada del sistema.

Parámetro	mín.	Nominal	máx.	Unidad	Notas
Flujo de biogás	1,000			Nm ³ /h	/
Presión de biogás	0	5	50	mbargar	/
Temperatura del biogás	/	32	45	°C	/
Temperatura ambiente	-10	25	35	°C	/
CH4Contenido	50	55	60	%vol	/
CO2Contenido	equilibrio			%vol	Calculado como diferencia
H2S contenido	/	/	200* 1000**	ppmv	* Por largo periodo (operación continua) * como pico (menos de dos semanas)
Contenido de COV	/	/	50	mg/Nm ³	Equivalente de benceno
N2 Contenido	/	/	0.4	%vol	/
O2 Contenido	0	/	0.2	%vol	/
NH3 Contenido	/	/	5	mg/Nm ³	/

Fuente: AB Energy, 2022.

Por otro lado, los parámetros resultantes a la salida del sistema corresponden a los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 32: Parámetros de calidad del biometano a la salida del sistema.

Parámetro	Nominal	Unidad	Notas
Flujo de biometano	552	Nm ³ /hora	/
Presión de biometano	12	barg	. +/- 0,5 barg tolerance
Temperatura del biometano	30	°C	/
CH4Eficiencia de recuperación	>99	%vol	CH4en salida / CH4 en la entrada
CH4Contenido	-98.5	%vol	/
CO2Contenido	-1	%vol	/
O2Contenido	-0.2	%vol	/
H2S contenido	-5	mg/Sm ³	/
H2O contenido	Punto de rocío - 10 °C @ 85 barg		

Fuente: AB Energy, 2022.

Finalmente, se integran en la siguiente tabla los datos nominales respecto al balance de energía ofrecido por la presente solución.

Tabla 33: Datos nominales.

Datos	BIOCH4NGE	Unidad
Flujo de biogás	1,000	Nm ³

Datos	BIOCH4NGE	Unidad
Cargas parasitarias	300	kW
Consumo Específico*	0.3	kWh/Nm ³
Recuperación térmica**	150	kW
Flujo de biometano	552	Nm ³ /h
Compresor de 250 bar para cargas parásitas	105	kW
Consumo Específico biometano	0.19	kWh/Nm ³

Fuente: AB Energy, 2022.

A continuación, se presenta una descripción de los sistemas previamente descritos.

7.2.3.1 Sistema de pretratamiento.

Este primer sistema contempla los elementos necesarios para el pretratamiento del biogás y que constan de una prefiltración con cartuchos en tubo.

Posteriormente, se propone que el flujo pase por un sistema de secado a fin de retirar la humedad de este. Dicho proceso está compuesto por sistemas de intercambio de calor, enfriadores, condensado, drenaje y sistemas de aislamiento, conexiones y regulación mediante válvulas.

Como último paso se propone la instalación del sistema de compresión y control de biogás que permitirá el paso del flujo de biogás hacia la siguiente etapa de tratamiento.

7.2.3.2 Sistema de filtración compuestos orgánicos volátiles.

Este elemento corresponde a un sistema de pretratamiento y prefiltración de carbón activado para la eliminación de los compuestos orgánicos volátiles (COV) y sistema de drenaje de condensación.

El sistema contempla:

- Depósitos de carbón
- Válvulas de aislamiento para entrada, salida, derivación y flujo inverso
- Válvula manual para drenaje de condensado en el fondo de cada tanque
- Soporte y conexión de tuberías

Figura 77: Ilustración esquemática: sistema de acondicionamiento de biogás.



Fuente: AB Energy, 2022.

7.2.3.3 Sistema de mejoramiento por membranas.

La tecnología de membrana corresponde a un proceso de separación de metano del dióxido de carbono mediante la permeación utilizando polímeros de alto rendimiento. Mediante este proceso, también es retirada la humedad junto con el CO_2 . Este método se basa en el principio de que los gases se difunden a través de las membranas a diferentes velocidades.

Como ventajas en el uso de sistemas de membrana se enumeran las siguientes:

- Se requiere un número reducido de componentes mecánicos
- Existe una flexibilidad gracias a un sistema de membranas a base de multi etapas que permite regular la pureza del bio metano.
- El arranque del sistema se contempla casi instantáneo con un tiempo requerido para alcanzar condiciones estables de minutos.
- No se contempla el consumo de agentes químicos ni afluentes líquidos al sistema y cómo elemento resultante contempla una cantidad asociada al condensado generado por el compresor.

Por otro lado, el sistema incluye los siguientes elementos:

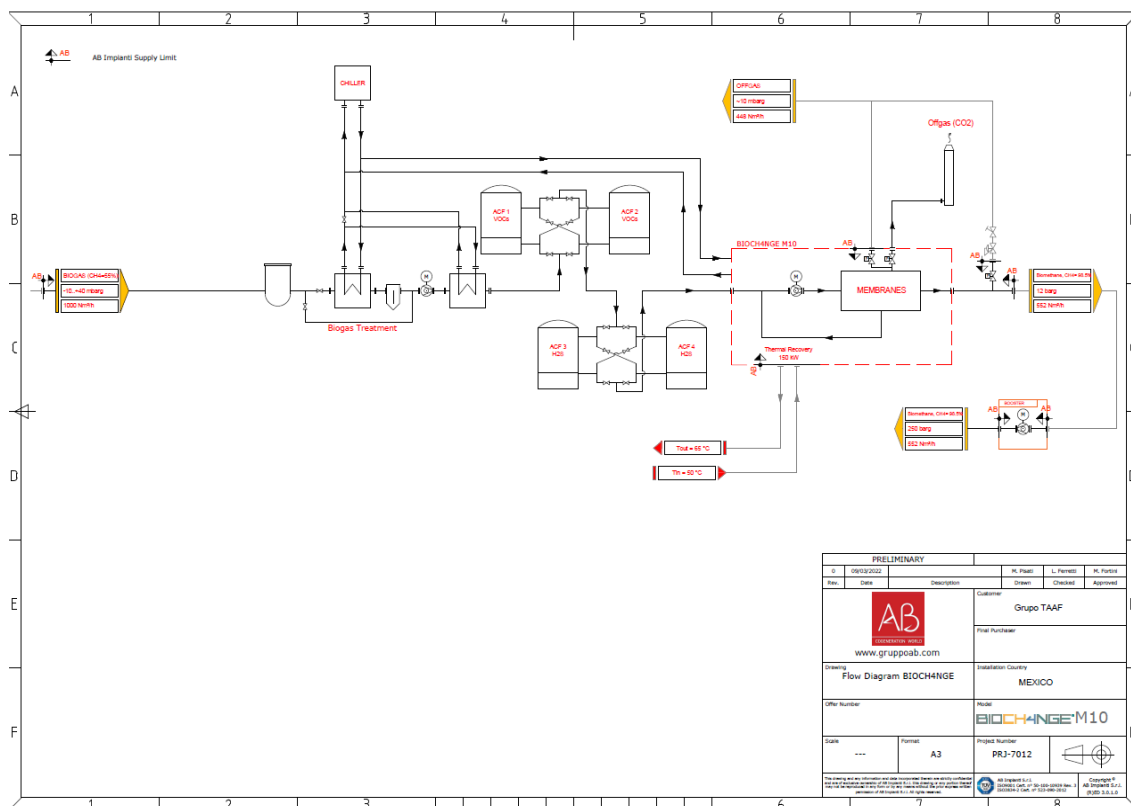
- Válvula automática de entrada de biogás de dos vías
- Sistema de compresión de biogás que incluye recuperación de calor, enfriador seco, intercambiador de carcasa y tubos para enfriamiento de biogás comprimido
- Filtros protectores aguas arriba de las membranas
- Membrana de múltiples etapas para la purificación de biogás

- Sistema de recirculación de permeado
- Manual Válvula de tres vías para recirculación de biometano
- Chimenea de ventilación
- Válvulas de instrumentación y control de procesos
- Analizadores continuos de biometano calidad y contaminantes
- Sistema de ventilación de la carcasa, equipado con precalentamiento del aire de entrada, destinado a mantener la temperatura de entrada en valores adecuados
- Compresor para generación de aire comprimido y correspondiente sistema de secado, requerido para la operación de los equipos de planta (válvulas neumáticas automáticas e instrumentos varios)

Finalmente, como último elemento considerado para el sistema se tiene un compresor que lleva la presión del producto resultante a un nivel en el que es factible su transporte eficiente o su almacenamiento adecuado.

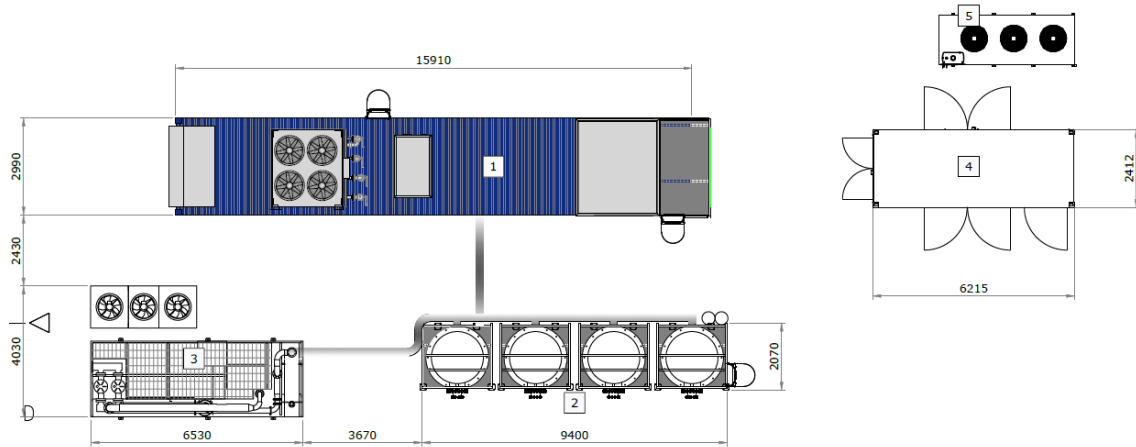
Por otro lado, se contempla la instalación de un sistema de análisis continuo que permite la revisión de niveles de calidad del biometano esto, mediante puntos de muestreo en diversos puntos del proceso.

Figura 78: Diagrama de flujo de acondicionamiento de biogás.



Fuente: AB Energy, 2022.

Figura 79: Arreglo con vista en planta del sistema de acondicionamiento de biogás.



Fuente: AB Energy, 2022.

7.2.3.4 Presupuesto AB Energy.

Como alcance se especifica que la oferta de suministro (la “Oferta de suministro”) emitido por AB Impianti Srl (“AB”), incluye la ingeniería, diseño, suministro, asistencia a la instalación, Puesta en Marcha y Prueba Final de una planta de conversión de biogás a biometano consistente en un sistema de pretratamiento de biogás, de 2xBioch4nge 10 M, y de las posibles opciones que se describen a continuación (el sistema de pretratamiento de biogás y el Bioch4nge, colectivamente el “Equipo”), como se describe mejor en las especificaciones técnicas de AB (el “Descripción técnica”).

El Equipo se instalará en Benito Juárez, Quintana Roo, México (el “Sitio”).

El suministro del Equipo será realizado por AB de conformidad con el “Acuerdo”, que incluye los siguientes documentos: (i) esta Oferta de Suministro (ii) los Términos y Condiciones Generales para la Venta de Equipos de AB (el “Términos y condiciones de Bioch4nge”), (iii) la Descripción Técnica, y (iv) todos los demás anexos de esta Oferta de Suministro.

El precio total que el Cliente deberá pagar a AB por el Equipo, cuyos componentes principales se indican en la siguiente tabla, es igual a:

Tabla 34: Presupuesto AB Energy.

Descripción del Equipo	Precio sin IVA (euros)
2 x BIOCH4NGE 10 M Sistema de pretratamiento de biogás	4,250,400.00 €
2 x Refuerzo Nr.01 250 bar	760,000.00 €
2 x Asistencia a la instalación y puesta en marcha	148,060.00 €
TOTAL	5,158,460.00 €

Fuente: AB Energy, 2022.

El precio incluye todos los bienes y servicios especificados en el Contrato, en las condiciones allí mencionadas, incluidas todas las actividades relacionadas con la Puesta en Servicio que se realizarán por el período, los viajes y el personal indicados en la Descripción Técnica.

El precio no incluye (i) ningún impuesto (incluidas las retenciones en origen, si las hubiere), aranceles y cualquier otro cargo aplicable en el País del Cliente y/o del Sitio, y (ii) cualquier costo relacionado con las garantías bancarias y/ o costos de cobertura de seguro, si los hubiere.

7.2.4 Descripción de datos de entrada para el modelo financiero.

Como parte de la determinación de los parámetros económicos necesarios para calcular los indicadores financieros se realizó un trabajo recopilatorio de diversas fuentes de información útiles y que van desde cotizaciones, consultas directas con proveedores, otros estudios realizados, consultas en la red y literatura especializada.

Cada uno de los siguientes apartados corresponde a la determinación de uno de los componentes necesarios para el desarrollo y cálculo de los indicadores financieros.

7.2.4.1 Balance de masa.

El balance de masa integra los datos de entrada de todo el proceso de tratamiento, en este sentido, el ingreso corresponde en su origen al material denominado MOR proveniente de la Planta de Separación del CIMIRS que asciende a 411 ton/día o 150,000 ton/año.

Por otro, se contemplaron una serie de factores para determinar de forma paramétrica las pérdidas por digestión anaerobia (29.62 ton/día), y por digestato (381.38 ton/día), dichos valores fueron obtenidos a partir de una cotización realizada a la empresa BEKON, dando como resultados, los siguientes:

Tabla 35: Desagregación de balance de masa.

Balance de Masa	Factor	Cantidad	Unidad
Ingreso (MOR Planta de Separación CIMIRS)	100%	411	ton/día
Pérdidas Digestión Anaerobia	7.21%	29.62	ton/día
Biometano		275,974	Nm ³ /día
Digestato	92.79%	381.38	ton/día

Fuente: AB Energy, 2022.

7.2.4.2 Consumo de energía.

El consumo de energía con base en los parámetros de ingreso de residuos orgánicos considerando las eficiencias planteadas previamente conllevan un consumo de 3,544 MWh/año de electricidad dicho valor se reporta en la siguiente tabla.

Tabla 36: Balance de energía.

Balance de Energía	Cantidad	Unidad
Consumo	3,544	MWh/año

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización Bekon, 2022.

7.2.4.3 Emisiones gases de efecto invernadero evitadas.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidas a la atmosfera que son evitadas con la implementación del proyecto corresponden primordialmente a las emisiones indirectas por quema de metano (para cualquiera de los usos considerados, tales como sustituto de gas natural vehicular y/o para cocinas/calderas en hoteles) y que ascienden a 1,691 tCO₂e al año.

Tabla 37: Emisiones de GEI evitadas.

Emisiones de GEI	Factor	Cantidad	Unidad
Emisión Indirecta por Quema de Metano	100%	1,691	tCO ₂ e

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización Bekon, 2022.

7.2.4.4 Determinación del CAPEX.

Las inversiones en bienes de capital o CAPEX esta categorizado por la obra civil y equipos fijos por un lado y por equipo móvil, embalajes y transporte; montaje, grúas y puesta en marcha; e impuestos y gastos de internación dichos elementos se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 38: CAPEX precio y factores en obra civil y equipos 1 de 2.

CAPEX Obra Civil y Equipos Fijos	Precio unidad (USD sin IVA)	% en las obras civiles	% en equipos	% de equipo nacionales
Metanización + Upgrading + Compresor	\$29,790,016.72	60%	40%	30%
Interconexión con el sistema eléctrico	\$2,271,722.36	35%	65%	30%
Automatización y sistema eléctrico	\$1,622,658.83	90%	10%	30%
Sistema de ventilación de escape, filtración de aire y control de emisiones atmosféricas	\$1,298,127.07	45%	55%	30%
Adquisición de terreno	\$3,273,535.26	0%	100%	100%
Ingeniería, documentación y gestión de proyecto	\$1,622,658.83	0%	100%	0%
Total	\$39,878,719.07			

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización de Bekon, 2022 y AB Energy, 2022.

Tabla 39: CAPEX precio y factores en obra civil y equipos 1 de 2.

CAPEX Obra Civil y Equipos Fijos	Inversión en obras civiles (USD sin IVA)	Inversión en equipos (USD sin IVA)	Inversión en equipo nacional (USD sin IVA)	Inversión en equipo importado (USD sin IVA)
Metanización + Upgrading + Compresor	\$17,874,010.03	\$11,916,006.69	\$3,574,802.01	\$8,341,204.68
Interconexión con el sistema eléctrico	\$795,102.83	\$1,476,619.54	\$442,985.86	\$1,033,633.68
Automatización y sistema eléctrico	\$1,460,392.95	\$162,265.88	\$48,679.76	\$113,586.12
Sistema de ventilación de escape, filtración de aire y control de emisiones atmosféricas	\$584,157.18	\$713,969.89	\$214,190.97	\$499,778.92
Adquisición de terreno	\$0	\$3,273,535.26	\$3,273,535.26	\$-
Ingeniería, documentación y gestión de proyecto	\$0-	\$1,622,658.83	\$-	\$1,622,658.83
Total	\$20,713,662.99	\$19,165,056.08	\$7,554,193.86	\$11,610,862.23

Fuente: Elaboración propia a partir de Cotización Bekon, 2022 y AB Energy, 2022.

En lo referente al equipo móvil se cuenta con tres equipos diferentes considerados para la operación, el primero corresponde al cargador frontal (con 4 unidades) con una capacidad de 3.8 m³ para las operaciones necesarias en cuanto a la carga del material al sistema de tratamiento,

su descarga, el acomodo y maniobras para el traslado a su zona de disposición. Por otro lado, se contempla el uso de contenedores metálicos de 5 y 2 metros cúbicos (4 y 8 unidades respectivamente).

Tabla 40: Equipo móvil considerado.

Equipo Móvil	Cantidad	Costo	Unidad de medida	Vida Útil Por Considerar
Cargador Frontal 3.8 m ³ capacidad	4	\$309,660.58	USD/unidad	Vida útil 10 años
Contenedores 5 m ³ (metálicos)	4	\$6,785.50	USD/unidad	Vida útil 5 años
Contenedores 1 m ³	8	\$4,464.25	USD/unidad	Vida útil 5 años

Fuente: Elaboración propia a partir de IDOM, Ingeniería de Detalle Xalapa, 2021 y consulta en la red.

Finalmente, se contempla tres componentes adicionales referentes al COPEX y que corresponden a embalaje y transporte, montaje, grúas; puesta en marcha e impuestos y gastos de internación.

Tabla 41: Otros elementos del CAPEX.

Otros Elementos del CAPEX	%	Costo	Unidad de medida	Ponderación Respecto al CAPEX
Embalaje y Transporte	3%	\$348,325.87	USD	Respecto al CAPEX en equipos importados
Montaje, Grúas y Puesta en Marcha	6%	\$1,149,903.37	USD	Respecto al CAPEX en Equipos
Impuestos y Gastos de Internación	3%	\$348,325.87	USD	Respecto al CAPEX en equipos importados
Permisos	1.5%	\$598,180.79	USD	Respecto al total CAPEX

Fuente: Elaboración propia a partir de Stadler Planta de Tratamiento Mecánico Proyecto 350 ton/día, 2020.

7.2.4.5 Determinación del OPEX.

En cuanto al OPEX entendido como el costo permanente para el funcionamiento de las instalaciones se cuenta con personal asociado a 5 tipos de puesto con un total de 20 integrantes del equipo operativo, costos de mantenimiento de obras civiles y equipo fijo, los insumos para el equipo móvil tales como el combustible, lubricante y, por último, el mantenimiento de los contenedores móviles.

Tabla 42: Montos asociados al OPEX.

OPEX	Cantidad	Costo	Unidad de medida	Horas/jornada	Unidad	Notas
Director de Planta	1	\$30,000	USD/año	8	h/día	Bruto
Administrativo	1	\$12,000	USD/año	8	h/día	Bruto
Técnico Mantenimiento Electromecánico	4	\$18,000	USD/año	16	h/día	Bruto

OPEX	Cantidad	Costo	Unidad de medida	Horas/jornada	Unidad	Notas
Operario Biodigestión	6	\$18,000	USD/año	24	h/día	Bruto
Operador Cargador Frontal	8	\$9,000	USD/año	16	h/día	Bruto
Mantenimiento Obras Civiles y Equipo Fijo	1%	\$398,787	USD/año	NA		Excluyendo el CHP
Combustible	1	\$19,403	USD/año	Consumo Equipos Móviles (50% tiempo efectivo)		\$24.37 MXN/litro
Lubricantes y otros	5%	\$970	USD/año	Respecto al Costo Combustibles		
Mantenimiento Contenedores	7%	\$787	USD/año	CAPEX Contenedores		
Mantenimiento Equipos Móviles	5%	\$61,932	USD/año	CAPEX Cargador Frontal		

Fuente: Elaboración propia a partir de Bekon Cotización, 2022 y IDOM, Ingeniería de Detalle Xalapa, 2021.

7.2.4.6 Determinación de ingresos.

Como ultimo parámetro considerado para establecer los indicadores financieros se tiene la determinación de los ingresos por la venta del excedente anual de producción de energía en pesos por kilowatt hora, además del material resultante denominado “mejorador de suelo” como subproducto resultante en dólares por tonelada y por último el precio del carbono por ahorro de emisiones medido en dólares por tonelada de dióxido de carbono evitada.

Tabla 43: Determinación de ingresos globales.

Ingresos	Monto	Unidad de medida
Biometano	\$5.03	USD/MMBTU
Tasa por tratamiento de RS Orgánicos	\$46.78	USD/ton
Precio del Carbono	\$25.83	USD/tCO ₂ e

Fuente: Elaboración propia a partir de CRE, Índices de Referencia de Precios de Gas Natural <https://www.cre.gob.mx/IPGN/> y CEPAL, El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina, 2019: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>

8 Preparación de flujo de caja y determinación de indicadores financieros.

8.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

8.1.1 Evaluación financiera.

8.1.1.1 Metodología empleada.

La evaluación financiera, tiene como finalidad conocer la rentabilidad del proyecto desde la perspectiva privada, para lo cual se analizan las interrelaciones entre la inversión, los costos operacionales y los ingresos, así como la disponibilidad de financiamiento externo vía fondos subvencionados, por lo que se considera como un proyecto puro, es decir en ausencia de préstamos o valores que implique el repago, por lo que los costos e ingresos corresponden exclusivamente a los productos de este.

En el caso particular del proyecto de generación de energía renovable para territorio insular, cuya localización identificada es el municipio de Cozumel, Estado de Quintana Roo; se realiza la evaluación financiera como referencia ya que se estima como un proyecto a pequeña escala, por lo que se considera puede ser financiado desde el sector público para mitigar los riesgos asociados a la reforma eléctrica.

Por lo que se parte de las premisas siguientes:

- Se estima un periodo de 15 años de vida útil del proyecto.
- Todos los valores son expresados en dólares corrientes al mes de marzo 2022.
- Se incluyen los pagos correspondientes a impuestos y permisos municipales, estatales, federales.
- Se considera un aporte en especie o en calidad de donación del 50% del valor de la inversión fija y diferida.
- Se estima un capital de trabajo para cubrir operaciones de 3 meses
- Y un valor de imprevistos de CAPEX y OPEX del 5% para el año 0 y 1 respectivamente.

8.1.1.2 Inversión total.

Basado en los datos de determinación de CAPEX, se considera una inversión inicial de \$6.3 millones de USD, y de \$6.7 millones de USD para la totalidad del proyecto considerando la reinversión en equipo móvil, por vencimiento de vida útil de estos, como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 44: Determinación de la inversión total del proyecto.

Ítem	Valores en millones de USD	Porcentaje
Inversión fija	\$4.987	74.1%
Terreno, obra civil y equipo fijo	\$4.666	69.3%
Equipo móvil	\$0.321	4.8%
Inversión diferida	\$0.556	8.3%

Ítem	Valores en millones de USD	Porcentaje
Sub Total inversión inicial	\$5.543	82.4%
Capital de trabajo (3 meses de operaciones)	\$0.103	1.5%
Impuestos (IVA y ISABI)	\$0.433	6.4%
Imprevistos 5% de la inversión fija	\$0.264	3.9%
Total, Inversión año 0	\$6.344	94.3%
Inversión por reposición de equipo móvil, para mantenimiento de la vigencia de la inversión	\$0.385	5.7%
Inversión total del proyecto	\$6.729	100.0%

Fuente: elaboración propia a partir de Cotización Methanum, 2019.

Cabe señalar que, para efectos fiscales, se considera como inversión: la adquisición del terreno, la obra civil, el equipo fijo y móvil, así como los impuestos sobre la adquisición de bienes inmuebles e impuestos a la importación²¹; valores que en su conjunto ascienden a \$5.1 millones de USD.

8.1.1.3 Costos totales.

Basado en los datos OPEX previamente indicados, se efectúa la proyección de costos totales a un plazo de 15 años, considerando la incorporación del factor de salario real en las remuneraciones del equipo técnico y administrativo previsto, los costos de mantenimiento a precios de mercado y el 100% de la depreciación de maquinaria y equipo, así como amortización de la inversión diferida en el año 1 de operaciones. Esto último en consideración del artículo 34 de la Ley del impuesto sobre la renta, numeral XIII que indica que son deducibles “100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente. (Ley del Impuesto sobre la Renta, 2021/Última reforma publicada DOF 12-11-2021, p. 59); así como, la estimación de un 5% de costos imprevistos respecto a costos fijos y variables, sin depreciación y amortización.

Tabla 45: Determinación de la inversión total del proyecto.

Ítem	Costos año 1 (millones de USD)	Costos totales 15 años (millones de USD)	Porcentaje
Costos fijos	\$2.282	\$5.503	79.1%
Recurso humano	\$0.150	\$2.250	32.4%
Costo de mantenimiento	\$0.056	\$0.845	12.1%
Depreciación y amortización	\$2.076	\$2.408	34.6%
Costos variables	\$0.089	\$1.333	19.2%

²¹ de acuerdo con la Ley del Impuesto sobre la Renta, 2021, última reforma publicada DOF 12-11-2021, p. 57

Ítem	Costos año 1 (millones de USD)	Costos totales 15 años (millones de USD)	Porcentaje
Imprevistos 5% de los costos fijos y variables sin considerar depreciación y amortización)	\$0.119	\$0.119	1.7%
Total de costos	\$2.490	\$6.954	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.4 Ingresos.

A su vez, se efectuó la proyección de los ingresos, los cuales están compuestos por la venta de composta, venta de energía y cobro por tratamiento de fracción de residuos orgánicos, proveniente de hoteles, clubes de playa y restaurantes. Cuyas cantidades provienen del estudio técnico antes indicado y los precios fueron determinados bajo los siguientes aspectos:

- Precio de venta de composta, basado en un análisis de productos similares disponibles en el mercado.
- Precio de la energía se considera el precio marginal local promedio anual para el año 2021 (Iniciativa Climática de México, 2022)
- Y para la tarifa de recepción de la fracción orgánica, se considera la tarifa de referencia 2019 cobrada por la empresa concesionaria en el relleno sanitario.

Tabla 46: Determinación de la inversión total del proyecto.

Ítem	Ingreso año 1	Ingresos totales 15 años	Porcentaje
Cobro de tarifa por tratamiento de residuos orgánicos	\$0.147	\$2.211	17.0%
Producción de Energía	\$0.182	\$2.723	21.0%
Venta de Composta	\$0.537	\$8.055	62.0%
Total	\$0.866	\$12.989	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.5 Indicadores financieros.

Luego de la estimación de los costos de inversión, operaciones, e ingresos, se procede a realizar el flujo financiero antes de impuestos, obteniendo resultados positivos a partir del año 2, por lo que se calcula el pago del impuesto sobre la renta del 30%, por lo que el proyecto contribuirá a las arcas nacionales en \$2.2 millones de USD. Seguidamente se eliminan los costos virtuales de depreciación y amortización a fin de traer a valores presente los flujos, empleado una tasa de descuento del 10% (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2015), obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 47: Determinación de la inversión total del proyecto.

Indicadores financieros	
VAN-Valor actual neto	USD 530,567
TIR- Tasa interna de retorno	12.52%
R-B/C Relación beneficio costo	0.8292
VAB- Valor actual de los beneficios	USD 6,586,418
VAC- Valor actual de los costos	USD 7,943,042
Periodo de recuperación	12 años 7 meses

Fuente: elaboración propia.

Resultados positivos para el proyecto, ya que al traer a valores presentes los flujos de efectivo, estos permiten recuperar la inversión y presentan un VAN > 0; a su vez la Tasa interna de retorno que el proyecto brindará es mayor a la tasa de descuento empleada TIR 12.5% > TD 10%; no obstante se obtienen una R B/C de 0.8 que indica que los costos actualizados son mayores a los ingresos actualizados, debida que el precio unitario por venta de energía limpia a valores presente es de \$329.68 USD/MWh para el proyecto, el cual es inferior al precio marginal local autorizado de \$113 USD/MWh para el año de referencia 2021.

8.1.1.6 Análisis de sensibilidad.

Con el objeto de conocer el impacto en los indicadores financieros del proyecto, ante el cambio en las principales variables del este, se efectúa matriz de sensibilidad bidimensional y multidimensional que permite determinar cuál sería la rentabilidad o no del proyecto.

8.1.1.6.1 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de fracción orgánicos de residuos sólidos urbanos y precio de venta de la composta.

Bajo el supuesto de que se presentaran variaciones en las cantidades de residuos orgánicos recibidos de los hoteles, clubes de playa y restaurantes y cambios en los precios de venta de composta, la tasa interna de retorno y la relación beneficio costo indican que: el proyecto presenta una TIR > TD, cuando el precio de la composta es superior a \$200 USD/ton y se recibe al menos el 80% de la FORSU prevista (17.6 Ton/día). Y que es necesario que los precios sean mayor o igual a \$250 USD, y que se reciba al menos el 95% de los residuos para que la relación beneficio costos sea mayor a la unidad.

Tabla 48: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.

Análisis de sensibilidad	Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)					
		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
TIR 12.52%						
Variación en el precio de la venta de composta expresado en USD/ton	USD -					
	USD 50.00	-11.5%	-9.2%	-7.3%	-5.6%	-4.0%
	USD 100.00	-1.7%	0.0%	1.6%	3.0%	4.4%

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día,				
		Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
TIR 12.52%		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
	USD 150.00	4.7%	6.4%	7.9%	9.5%	10.9%
	USD 163.72	6.2%	7.9%	9.5%	11.0%	12.5%
	USD 200.00	10.0%	11.7%	13.4%	15.0%	16.6%
	USD 250.00	14.6%	16.4%	18.3%	20.0%	21.8%
	USD 300.00	18.9%	20.9%	22.9%	24.8%	26.7%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 49: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día,				
		Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
R B/C 0.8292		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
Variación en el precio de la venta de composta expresado en USD/ton	USD -	0.2537	0.2691	0.2844	0.2997	0.3150
	USD 50.00	0.3801	0.4032	0.4262	0.4492	0.4720
	USD 100.00	0.5066	0.5374	0.5680	0.5986	0.6291
	USD 150.00	0.6331	0.6715	0.7098	0.7480	0.7861
	USD 163.72	0.6678	0.7083	0.7487	0.7890	0.8292
	USD 200.00	0.7595	0.8057	0.8516	0.8975	0.9431
	USD 250.00	0.8860	0.9398	0.9935	1.0469	1.1002
	USD 300.00	1.0125	1.0740	1.1353	1.1963	1.2572

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.6.2 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de fracción orgánicos de residuos sólidos urbanos y precio marginal local de energía eléctrica.

Respecto a los cambios en el precio de la energía que son regulados por la Secretaría de Energía, a nivel referencial, se efectuó una sensibilidad con variaciones del 50% del precio, indicando el grado de sensibilidad de la TIR y de la R B/C, como se muestra en las tablas a continuación.

Tabla 50: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
TIR 12.52%		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
Variación en precio marginal local en USD/MWh	\$ -	-0.5%	1.2%	2.7%	4.2%	5.6%
	\$ 113.00	6.2%	7.9%	9.5%	11.0%	12.5%
	\$ 169.50	9.1%	10.8%	12.5%	14.1%	15.6%
	\$ 254.25	13.1%	14.9%	16.6%	18.3%	20.0%
	\$ 381.38	18.5%	20.5%	22.4%	24.4%	26.2%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 51: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y precio de venta de composta.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
R B/C 0.8292		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
Variación en precio marginal local en USD/MWh	\$ -	0.5278	0.5599	0.5918	0.6237	0.6554
	\$ 113.00	0.6678	0.7083	0.7488	0.7890	0.8292
	\$ 169.50	0.7378	0.7826	0.8272	0.8717	0.9161
	\$ 254.25	0.8427	0.8939	0.9449	0.9958	1.0465
	\$ 381.38	1.0002	1.0609	1.1215	1.1818	1.2420

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.6.3 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de tratamiento de fracción orgánicos de residuos sólidos urbanos y la tarifa por tratamiento.

Ante cambio en la tarifa por tratamiento de residuos orgánicos, el proyecto es rentable con tarifa de \$13.77USD y cantidades 22 ton/día, sin embargo, su relación beneficio costos no alcanza la unidad si esta se aumentara en un 100%.

Tabla 52: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y tarifa recepción y tratamiento de FORSU.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
TIR 12.52%		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
Variación en tarifa por tratamiento de FORSU en USD/ton	\$ -	0.9%	2.6%	4.1%	5.6%	7.0%
	\$ 9.18	3.7%	5.4%	6.9%	8.4%	9.9%
	\$ 13.77	5.0%	6.7%	8.2%	9.7%	11.2%
	\$ 18.36	6.2%	7.9%	9.5%	11.0%	12.5%
	\$ 27.54	8.6%	10.3%	11.9%	13.5%	15.0%

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
TIR 12.52%		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
	\$ 36.72	10.8%	12.5%	14.2%	15.9%	17.5%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 53: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y tarifa recepción y tratamiento de FORSU.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
R B/C 0.8292		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
Variación en tarifa por tratamiento de FORSU en USD/ton	-	0.5541	0.5877	0.6213	0.6547	0.6880
	\$ 9.18	0.6109	0.6480	0.6850	0.7219	0.7586
	\$ 13.77	0.6394	0.6782	0.7169	0.7555	0.7939
	\$ 18.36	0.6678	0.7083	0.7488	0.7890	0.8292
	\$ 27.54	0.7246	0.7686	0.8125	0.8562	0.8998
	\$ 36.72	0.7815	0.8289	0.8762	0.9234	0.9704

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.6.4 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de tratamiento de fracción orgánicos de residuos sólidos urbanos y porcentajes de recursos subvencionables para el proyecto.

Finalmente, respecto al análisis bidimensional se estimó las rentabilidades de este, bajo el supuesto de que se gestionen fondos subvencionales para el proyecto, presentado una relación positiva al incrementar los porcentajes de donación posible, siempre y cuando estos superen el 50% de los montos de inversión fija y móvil.

Tabla 54: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y % de donación/subsidio a la inversión fija.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
TIR 12.52%		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
% de donación/subsidio	0%	-1.5%	-0.2%	1.0%	2.1%	3.2%
	10%	-0.4%	0.9%	2.2%	3.4%	4.5%
	20%	0.9%	2.3%	3.6%	4.8%	6.0%
	30%	2.4%	3.8%	5.2%	6.5%	7.8%
	40%	4.1%	5.7%	7.1%	8.5%	9.9%
	50%	6.2%	7.9%	9.5%	11.0%	12.5%
	60%	8.9%	10.8%	12.5%	14.2%	15.9%
	70%	12.6%	14.6%	16.6%	18.6%	20.5%
80%	17.8%	20.3%	22.7%	25.0%	27.3%	

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
TIR 12.52%		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
	90%	26.5%	29.7%	32.8%	35.9%	39.0%
	100%	45.2%	50.2%	55.2%	60.2%	65.1%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 55: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades recibidas y % de donación/subsidio a la inversión fija.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día, Ingreso (FORSU Hoteles, Clubes de Playa y Restaurantes)				
R B/C 0.8292		17.6	18.7	19.8	20.9	22.0
Variación en tarifa por tratamiento de FORSU en USD/ton	0%	0.4942	0.5244	0.5546	0.5847	0.6147
	10%	0.5213	0.5532	0.5849	0.6166	0.6483
	20%	0.5515	0.5852	0.6188	0.6523	0.6857
	30%	0.5855	0.6212	0.6568	0.6923	0.7277
	40%	0.6239	0.6619	0.6998	0.7375	0.7751
	50%	0.6678	0.7083	0.7488	0.7890	0.8292
	60%	0.7182	0.7618	0.8051	0.8483	0.8914
	70%	0.7769	0.8239	0.8707	0.9173	0.9637
	80%	0.8461	0.8971	0.9478	0.9984	1.0487
	90%	0.9287	0.9845	1.0400	1.0953	1.1503
	100%	1.0293	1.0908	1.1520	1.2129	1.2735

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.6.5 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de tratamiento de fracción orgánicos de residuos sólidos urbanos y porcentajes de recursos subvencionables para el proyecto.

También, ha sido realizado un análisis de escenario multidimensional, a fin de conocer cuál sería el comportamiento de los indicadores financieros, si se presentasen cambios en los precios de los productos del proyecto de forma simultánea, manteniendo constantes todos los demás factores (*ceteris paribus*²²), por lo que la tabla siguiente presenta los resultados actuales, un escenario pesimista que indica la baja en todos los precios y la no obtención de fondos de subsidio para la inversión, dando como resultados no favorables y un escenario optimista en el cual se incrementa los precios en un 50% y la obtención de la totalidad de los fondos para la inversión, lo que hace que el proyecto sea favorable para el municipio.

Tabla 56: Análisis de sensibilidad de la R B/C ante cambios en cantidades recibidas y tarifa recepción y tratamiento de FORSU.

²² Es una locución latina que significa literalmente «Siendo el resto de las cosas iguales»

Escenario	Valores actuales:	Pesimista	Optimista
Valores cambiantes:			
Precio composta	\$163.72	\$100.00	\$200.00
Precio energía eléctrica	\$113.00	\$0	\$169.50
Tarifa tratamiento FORSU	\$18.36	\$9.18	\$27.54
% Subvención	50%	0%	100%
Resultado:			
VAN	\$530,567	\$-5,771,645	\$5,457,903
TIR	12.52%	-15.89%	99.19%
R B/C	0.8292	0.2852	1.6904

Fuente: elaboración propia.

8.1.2 Evaluación económica y social.

8.1.2.1 Metodología empleada.

La evaluación social de proyectos consiste en comparar los beneficios con los costos que dicho proyecto implica para el país; es decir, consiste en determinar el efecto que la ejecución del proyecto tendrá sobre el bienestar de la sociedad. Para lo cual se realizan los pasos siguientes:

- Ajustes por eliminación de las transferencias netas, que no tienen un efecto real sobre la economía tales como impuestos, subsidios, beneficios sociales a los empleados, depreciación y amortización.
- Homogeneidad de los costos e ingresos, expresados a valores de serie anual, referidos al último periodo fiscal reportado 2021, conversión de costos e ingresos a precios sociales, para los bienes comerciables y no comerciales (bienes domésticos)
- Incorporación de beneficios ambientales por GEI evitados por la quema de metano, emisiones evitadas por sustitución de electricidad del Sistema Eléctrico Nacional, y reducción del volumen de residuos que no llego al relleno sanitario, que permite la ampliación vida útil de este.
- Conversión de costos e ingresos a valores presenten empleado la tasa social de descuento autorizada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) del 10%. (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2015)

8.1.2.2 Cálculo de factores de conversión de precios de mercado a precios sociales.²³

8.1.2.2.1 Precio de cuenta de la mano de obra.

A fin de determinar el precio social de la mano de obra, esta se divide en mano de obra calificada y no calificada, ultima que se determina en función de su capacidad de negociación en el mercado

²³ Este es expresado en moneda dólar, no se realiza el análisis del precio social de la divisa; como determinante del costo que representa asignar una unidad monetaria extranjera a una inversión determinada.

laboral y que la remuneración base es regulada por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS).

- Precio cuenta de mano de obra calificada (PCMOC), se procede a eliminar las transferencias sociales, es decir el factor de salario real correspondiente a 1.7 para el Estado de Quintana Roo.
- Precio cuenta mano de obra NO calificada (PCMONC), para ello se identifican salario mínimo nacional, costos de oportunidad de la mano de obra no calificada en el Estado de Quintana Roo y el salario del mercado ofrecido por el proyecto, al día en pesos mexicanos, según fórmula siguiente:

$$PCMONC = \frac{PSMONC(\text{salario mínimo} + \text{costo de oportunidad})}{\text{Precio de mercado (Salario proyecto)}}$$

Donde:

PCMONC: Precio cuenta mano de obra NO calificada

PSMONC: Precio social de la mano de obra NO calificada

$$PCMONC = \frac{PSMONC(141.70 + 216.46)}{\text{Precio de mercado (833.50)}} = 0.4297$$

Fuente: (Maldonado, 2022; Secretaría del trabajo y previsión social, Diciembre, 2020)

Al obtener un valor por debajo de la unidad, nos indica que los costos sociales del proyecto son menores a los costos privados, ya que el proyecto pagará salarios por encima del costo de oportunidad de la mano de obra, haciéndolo altamente competitivo en el mercado laboral.

8.1.2.2.2 Factor de corrección estándar.

Para el caso de los precios sociales de los insumos utilizados por el proyecto, se emplea el factor de corrección estándar, obtenido de la relación de los precios frontera y precios internos de los bienes y servicios. Que se representa teóricamente como un promedio ponderado de los factores del conjunto de todos los bienes comercializables, siendo su fórmula:

$$FCS = \frac{(M + X)}{(M + X + Tx)}$$

Donde:

FCS: Factor de corrección estándar

M: valor total de las importaciones en un año

X: valor total de las exportaciones en un año

Tx: Ingresos por recaudación aduanera

$$FCS = \frac{(505,716 + 494,224) \text{ en millones de USD}}{(505,716 + 494,224 + 49,500) \text{ en millones de USD}} = 0.9528$$

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022)

8.1.2.3 Inversión precios sociales.

Se convierte a precios sociales, por medio de la eliminación de las transferencias netas, y aplicaciones de los factores de conversión siendo esta:

Tabla 57: Determinación de la inversión total del proyecto a precios sociales.

Ítem	Valores en millones de dólares	Porcentaje
Inversión fija	\$4.509	85.8%
Terreno, obra civil y equipo fijo	\$4.187	79.6%
Equipo móvil	\$0.322	6.1%
Inversión diferida	0.362	6.9%
Total, Inversión año 0	4.871	92.7%
Inversión por reposición de equipo móvil, para mantenimiento de la vigencia de la inversión	0.386	7.3%
Inversión total del proyecto	5.257	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.1.2.4 Costos totales a precios sociales.

Así mismo, se realiza la conversión a precios sociales de los costos por remuneración de mano de obra calificada y no calificado, así como los costos de mantenimiento e insumos necesarios para la producción de bienes y servicios. Obteniendo los costos a precios sociales siguientes:

Tabla 58: Determinación de los costos de operación del proyecto (valores en millones de dólares).

Ítem	Costos año 1	Costos totales 15 años	Porcentaje
Costos fijos	\$0.1183	\$1.7739	56.89%
Recurso humano	\$0.0586	\$0.8785	28.17%
Costo de mantenimiento	\$0.0597	\$0.8954	28.72%
Costos variables	\$0.0896	\$1.3442	43.11%
Total, costos	\$0.2079	\$3.1181	100.00%

Fuente: elaboración propia.

8.1.2.5 Beneficios sociales.

Para el análisis de los beneficios sociales, se incorporación de beneficios ambientales por GEI evitados por la quema de metano, emisiones evitadas por sustitución de electricidad del Sistema

Eléctrico Nacional, y reducción del volumen de residuos que no llego al relleno sanitario, que permite la ampliación vida útil de este.

Tabla 59: Determinación de los beneficios económicos (valores en millones de dólares).

Ítem	Ingreso año 1	Ingresos totales 15 años	Porcentaje
Cobro de tarifa por tratamiento de residuos orgánicos	\$0.1554	\$2.3308	\$11.8%
Producción de Energía	\$0.1913	\$2.8696	\$14.6%
Venta de Composta	\$0.5660	\$8.4905	\$43.1%
Emisión Directa por Quema de Metano	\$0.2270	\$3.4043	\$17.3%
Emisión por Sustitución de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional	\$0.0185	\$0.2771	\$1.4%
Volumen de residuos que no llego al relleno sanitario (amplia vida útil de este)	\$0.1554	\$2.3308	\$11.8%
Total	\$1.3135	19.7029	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.1.2.6 Indicadores costo – beneficio social.

Se descuentan los flujos económicos a la tasa social de descuento del 10%, obteniéndose valores positivos para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto con la puesta en marcha del proyecto, ya que los beneficios reportados son mayores que los costos (RB/C 1.52). así como la TIRS 20.94% > TSD 10%;

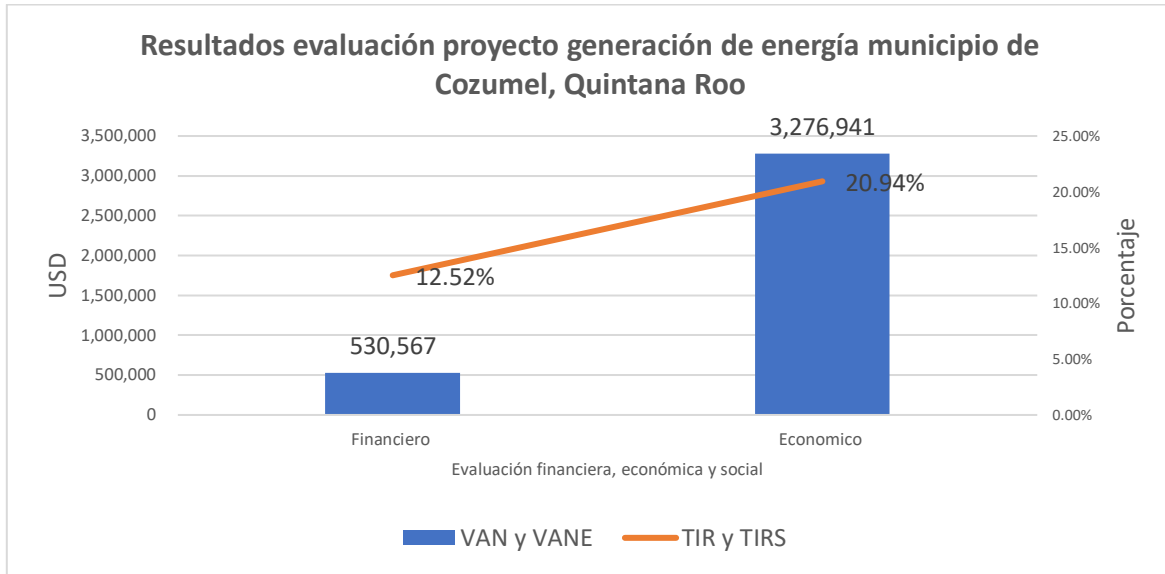
Tabla 60: Indicadores costo – beneficio social.

Indicadores financieros	
VANE-Valor actual neto económico	\$ 3,276,941.49
TIRS- Tasa interna de retorno social	\$20.94%
R-B/C Relación beneficio costo	\$1.52
VAB- Valor actual de los beneficios	\$9,990,809.29
VAC- Valor actual de los costos	\$6,583,177.53
Periodo de recuperación	6 años, 2 meses

Fuente: Elaboración propia.

En contraposición a la evaluación financiera, se puede concluir que la premisa de estimar el desarrollo del proyecto como un proyecto público, es acertada ya que este presenta mejores rendimientos a la económicos, que financieros.

Figura 80: Grafico comparativo, resultados de evaluación financiera, económica y social.



Fuente: elaboración propia

8.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

8.2.1 Evaluación financiera.

8.2.1.1 Metodología empleada.

La evaluación financiera, tiene como finalidad conocer la rentabilidad del proyecto desde la perspectiva privada, para lo cual se analizan las interrelaciones entre la inversión, los costos operacionales y los ingresos, así como la disponibilidad de financiamiento externo vía préstamo bancario.

En el caso particular del proyecto de gran escala para producción de biometano a ser desarrollado en el municipio de Benito Juárez, Estado de Quintana Roo; se realiza la evaluación financiera a fin de conocer el grado de rentabilidad que la puesta en marcha de éste generará a los inversionistas.

Para lo que se parte de las premisas siguientes:

- Se estima como horizonte del proyecto un periodo de 15 años, el cual corresponde a la vida útil de los principales activos.
- Todos los valores son expresados en dólares corrientes al mes de marzo 2022.
- Se incluyen los pagos correspondientes a impuestos, permisos municipales, estatales y federales.
- Se considera financiamiento externo a los fondos de los inversionistas del 80% de la inversión fija y móvil a una tasa de interés de 5.4% anual, a 15 años plazo.
- Se estima un capital de trabajo para cubrir operaciones de 3 meses
- Y un valor de imprevistos de CAPEX y OPEX del 5% para el año 0 y 1 respectivamente.

8.2.1.2 Inversión total.

Basado en los datos de determinación de CAPEX, se considera una inversión inicial de \$52.6 millones de USD, y de \$54.2 millones de USD para la totalidad del proyecto considerando la reinversión en equipo móvil, por vencimiento de vida útil de estos, como se indica a continuación:

Tabla 61: Determinación de la inversión total del proyecto.

Ítem	Valores en millones de USD	Porcentaje
Inversión fija	\$39,558	73.02%
Terreno, obra civil y equipo fijo	\$38,256	70.62%
Equipo móvil	\$1,301	2.40%
Inversión diferida	\$4,067	7.51%
Sub Total inversión inicial	\$43,625	80.53%
Capital de trabajo (3 meses de operaciones)	\$0.767	1.42%
Impuestos (IVA y ISABI)	\$6,220	11.48%

Ítem	Valores en millones de USD	Porcentaje
Imprevistos 5% de la inversión fija	\$1,978	3.65%
Total, Inversión año 0	\$52,590	97.08%
Inversión por reposición de equipo móvil, para mantenimiento de la vigencia de la inversión	\$1,583	2.92%
Inversión total del proyecto	\$54,172	100.00%

Fuente: elaboración propia a partir de Cotización BEKON Benito Juárez 2022.

Cabe señalar que, para efectos fiscales, se considera como parte de la inversión: el terreno, la obra civil, el equipo fijo y móvil, los impuestos sobre la adquisición de bienes inmuebles e impuestos a la importación²⁴; valores que ascienden a \$40.0 millones de USD.

8.2.1.3 Costos totales.

Respecto a los datos OPEX previamente indicados, se efectúa la proyección de costos totales a 15 años plazo, considerando la incorporación del facto de salario real en las remuneraciones del equipo técnico y administrativo previsto, los costos de mantenimiento a precios de mercado y el 100% de la depreciación de maquinaria y equipo, así como la amortización de la inversión diferida en el año 1 de operaciones. Esto último, en consideración del artículo 34 de la Ley del impuesto sobre la renta, numeral XIII que indica que son deducibles del impuesto sobre la renta “100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente.” (Ley del Impuesto sobre la Renta, 2021/Última reforma publicada DOF 12-11-2021, p. 59); así como, la estimación de un 5% de costos imprevistos respecto a costos fijos y variables, sin depreciación y amortización y el pago de intereses bancarios por un 80% del costo de inversión en terreno, obra civil, equipo fijo y móvil, cuyo valor asciende a \$36.4 millones de USD a una tasa de interés del 5.4% que genera \$17.62 millones de USD por concepto de intereses pagados durante el periodo.

Tabla 62: Determinación de los costos de operación del proyecto (valores en millones de dólares).

Ítem	Costos año 1	Costos totales 15 años	Porcentaje
Costos fijos	\$43,086	\$70,424	93.3%
Recurso humano	\$0.342	\$513	6.8%
Costo de mantenimiento	\$0.429	\$6.43	8.5%
Depreciación y amortización	\$40,351	\$41.24	54.7%
Pago de intereses bancario	\$1,964	\$17.62	23.4%
Costos variables	\$0.332	\$4.97	6.6%
Imprevistos 5% de los costos fijos y variables sin considerar depreciación y amortización	\$0.055	\$0.06	0.1%

²⁴ De acuerdo con la Ley del Impuesto sobre la Renta, 2021, en su última reforma publicada DOF 12-11-2021, p. 57.

Ítem	Costos año 1	Costos totales 15 años	Porcentaje
Total, costos	\$43,473	\$75,454	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.4 Ingresos.

A su vez, se efectuó la proyección de los ingresos, los cuales están compuestos por la venta de biometano y el cobro una tarifa por el tratamiento de materia orgánica proveniente de la planta de separación. Cuyas cantidades proceden del estudio técnico antes indicado y los precios fueron determinados bajo los siguientes aspectos:

- Precio de del biometano, tomando como base el precio actual del gas natural en USD/MMBTU como referencia por ser un producto sustitución natural, cabe indicar que actualmente el estado de Quintana Roo, tiene acceso al producto por distribución terrestre y marítima, y no por gasoductos como es el caso de otros estados mexicanos.
- Respecto a la determinación de la tarifa por tratamiento de la fracción orgánica proveniente de la planta de separación, se estima un 50% adicional de la actual tarifa estipulada por concepto de presentación de residuos sólidos directamente en las instalaciones del relleno sanitario, para su tratamiento y disposición final. La tarifa actual es de \$2.00 (Son: Dos pesos 00/100 M.N.) por kilogramo de residuos sólidos presentado. (Municipio de Benito Juárez, 2021).

Tabla 63: Determinación de los ingresos del proyecto (valores en millones de dólares).

Ítem	Ingreso año 1	Ingresos totales 15 años	Porcentaje
Venta e biometano	\$1,389	\$20,839	16.5%
Cobro de tarifa por tratamiento de residuos orgánicos	\$7,017	\$105,261	83.5%
Total	\$8,407	\$126,101	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.5 Indicadores financieros.

Luego de la estimación de los costos de inversión, operaciones e ingresos, se procede a realizar el flujo financiero antes de impuestos, obteniendo resultados positivos a partir del año 2, por lo que se calcula el pago del impuesto sobre la renta del 30%, con lo que se determina que el proyecto contribuirá a las arcas nacionales en \$25.2 millones de USD. Seguidamente se eliminan los costos virtuales de depreciación y amortización, pago de capital del préstamo y valores de rescate o residuales del equipo que aún no culmina su utilidad; con lo que se obtiene el flujo financiero neto y este se traer a valores presente, para lo cual se empleado una tasa de descuento del 10%, obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 64: Indicadores financieros.

Indicadores financieros	
VAN-Valor actual neto	\$3,382,984
TIR- Tasa interna de retorno	14.9143%
R-B/C Relación beneficio costo	\$0.8858
VAB- Valor actual de los beneficios	\$63,942,065
VAC- Valor actual de los costos	\$72,182,041

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla anterior el proyecto presenta resultados positivos, ya que al traer a valores presentes los flujos de efectivo, estos permiten recuperar la inversión y presentan un VAN > 0; a su vez la Tasa Interna de Retorno (TIR) que el proyecto brindará es mayor a la tasa de descuento empleada TIR 14.9% > TD 10%; no obstante se obtienen una R B/C de 0.8 que indica que los costos actualizados son mayores a los ingresos actualizados, debida que el precio unitario por venta de biometano a valores presente es de \$17.44 USD/MMBTU para el proyecto, el cual es inferior al precio de referencia del empelado de \$5.03 USD/MMBTU.

8.2.1.6 Análisis de sensibilidad.

Con el objeto de conocer el impacto en los indicadores financieros del proyecto, ante el cambio en las principales variables del este, se efectúa matriz de sensibilidad bidimensional y multidimensional que permite determinar cuál sería la rentabilidad o no del proyecto, de presentarse los escenarios indicados a continuación:

8.2.1.6.1 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de materia orgánica a ser procesada y cambios en el precio en la venta del biometano.

Se determina un escenario en el cual se reciba en la planta de generación de biometano cantidades inferiores a las previstas, siendo el 80% la cantidad mínima para el correcto funcionamiento; a su vez, se compara cuales sería los resultados si como precio del proyecto se toma los precios equivalentes de otros hidrocarburos, datos referidos en USD/MMBTU publicado por (Independent statistics & analysis, 2022);

En la tabla siguiente se observa que el proyecto es rentable al precio promedio de los combustibles, independiente de que las cantidades de materia orgánica a ser procesadas lleguen al 80% o 100%, dando como resultado TIR > TD; no obstante, los beneficios actualizaciones son mayores a los costos, solo cuando con precios es superior al promedio, como se observa en la tabla "Análisis sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y aplicando los precios de los diferentes hidrocarburos, expresados en USD/MMBTU"

Tabla 65: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades de MOR recibidas y aplicando los precios de los diferentes hidrocarburos, expresados en USD/ MMBTU 25

Análisis de sensibilidad	Variación Ton/día
---------------------------------	--------------------------

²⁵ Se sombrea las celdas cuya TIR es mayor a la TD empleada.

		Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
TIR 14.9%		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
	\$0.0 USD/ MMBTU	-.	-16.72%	-7.41%	-1.83%	2.44%
	\$2.50 USD/ MMBTU	-7.64%	-1.99%	2.31%	5.94%	9.17%
Gas natural	\$3.85 USD/ MMBTU	-1.70%	2.55%	6.15%	9.37%	12.32%
Etanol	\$4.64 USD/ MMBTU	1.05%	4.85%	8.19%	11.23%	14.07%
Precio del proyecto	\$5.03 USD/ MMBTU	2.28%	5.92%	9.15%	12.13%	14.91%
Precio promedio de los hidrocarburos	\$9.91 USD/ MMBTU	14.47%	17.14%	19.71%	22.21%	24.64%
Butano	\$11.37 USD/ MMBTU	17.53%	20.09%	22.57%	25.00%	27.37%
Propano	\$11.43 USD/ MMBTU	17.65%	20.20%	22.68%	25.10%	27.48%
Petróleo	\$12.15 USD/ MMBTU	19.10%	21.61%	24.05%	26.45%	28.80%
Gasolina	\$14.11 USD/ MMBTU	22.95%	25.37%	27.74%	30.07%	32.38%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 66: Análisis de sensibilidad de la relación beneficio costo ante cambios en cantidades de MOR recibidas y aplicando los precios de los diferentes hidrocarburos, expresados en USD/ MMBTU

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
RB/C 0.886		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
	\$ 0.0 USD/ MMBTU	0.592	0.629	0.666	0.702	0.739
	\$2.50 USD/ MMBTU	0.664	0.701	0.738	0.775	0.812
Gas natural	\$3.85 USD/ MMBTU	0.704	0.741	0.777	0.814	0.851
Etanol	\$4.64 USD/ MMBTU	0.727	0.764	0.801	0.837	0.874

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
RB/C 0.886		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
Precio del proyecto	\$5.03 USD/ MMBTU	0.738	0.775	0.812	0.849	0.886
Precio promedio de los hidrocarburos	\$9.91 USD/ MMBTU	0.880	0.917	0.954	0.991	1.028
Butano	\$11.37 USD/ MMBTU	0.922	0.959	0.996	1.033	1.070
Propano	\$11.43 USD/ MMBTU	0.924	0.961	0.998	1.035	1.072
Petróleo	\$12.15 USD/ MMBTU	0.945	0.982	1.019	1.056	1.093
Gasolina	\$14.11 USD/ MMBTU	1.002	1.039	1.076	1.113	1.150

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.6.2 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de materia orgánica recuperada recibidas y cambio en la tarifa por tratamiento.

Respecto a la incorporación de un valor adicional a la tarifa de tratamiento de la materia orgánica que sale de la planta de separación, se analiza los escenarios de no cobrar un valor adicional o duplicarlo, para el cual se obtienen los distintas TIR y RB/C como se muestra en las tablas siguientes:

Tabla 67: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades de MOR recibidas y ante cambios en la tarifa por tratamiento de materia orgánica.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
TIR 14.9%		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
Cambio en la tarifa de tratamiento de MOR	\$ 00 MXN					
	\$ 250 MXN					
	\$ 500 MXN					
	\$ 750 MXN		-21.5%	-11.6%	-6.1%	-2.0%
	\$ 1,000 MXN	2.3%	5.9%	9.2%	12.1%	14.9%
	\$ 1,250 MXN	14.9%	18.2%	21.4%	24.4%	27.4%
	\$ 1,500 MXN	25.0%	28.6%	32.1%	35.5%	38.9%

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día				
		Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
TIR 14.9%		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
	\$ 1,750 MXN	34.3%	38.3%	42.2%	46.1%	49.9%
	\$ 2,000 MXN	43.3%	47.7%	52.1%	56.5%	60.9%

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla, la tarifa mínima para que el proyecto sea rentable son valores cercanos a los \$1,000MXN por tonelada.

Tabla 68: Análisis de sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y ante cambios en la tarifa por tratamiento de materia orgánica.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día				
		Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
RB/C 0.886		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
Cambio en la tarifa de tratamiento de MOR	\$ 00 MXN	0.1464	0.1464	0.1464	0.1464	0.1464
	\$ 250 MXN	0.2943	0.3035	0.3128	0.3220	0.3313
	\$ 500 MXN	0.4422	0.4607	0.4791	0.4976	0.5161
	\$ 750 MXN	0.5901	0.6178	0.6455	0.6733	0.7010
	\$ 1,000 MXN	0.7380	0.7749	0.8119	0.8489	0.8858
	\$ 1,250 MXN	0.8858	0.9321	0.9783	1.0245	1.0707
	\$ 1,500 MXN	1.0337	1.0892	1.1447	1.2001	1.2556
	\$ 1,750 MXN	1.1816	1.2463	1.3110	1.3757	1.4404
	\$ 2,000 MXN	1.3295	1.4035	1.4774	1.5514	1.6253

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.6.3 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de materia orgánica recuperada recibidas y variación en los porcentajes de financiamiento externo al proyecto.

Se análisis la sensibilidad del proyecto, respecto a la obtención de financiamiento externos a una tasa de 5.4% como tasa bancaria de referencia, observándose que el proyecto presenta una TIR > TD, cuando se financia más del 60% del proyecto y se destina del 95% al 100% de la MOR prevista, para la producción de biometano.

Tabla 69: Análisis de sensibilidad de la TIR ante cambios en cantidades de MOR recibidas y % de financiamiento externo.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día				
		Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
TIR 14.9%		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
Cambio en el % de financiamiento externo al proyecto.	0.0%	3.8%	4.6%	5.4%	6.2%	7.0%
	20.0%	3.7%	4.7%	5.7%	6.7%	7.7%
	40.0%	3.5%	4.9%	6.2%	7.4%	8.7%
	50.0%	3.4%	5.0%	6.5%	8.0%	9.4%
	60.0%	3.2%	5.2%	7.0%	8.8%	10.5%
	80.0%	2.3%	5.9%	9.2%	12.1%	14.9%
	100.0%	-20.5%	11.9%	22.2%	30.3%	37.5%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 70: Análisis de sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y % de financiamiento externo.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día				
		Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
RB/C 0.886		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
Cambio en el % de financiamiento externo al proyecto.	0.0%	0.5463	0.5737	0.6011	0.6284	0.6558
	20.0%	0.5842	0.6135	0.6428	0.6721	0.7013
	40.0%	0.6278	0.6593	0.6907	0.7222	0.7537
	50.0%	0.6522	0.6848	0.7175	0.7502	0.7829
	60.0%	0.6785	0.7124	0.7464	0.7804	0.8144
	80.0%	0.7380	0.7749	0.8119	0.8489	0.8858
	100.0%	0.8089	0.8494	0.8899	0.9305	0.9710

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.6.4 Análisis de sensibilidad ante cambio en cantidades de materia orgánica recuperada recibidas y la obtención de recursos subvencionables para el proyecto.

Finalmente, respecto al análisis bidimensional, se estimó las rentabilidades de este, bajo el supuesto de que se gestionen fondos subvencionales para el proyecto, como contraparte del Estado o municipio, como por ejemplo la asignación del terreno que representan el 6% de la inversión total del proyecto.

Tabla 71: Análisis de sensibilidad de la RB/C ante cambios en cantidades de MOR recibidas y % de donación o subsidio al proyecto.

Análisis de sensibilidad		Variación Ton/día				
		Ingreso MOR Planta de Separación CIMIRS				
TIR 14.9%		328.8	349.4	369.9	390.5	411.0
Donación/ subsidio	0%	2.3%	5.9%	9.2%	12.1%	14.9%
	10%	7.3%	10.4%	13.2%	15.9%	18.6%
	20%	11.5%	14.3%	17.0%	19.5%	22.0%
	30%	15.3%	17.9%	20.4%	22.9%	25.3%
	40%	18.9%	21.4%	23.8%	26.2%	28.5%
	45%	20.6%	23.0%	25.4%	27.8%	30.1%
	49%	21.9%	24.3%	26.7%	29.0%	31.3%

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.6.5 Análisis de Escenario Multidimensional.

También, ha sido realizado un análisis de escenario multidimensional, a fin de conocer cuál sería el comportamiento de los indicadores financieros, si se presentasen cambios en los precios de los productos del proyecto de forma, variación en la tasa mínima atractiva exigida por los inversionistas y porcentajes de donación/subvención a aportados al proyecto, de forma simultánea, manteniendo constantes todos los demás factores (ceteris paribus), por lo que la tabla siguiente presenta los resultados de un escenario pesimista que indica que los usuarios no aceptan el pago de la tarifa de tratamiento de la materia orgánica, el precio del biometano baja a \$2.5 USD/MMBTU, se gestiona un préstamo por el 30% que representan \$13.7 millones de USD y no se obtiene contribución en calidad de subvención o donación al proyecto. De llegar a presentarse dicho escenario el proyecto no es rentable. No obstante, bajo una perspectiva optimista donde el precio de venta del biometano se equipare al precio promedio de los hidrocarburos, se pague una tarifa de \$1,500 MNX/Ton, se gestione un préstamo por USD 40.9 millones 90% y se obtenga un 6% de donación, el proyecto es rentable para los inversionistas.

Tabla 72: Análisis de escenario multidimensional.

Escenario	Valores actuales:	Pesimista	Optimista
Precio venta biometano	\$5.0341	2.5	9.91
Tarifa tratamiento MOR	1,000.00	0.0	1,500.00
Préstamo	80.00%	30.00%	90.00%
Donación/subsidio	0%	0%	6%
Resultado:			
VAN	\$3,382,984	-48,855,582	33,591,158
TIR	14.91%	--	69.73%
RB/C	0.89	0.06	1.48

Fuente: elaboración propia.

8.2.2 Evaluación económica y social.

8.2.2.1 Metodología empleada.

La evaluación social de proyectos consiste en comparar los beneficios con los costos que dicho proyecto implica para el país; es decir, consiste en determinar el efecto que la ejecución del proyecto tendrá sobre el bienestar de la sociedad. Para lo cual se realizan los pasos siguientes:

- Ajustes por eliminación de las transferencias netas, que no tienen un efecto real sobre la economía tales como impuestos, subsidios, beneficios sociales a los empleados, depreciación y amortización.
- Homogeneidad de los costos e ingresos, expresados a valores de serie anual, referidos al último periodo fiscal reportado 2021.
- Conversión de costos e ingresos a precios sociales, para los bienes comerciables y no comerciales (bienes domésticos)
- Incorporación de beneficios ambientales por GEI evitados por la quema de metano, y reducción del volumen de residuos que no llegaría al relleno sanitario, lo que permitirá ampliación vida útil de este.
- Conversión de costos e ingresos a valores presenten empleado la tasa social de descuento autorizada por la Secretaría de Hacienda y Crédito público (SHCP) del 10%. (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2015)

8.2.2.2 Cálculo de factores de conversión de precios de mercado a precios sociales.²⁶

8.2.2.2.1 Precio de cuenta de la mano de obra.

A fin de determinar el precio social de la mano de obra, esta se divide en mano de obra calificada y no calificada, última que se determina en función de su capacidad de negociación en el mercado laboral y que la remuneración base es regulada por la Secretaría de trabajo y previsión social (STPS). Empleándose los procedimientos siguientes:

- Precio cuenta de mano de obra calificada (PCMOC), se procede a eliminar las transferencias sociales, es decir el factor de salario real correspondiente a 1.7 para el Estado de Quintana Roo.
- Precio cuenta mano de obra NO calificada (PCMONC), para ello se identifican salario mínimo nacional al día en MNX, costos de oportunidad de la mano de obra no calificada en el Estado de Quintana Roo y el salario del mercado ofrecido por el proyecto, según fórmula siguiente:

$$RPCMONC = \frac{PSMONC(\text{salario mínimo} + \text{costo de oportunidad})}{\text{Precio de mercado (Salario proyecto)}}$$

Donde:

RPCMONC: Razón precio cuenta mano de obra NO calificada

²⁶ Este es expresado en moneda dólar, no se realiza el análisis del precio social de la divisa; como determinante del costo que representa asignar una unidad monetaria extranjera a una inversión determinada.

PSMONC: Precio social de la mano de obra NO calificada

$$RPCMONC = \frac{PSMONC(141.70 + 216.46)}{\text{Precio de mercado } (833.50)} = 0.4297$$

Fuente: (Maldonado, 2022; Secretaría del trabajo y previsión social, Diciembre, 2020)

Un valor por debajo de la unidad, indica que los costos sociales del proyecto son menores a los costos privados, ya que el proyecto pagará salarios por encima del costo de oportunidad de la mano de obra, haciéndolo altamente competitivo en el mercado laboral.

8.2.2.2 Factor de corrección estándar.

Para el caso de los precios sociales de los insumos utilizados por el proyecto, se emplea el factor de corrección estándar, obtenido de la relación de los precios frontera y precios internos de los bienes y servicios. Que se representa teóricamente como un promedio ponderado de los factores del conjunto de todos los bienes comercializables, siendo su fórmula:

$$FCS = \frac{(M + X)}{(M + X + Tx)}$$

Donde:

FCS: Factor de corrección estándar

M: valor total de las importaciones en un año 2021

X: valor total de las exportaciones en un año 2021

Tx: Ingresos por recaudación aduanera 2021

$$FCS = \frac{(505,716 + 494,224) \text{ en millones de USD}}{(505,716 + 494,224 + 49,500) \text{ en millones de USD}} = 0.9528$$

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022)

8.2.2.3 Inversión total a precios sociales.

Los valores del CAPEX, se convierte a precios sociales, por medio de la eliminación de las transferencias netas, y aplicaciones de los factores de conversión siendo esta:

Tabla 73: Determinación de la inversión total del proyecto a precios sociales.

Ítem	Valores en millones de dólares	Porcentaje
Inversión fija	\$30.1	82.0%
Terreno, obra civil y equipo fijo	\$28.8	78.4%
Equipo móvil	\$1.3	3.6%
Inversión diferida	\$2.5	6.9%
Total, Inversión año 0	\$32.6	88.9%
Inversión por reposición de equipo móvil, para mantenimiento de la vigencia de la inversión	\$4.1	11.1%
Inversión total del proyecto	\$36.7	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.2.2.4 Costos totales a precios sociales.

Así mismo, se realiza la conversión a precios sociales de los costos por remuneración de mano de obra calificada y no calificado, así como los costos de mantenimiento e insumos necesarios para la producción de bienes y servicios. Obteniendo los costos a precios sociales siguientes:

Tabla 74: Determinación de los costos de operación del proyecto (valores en millones de dólares).

Ítem	Costos año 1	Costos totales 15 años	Porcentaje
Costos fijos	\$ 0.5	\$ 6.9	18.3%
Recurso humano	\$ 0.1	\$ 1.5	4.0%
Costo de mantenimiento	\$ 0.4	\$ 5.4	14.3%
Costos variables	\$ 2.1	\$ 31.0	81.7%
Total, costos	\$ 2.5	\$ 37.9	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.2.2.5 Beneficios sociales.

Para el análisis de los beneficios sociales, se incorporación de beneficios ambientales por GEI evitados por la quema de metano y reducción del volumen de residuos que no llego al relleno sanitario, que permite la ampliación vida útil de este.

Tabla 75: Determinación de los beneficios económicos (valores en millones de dólares).

Ítem	Ingreso año 1	Ingresos totales 15 años	Porcentaje
Venta de Biometano	\$1.4	\$ 20.8	7.5%
Tasa por tratamiento MOR	\$ 12.9	\$ 194.2	69.4%
Emisión GEI evitadas (Indirecta por Quema de Metano)	\$ 4.3	\$ 64.6	23.1%

Ítem	Ingreso año 1	Ingresos totales 15 años	Porcentaje
Total	\$ 18.6	\$ 279.6	100.0%

Fuente: elaboración propia.

8.2.2.6 Indicadores costo – beneficio social.

Luego de la conversión de todos los valores a precios sociales, se descuenta los flujos económicos a la tasa social de descuento del 10%, obteniéndose valores positivos para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto con la puesta en marcha del proyecto, ya que los beneficios reportados son mayores que los costos (RB/C=2.7), así como la TIRS 49.12% > TSD 10%;

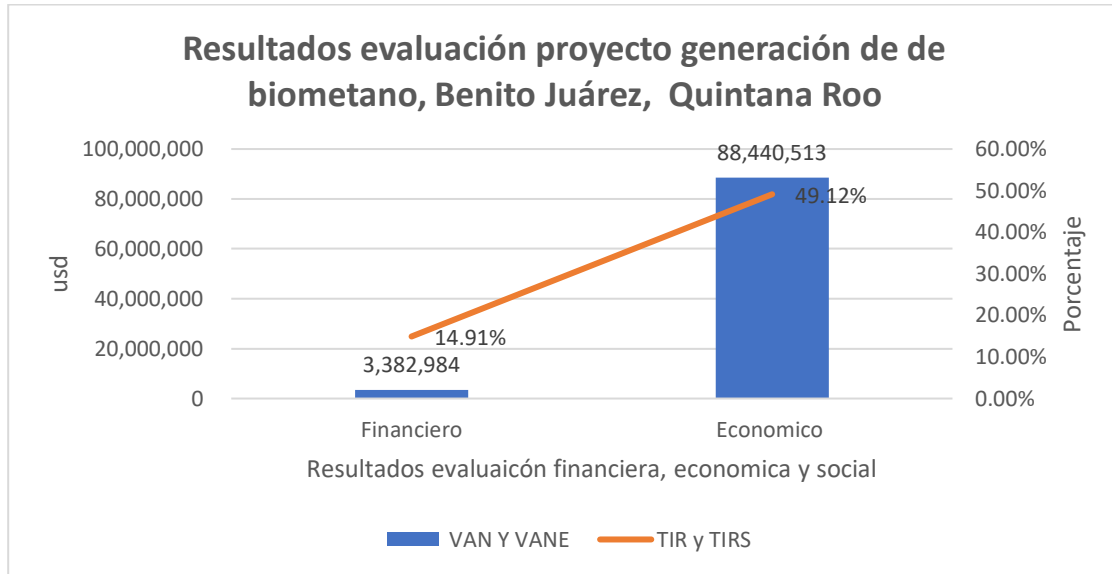
Tabla 76: Indicadores costo – beneficio social.

Indicadores financieros	
VANE-Valor actual neto económico	\$ 88,440,513
TIRS- Tasa interna de retorno social	49.12%
R-B/C Relación beneficio costo	\$ 2.7341
VAB- Valor actual de los beneficios	\$ 141,760,997
VAC- Valor actual de los costos	\$51,849,727
Periodo de recuperación	2 años, 4 meses

Fuente: elaboración propia.

El proyecto de generación de biometano se prevé como un proyecto ejecutado por el sector privada, del cual los resultados de la evaluación financiera son positivos al igual que la evaluación económica-social, lo que representa una muy buena alternativa para el Estado de Quintana Roo, para el impulso del desarrollo de este.

Figura 81: Comparativo, resultados de evaluación financiera, económica y social.

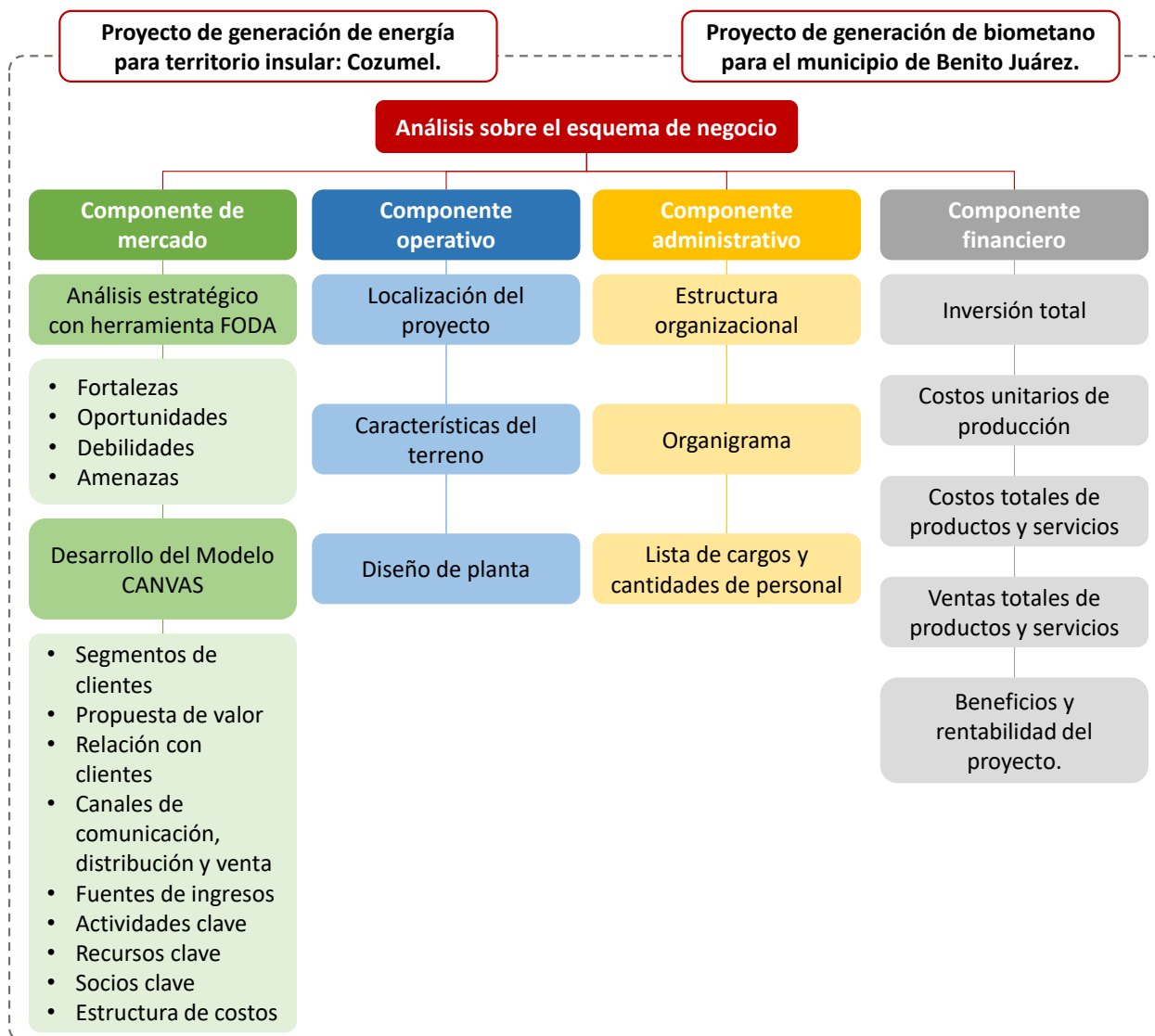


Fuente: elaboración propia.

9 Análisis sobre el esquema de negocio.

El análisis sobre el esquema de negocio para los proyectos de Cozumel y Benito Juárez se integró a partir del desarrollo de cuatro componentes; el primero de ellos, denominado de mercado, está enfocado en preparar un análisis estratégico mediante la aplicación del a herramienta FODA para la identificación de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el contexto del modelo de negocio. Adicionalmente, el componente de mercado incluye la aplicación del modelo CANVAS, lo que permite la identificación de los segmentos de clientes y la relación con estos, la propuesta de valor, los canales de comunicación, distribución y venta, las fuentes de ingresos, las actividades, recursos y socios clave, así como la estructura de costos:

Figura 82: Estructura del Análisis sobre el Esquema de Negocio.



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, incluye un componente operativo, mismo que detalla la localización macro y micro del proyecto dentro de los límites territoriales del municipio; en su caso, se incluyen las

características del predio propuesto para la construcción y operación del proyecto, así como un planteamiento de su diseño en planta.

Por su parte, el componente administrativo se centra en presentar un esbozo de la estructura organizacional, la propuesta de organigrama, y el listado de cargos y cantidades de personal necesario para la etapa de operación de cada proyecto.

Finalmente, el componente financiero del análisis desagrega información para cada proyecto sobre inversión total, costos unitarios de producción, costos totales de productos y servicios, Ventas totales de productos y servicios, así como los beneficios y rentabilidad del proyecto.

9.1 Metodología Empleada para el Análisis sobre el Esquema de Negocio.

En este apartado se hace una revisión conceptual del análisis estratégico de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, así como del modelo de negocio mediante la alternativa del CANVAS, con el objetivo de brindar elementos básicos para una fácil comprensión de los subapartados que lo conforman.

9.1.1 Análisis estratégico de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

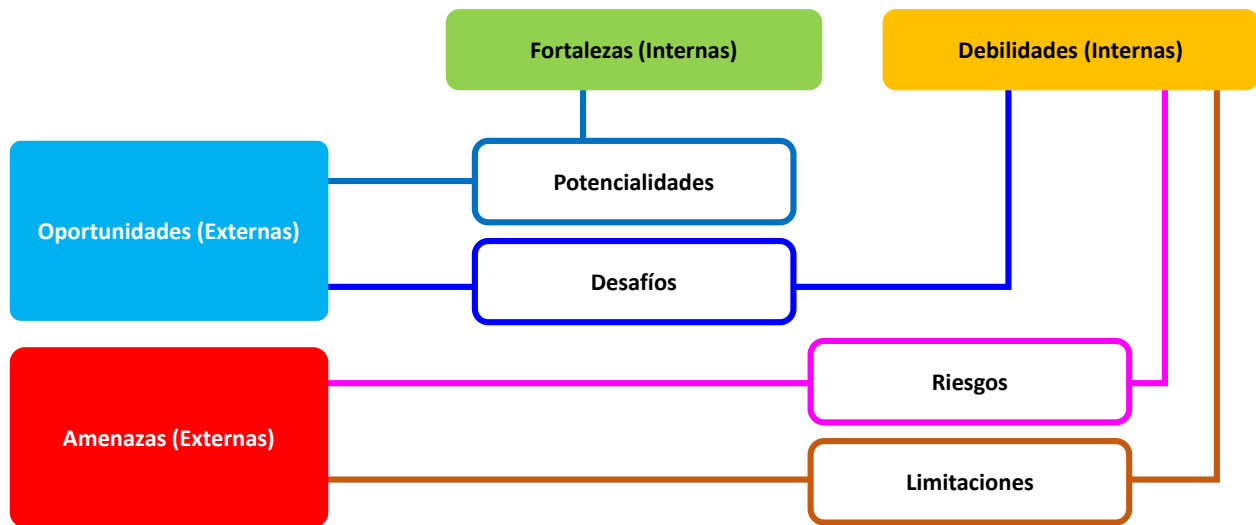
Se construyó a partir de la técnica FODA, el cual, mediante un análisis situacional permite definir factores internos, tales como; fortalezas y debilidades, y también factores externos como son; oportunidades y amenazas, con el fin de realizar un diagnóstico a una organización en particular, como lo propone Ortegón et al (2005; 182, 183). De acuerdo con el mismo autor, como método de análisis algunas de las ventajas que le caracterizarían incluye: la posibilidad de identificar la situación actual a la cual se enfrenta un proyecto particular, así como detectar las amenazas y debilidades en un momento oportuno, mismas que podrían ser disminuidas o neutralizadas.

Cada uno de los elementos de análisis se definen, de acuerdo con Silva y Sandoval (2012; 70), de la siguiente forma:

- Fortalezas: aquellas situaciones que afectan positivamente el cumplimiento del objetivo definido y que se pueden controlar directamente.
- Debilidades: situaciones que afectan negativamente el cumplimiento del objetivo y que también pueden ser controladas directamente.
- Oportunidades: se entienden como situaciones positivas que afectan el cumplimiento del objetivo pero que no son controlables, es decir son externas a la capacidad directa de gestión.
- Amenazas: son factores también externos que afectan negativamente el cumplimiento del objetivo.

Dichos elementos de análisis FODA permitieron identificar las potencialidades, desafíos, riesgos y limitaciones del Proyecto, como lo proponen Silva y Sandoval (2012; 71)

Figura 83: Análisis Estratégico.



Fuente: adaptado de Silva y Sandoval, 2012; 71.

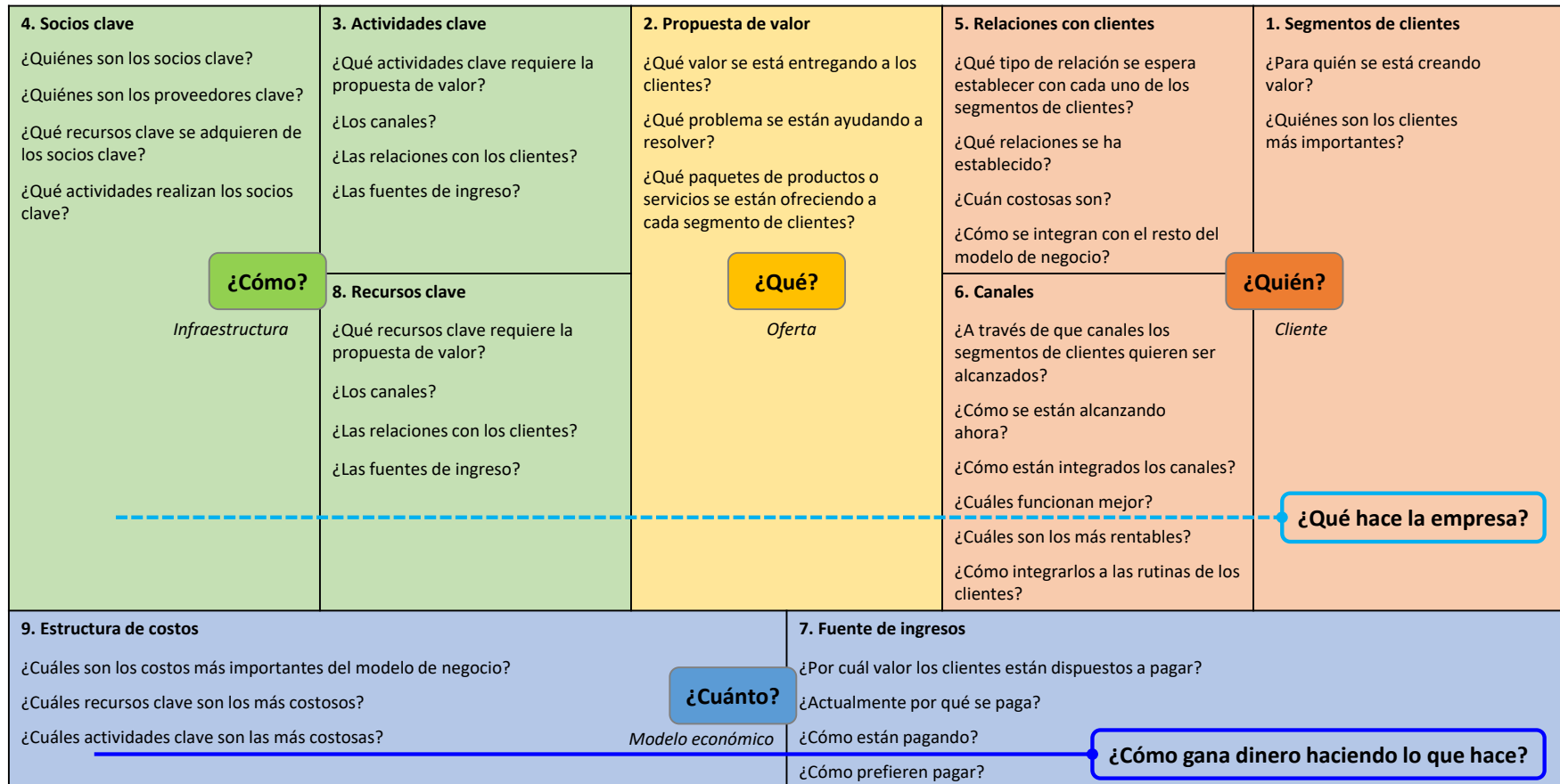
9.1.2 Modelo CANVAS.

El Modelo de Negocio es un primer paso para validar la idea de negocio, cuyo objetivo es describir como una empresa crea, distribuye y captura valor, como lo propone Viciano (2020; 9). A su vez, CANVAS es una técnica para el diseño y validación de modelos de negocio que emplea un esquema de 9 módulos de contenido plasmados en un “lienzo” de manera estructurada, visual y a modo de resumen. (Junta de Extremadura, 2012; 20)

De acuerdo con la publicación de la Junta de Extremadura (2012; 23), el lienzo ofrece una estrategia organizada de pensamiento que ayudará a reflexionar de manera ordenada sobre el modelo de negocio, a partir de la identificación y planteamiento de posibles respuestas a cuestionamientos como: ¿qué se quiere hacer? ¿cómo se va a lograrlo? ¿a quién se le va a vender? ¿cuánto beneficio se podría obtener?

La siguiente figura presenta el arreglo general de un lienzo con el tipo de cuestionamientos que, de manera enunciativa, se deben responder para cada uno de los módulos del Modelo CANVAS:

Figura 84: Lienzo del Modelo de CANVAS.



Fuente: adaptado de Junta de Extremadura, 2012; 21 y Viciano, 2020; 15, 16.

A fin plantear la idea del negocio de los proyectos en Benito Juárez y Cozumel sobre el aprovechamiento energético de residuos orgánicos y uso de biogás a partir de residuos orgánicos, a continuación, se describen para cada uno las bases con las cuales se busca crear, proporcionar y captar valor en cada caso²⁷.

Para ello, el abordaje del análisis estratégico mediante FODA como el Modelo CANVAS, se plantea de forma estructurada en títulos y subtítulos, manteniendo la lógica de integración del documento de Prefactibilidad.

9.2 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

El Proyecto de Cozumel corresponde a la construcción de una Planta de Metanización para el tratamiento exclusivo de residuos orgánicos segregados en la fuente provenientes de grandes generadores, mismo que se realizará en húmedo con empleo de tecnología de biodigestión seca continua con módulos de pretratamiento y almacenamiento difuso, instalados en el sitio de generación de residuos.

9.2.1 Componente de mercado.

En este caso se empleará la técnica de análisis FODA²⁸ con el objetivo de revisar bajo un enfoque estratégico las circunstancias que se enfrentarían durante el desarrollo del Proyecto de Cozumel, y mediante la aplicación del Modelo CANVAS²⁹, la forma en que se crearía valor con su puesta en marcha y operación.

9.2.1.1 Análisis estratégico de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Las potencialidades, desafíos, riesgos y limitaciones del Proyecto de generación de energía para territorio insular de Cozumel, de manera enunciativas y con mayor relevancia, pueden incluir las siguientes:

9.2.1.1.1 Fortalezas.

- Sobre aquellos elementos que incidirían de forma positiva en el Proyecto, en principio se identificó como fortaleza que se trata de una tecnología de tratamiento robusta y probada que desviaría de la disposición final aproximadamente un tercio de los residuos sólidos orgánicos generados en la Isla, mitigando las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

²⁷ A partir de la definición de Modelo de Negocio propuesta por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile, 2015, y la Junta de Extremadura de España, 2012.

²⁸ Técnica que se utiliza para la formulación de las estrategias es la del análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), como lo propone Silva, 2012; 70

²⁹ Herramienta para confeccionar modelos de negocio que describe de manera lógica la forma en que las organizaciones crean, entregan y capturan valor a partir de siete bloques: 1. Segmentos de clientes, 2. Propuestas de valor, 3. Canales de comunicación, distribución y venta, 4. Relación con los clientes, 5. Ingresos, 6. Recursos y capacidades clave, 7. Actividades clave, 8. Alianzas clave, y 9. Gastos, como lo plantea el CONAF (2015; 7,8)

- Además, desde la perspectiva costo-beneficio social³⁰ es un proyecto rentable³¹ debido a que el valor de los beneficios generados por el proyecto es mayor a los costos que el mismo representa.
- Es de resaltar que los productos generados por el Proyecto Cozumel, consistentes en energía eléctrica³² y composta o mejorador de suelo, cuentan con una demanda en el territorio insular; en el primer caso ante la dependencia del suministro eléctrico desde el macizo continental y en el segundo debido a la demanda potencial para operaciones de ornato por parte del sector de prestadores de servicios turísticos.
- Además, una fortaleza más radica en que el sustrato para digestión anaerobia (RSU orgánico) proveniente de los hoteles y clubes de playa, al estar separado en origen, cuenta con una gran calidad que impacta positivamente en la generación eléctrica y producción de composta como mejorador de suelo.
- También, permitiría iniciar con la transición hacia la gestión integral de los residuos sólidos orgánicos provenientes de sectores económicos determinados, y en apego a la jerarquía de los residuos, contemplada en la Agenda 2030 de la Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos de la SEMARNAT.
- Otra de las fortalezas del proyecto, es que permite el desvío de una proporción de los residuos sólidos orgánicos generados en la isla, hacia un sistema de tratamiento, contribuyendo a disminuir la demanda volumétrica para su disposición en el relleno sanitarios, además, al estabilizar dicha fracción, reduce la cantidad de emisiones de GEI y lixiviados que se generarían como parte del proceso de estabilización en el sitio de disposición final.
- Incluso, durante la etapa constructiva y operativa, conlleva la generación de empleos especializados, así como no especializados, directos e indirectos, permanentes y temporales, movilizandando a su vez la demanda de bienes y servicios que podrían, en algunos casos, satisfacerse de forma local.
- Finalmente, detonaría un nicho de mercado en la isla a partir de la oferta sobre la prestación de servicios especializados para el tratamiento y aprovechamiento energético de residuos sólidos orgánicos, actualmente inexistente en el territorio insular.
- Respecto del componente jurídico, Quintana Roo es la única entidad en el país que ha realizado modificaciones a su marco jurídico administrativo y ambiental en materia de residuos de competencia local, para el aprovechamiento de los biorresiduos, de igual forma, se le han otorgado facultades a las autoridades estatales para que tengan

³⁰ El Análisis Costo Beneficio Social (ACBS) es una herramienta para la toma de decisiones, que a partir de una medida objetiva permite identificar cual, de entre varias alternativas, le representa mayores beneficios a la sociedad. (GIZ, 2018)

³¹ De acuerdo con la CEPEP, un proyecto será rentable si, considerando la tasa de descuento relevante para el proyecto, el valor presente de los beneficios generados por el proyecto es mayor que el valor presente de los costos generados.

³² El suministro de electricidad del municipio es mediante el acueducto subacuático que se encuentra conectado con la planta termoeléctrica de generación de Valladolid, Yucatán. Además, Cozumel cuenta con generación de electricidad a través de una planta privada con permiso para autogeneración y una subestación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a la fecha su factor de planta es reducido y únicamente genera en horario de punta y está sujeta a demanda. También cuenta con una subestación de la CFE llamada "C.T.G. Chankanaab", esta planta entra en funcionamiento en situaciones excepcionales, como lo documenta la Secretaría de Energía en la publicación Evaluación Rápida del Uso de la Energía, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170882/7_Cozumel.pdf

competencia en la materia, respetando la concurrencia que se tiene con la SENER respecto del componente energético.

9.2.1.1.2 Oportunidades.

- Entre las condiciones externas al Proyecto que pueden incidir de forma positiva, se identifica inicialmente la integración de la Mesa de trabajo intersectorial que promueve actividades para la construcción de una Estrategia en materia de Residuos y Economía Circular promovido por el Órgano de Gestión de Destino³³ en el marco del Plan de Recuperación Económica Sustentable del Destino de Cozumel.
- Adicionalmente, por manifestación propia de las autoridades locales de Cozumel, y atendiendo las recomendaciones del Programa ENRES (2018)³⁴, actualmente está en proceso la creación de una Dirección de Residuos Urbanos del Municipio de Cozumel, lo que también constituye una oportunidad para el Proyecto.
- También, por parte de la Subdirección de Ecología del Ayuntamiento de Cozumel, se instauró el programa “Recoja de Residuos Verdes”³⁵ a fin de llevar a cabo recolección de desechos verdes generados en generaron en las zonas urbanas, patios, techos, frentes de los hogares³⁶, mismos que actualmente son enviados a un predio para su almacenamiento, lo que también incide de forma positiva para el Proyecto.
- Como condición externa al Proyecto, se destacaría la oportunidad al contribuir a diversificar la matriz energética de la isla y revertir la dependencia del suministro desde el territorio continental³⁷.
- Aunado a lo ya expuesto, también constituye una oportunidad para el Proyecto la posibilidad de utilizar el digestato³⁸ como cubierta diaria en las celdas de disposición final del relleno sanitario de la isla, esto cuando las condiciones del mercado limiten la colocación de la composta o mejorador de suelo ente los distintos consumidores.

³³ Órgano de Gestión del Destino Isla Cozumel, A.C. es una Asociación Civil sin fines de lucro, creada en febrero de 2021 con el fin social de apoyar el aprovechamiento de los recursos naturales, la protección de la flora y la fauna, la preservación y restauración del equilibrio ecológico, y la promoción del desarrollo sustentable a nivel regional de zonas urbanas y rurales. Disponible en: <http://saladeprensa.uqroo.mx/noticias/5228-organo-de-gestion-del-destino-isla-cozumel-y-ugroo-firman-convenio-de-colaboracion/>

³⁴ Denominado “Aprovechamiento energético de residuos urbanos” fue promovido por la GIZ. Disponible en: <https://www.giz.de/en/worldwide/33989.html>

³⁵ Conforme al comunicado de prensa del 27 de enero de 2022, disponible en: <https://cozumel.gob.mx/prensa/gobierno-municipal-retira-227-toneladas-con-programa-recoja-de-residuos-verdes/>

³⁶ Como se reporta en el comunicado de prensa del 29 de noviembre de 2021, disponible en: <https://cozumel.gob.mx/prensa/gobierno-municipal-anuncia-programa-de-recoja-de-residuos-verdes/>

³⁷ Porque el Proyecto podría contribuir a dicha diversificación, en un sector que está encabezado por la Secretaría de Energía.

³⁸ Material final resultante del proceso anaeróbico, parcialmente estabilizado, requiriendo una etapa de deshidratación seguida de procesos para la estabilización final de sus fracciones sólida y líquida. La fracción sólida generalmente se destina a una etapa de compostaje aeróbico. La fracción líquida, dada su alta concentración en amoníaco, si no se destina directamente a la fertirrigación, debe ser sometida a procesos de nitrificación-desnitrificación y eliminación física y biológica de demanda química de oxígeno (DQO). (Colturaro, 2015; 15)

- Por otra parte, el 17 de noviembre de 2021, el Senado de la República aprobó el proyecto de decreto por el que se expide la Ley General de Economía Circular³⁹ y el estado de Quintana Roo cuenta con la Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos, publicada el 18 de junio de 2019⁴⁰, las cuales son instrumentos jurídicos habilitadores que permitirían impulsar la implementación del proyecto.
- También, es latente el potencial del proyecto para constituir un modelo o alternativa para el aprovechamiento energético de los residuos sólidos orgánicos en otros territorios insulares, y/o sectores económicos generadores de residuos sólidos orgánicos.
- Considerando las contribuciones hacia la mitigación de gases de efecto invernadero que conlleva el proyecto, podría explorarse la alternativa de un financiamiento vinculado a la agenda climática, a nivel nacional o internacional.
- Además, tendría relevancia, desde un enfoque de marketing, la difusión que puedan hacer los usuarios del servicio de tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos ante grupos de interés, así como la obtención de alguna certificación ambiental, en el marco de la agenda climática mundial vigente.
- Las oportunidades que se crean en el desarrollo del aprovechamiento de los residuos orgánicos, permite dar seguimiento y seguir evaluando las políticas públicas y los cambios normativos que fortalezcan la separación en la fuente de los residuos, no solo por los modelos anteriormente identificados, sino también por posibles “negocios satélites” que se puedan generar entorno a los ya identificados, como por ejemplo: centros de aprovechamiento de orgánicos comunitarios que puedan acopiar, almacenar en transferencia a los centros principales de aprovechamiento; toda vez que esta incorporación del enfoque comunitario y social podría generar indicadores de inclusión e impacto social (más aún si son comunidades indígenas).
- De igual forma, existe una propuesta legislativa de incorporar (como en Zacatecas y otras entidades federativas) los llamados impuestos verdes, en los cuales se determina un impuesto para compensar las externalidades negativas del modelo económico lineal, por ello aquellos proyectos que mitiguen o contribuyan a erradicar o disminuir dichos impactos podrán ser acreedores de posibilidad de una deducción del impuesto estatal de hasta un 80%.⁴¹

³⁹ De acuerdo con información disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/senclave/65/CS-LXV-I-1P-038/01_minuta_038_17nov21.pdf, <https://comunicacionsocial.senado.gob.mx/informacion/comunicados/1208-aprueba-el-senado-ley-general-de-economia-circular>

⁴⁰ Conforme a información disponible en: <http://documentos.congresogroo.gob.mx/leyes/L199-XV-20190618-L1520190618337.pdf>

⁴¹ A la fecha, los Congresos locales de 11 estados del país han aprobado por lo menos una regulación en materia de impuestos ecológicos. Dichas entidades han estipulado un padrón de fuentes críticas contaminantes de emisiones de GEI, y se autoriza la deducción del impuesto por proyectos de alto impacto ambiental o bien modelos de negocio circulares. <https://www.pwc.com/mx/es/soluciones/esg/impuestos-verdes.html>

9.2.1.1.3 Debilidades.

- Sobre los aspectos internos que inciden negativamente en el Proyecto resaltaría la condición actual respecto a la indefinición de un predio⁴² para la construcción y operación del Proyecto.
- Adicionalmente, el potencial conflicto de interés con la actual concesión que ostenta la empresa que presta los servicios de recolección y disposición final en la isla por encargo del Ayuntamiento de Cozumel.
- También, los requerimientos de personal especializado para la construcción, así como la operación y mantenimiento de la planta.
- Fallas operativas y abandono por falta de continuidad en el mantenimiento del sistema.
- Asimismo, la construcción y puesta en marcha del proyecto, implicaría un ajuste al sistema tarifario vigente.
- Adquiere relevancia el andamiaje legal y regulatorio a nivel municipal, debido a que, el desarrollo del proyecto supondría requerimientos de ajustes para la actualización y armonización con la legislación estatal vigente.
- La certeza en la tenencia de la tierra es el punto inicial de certeza del proyecto, toda vez que la mayor concentración del modelo de negocio está indefinida en este aspecto. Es necesario proveer que la gran mayoría de predios a desarrollarse están dentro del régimen ejidal y necesita pasar a pequeña propiedad para crear mayor certeza jurídica.

9.2.1.1.4 Amenazas.

- Fallas operativas y abandono por falta de continuidad en el mantenimiento del sistema.
- Inicialmente, el riesgo de interrupción a la implementación del proyecto por parte de las autoridades locales por cambios de gobierno.
- También debe contemplarse el apoyo inexistente o desinterés por parte de autoridades e instituciones del sector energético.
- Por otra parte, la imposibilidad para acceder al financiamiento para su desarrollo.
- Las posibles variaciones sustantivas en la cantidad y calidad de residuos sólidos orgánicos provenientes de restaurantes, hoteles y clubes de playa.
- Así como la necesidad de actualizar la estructura tarifaria aplicada a los usuarios y sectores de interés, por parte del Ayuntamiento.
- Desinterés y/o desconocimiento por parte de las autoridades estatales y municipales.
- Entendimiento parcial de los beneficios del proyecto que impidan su continuidad en la búsqueda del financiamiento para la implementación.
- Rechazo hacia el proyecto por determinados actores de interés.

⁴² Aún y con esta condición, sería oportuno evaluar la viabilidad del Proyecto dentro del polígono del Relleno sanitario de la isla y en el predio empleado para el envío de residuos verdes que la Subdirección de Ecología utiliza, en el marco del programa "Recoja de Residuos Verdes".

- Desinterés de generadores de residuos sólidos orgánicos por gestionar sus residuos a través del proyecto.
- Continuidad de las condiciones vigentes en la isla para gestionar los residuos sólidos orgánicos bajo un esquema que omite su aprovechamiento.
- Variaciones en el mercado que limiten la disponibilidad o asequibilidad de la tecnología a emplear.
- Agotamiento de inventarios de proveedurías locales generen retrasos en el desarrollo del proyecto.
- La dispersión de potenciales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos limite la disponibilidad de materia prima para el funcionamiento del proyecto.
- La incertidumbre jurídica en los posibles cambios en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la propuesta de la nueva Ley General de Economía Circular, se consideran amenazas al proyecto por la dilación que implicaría posibles nuevas obligaciones a los sujetos regulados, que pudieran retrasar la planeación, diseño y operación del proyecto.

9.2.1.2 Modelo CANVAS.

9.2.1.2.1 Segmentos de clientes.

El Proyecto Cozumel crea valor para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para el Ayuntamiento de Cozumel, así como para los restaurantes, hoteles y clubes de playa de la Isla.

Del conjunto de actores y sectores, destacan como clientes más importantes los restaurantes, hoteles y clubes de playa de la Isla y la CFE.

9.2.1.2.2 Propuesta de valor.

El valor que crea el Proyecto Cozumel para sus clientes consiste en la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y generación de energías limpias/renovables, resultado de sus operaciones como prestadores de servicios turísticos; permitiendo solucionar el problema de su nulo o inexistente manejo sustentable, ocasionando una serie de impactos al agua, suelo y aire, así como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Con ello se satisface la necesidad de dar un tratamiento a dicha fracción de residuos, que actualmente es desaprovechada y enviada a disposición final, se contribuye a satisfacer parte de la demanda de energía eléctrica y de producción de composta para la venta, permitiendo revertir dicha condición no deseada, en una oportunidad para la prestación de servicios de tratamiento de residuos sólidos orgánicos y producción de energía eléctrica y composta que el Proyecto detonaría.

9.2.1.2.3 Relación con los clientes.

La relación con los diferentes segmentos del mercado sería contractual con restaurantes, hoteles y clubes de playa que a través del pago de una tarifa permita recibir el servicio de tratamiento de

residuos sólidos orgánicos, así como mediante un precio acceder a la composta; además de una relación contractual con la CFE para la venta de la energía eléctrica.

Con las relaciones establecidas hasta el momento se llevó a cabo un roadshow ratificando el interés y condiciones iniciales de los clientes.

9.2.1.2.4 Canales de comunicación, distribución y venta.

El canal de comunicación, distribución y venta será directo entre proveedor y cliente; se establecerá contacto a través del Padrón de Proveedores Autorizados para el manejo de residuos de manejo especial (RME) por Gobierno del Estado y contacto directo mediante un área de ventas.

9.2.1.2.5 Fuentes de ingresos.

Los clientes están dispuestos a sufragar por un sistema de tratamiento de residuos sólidos especializado, al que se pague por el servicio y que facilite la adquisición de composta.

Actualmente en la isla, los clientes pagan por el servicio de recolección, trasladado y disposición final de residuos en un relleno sanitario, y lo hacen a través de la ventanilla de Tesorería Municipal del Ayuntamiento de Cozumel.

9.2.1.2.6 Actividades clave.

La propuesta de valor tiene como actividad clave el diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de tratamiento de residuos orgánicos. Por su parte, en cuanto a los canales de distribución, la actividad clave consiste en la definición de una logística para la entrega de la materia prima, la obtención del registro ante el Padrón de Proveedores autorizados para el manejo de RME por Gobierno del Estado, y el desarrollo de un sistema comercial.

A su vez, la relación con los clientes tiene como principal actividad la formalización contractual con restaurantes, hoteles, clubes de playa para el envío-recepción de los residuos sólidos orgánicos generados como parte de sus operaciones y la CFE para el aprovechamiento de los excedentes de energía eléctrica que resulten del funcionamiento del proyecto. Y sobre la fuente de ingresos la actividad principal incluye la determinación de tarifa por tratamiento de residuos sólidos orgánicos y precio por venta de composta.

9.2.1.2.7 Recursos clave.

Los recursos clave que se requieren como parte de la propuesta de valor, consiste en la determinación del predio para el sistema de tratamiento de residuos orgánicos, generación de energía eléctrica y venta de composta. A su vez, el capital humano capacitado para ejecutar labores de planeación, comercialización y permisos/autorización como actividad principal de los canales de distribución.

Por otra parte, la relación con los clientes requiere como recurso principal el capital humano capacitado para la integración de la cartera de clientes y formalización contractual. Finalmente, los recursos clave de las fuentes de ingresos son el Proyecto Ejecutivo y Plan de Negocio elaborado por capital humano capacitado.

9.2.1.2.8 Socios clave.

Podrían enunciarse distintos socios clave, como pueden ser: los gobiernos municipales, el Gobierno del Estado a través de la SEMA, las entidades financiadoras, las instancias de cooperación internacional, la CFE, el órgano de administración destino, inclusive ONGs locales, así como la empresa de ingeniería procura y construcción (EPC⁴³ por sus siglas en inglés) o epecista, responsable del diseño, los suministros necesarios y la construcción del proyecto y el operador especializado del Proyecto. A su vez, los proveedores clave están conformados por los proveedores de materia prima, tal es el caso de los Restaurantes, Hoteles y Clubes de Playa; así como prestadores de servicios de recolección de residuos; y proveedores de tecnología y equipos.

Finalmente, los recursos y actividades clave que se adquiere de los socios consiste en el “*Know How*” de ingeniería, procura, construcción puesta en marcha y operación especializada.

9.2.1.2.9 Estructura de costos.

Sobre los costos inherentes más importantes del Proyecto Cozumel se enlista en orden de prelación al pago de recursos humanos (que representa el 31% de los costos totales); seguido de los costos por combustibles (con un 16%), y costos por mantenimiento (con el 12%); que sumados representan el 59% de los costos totales del proyecto.

En cuanto a la identificación de los recursos clave más caros del Proyecto, en orden de mayor a menor magnitud, se enlistan a la adquisición del terreno con un 46% de la inversión total, a su vez, el equipo móvil con un 9.7%, el equipamiento para el pretratamiento con el 6.8%, el sistema de metanización húmeda con el 6%, el generador de energía con el 5%, que en su conjunto representan el 73.5% sobre la inversión total del proyecto.

Finalmente, sobre las actividades clave más caras del Proyecto, están encabezadas por la Operación del cargador frontal con un 25% del total, seguida de la Operación del biodigestor con un 21% sobre los costos totales.

9.2.2 Componente operativo.

Componente que integra información técnica para un mayor dimensionamiento del Proyecto Cozumel.

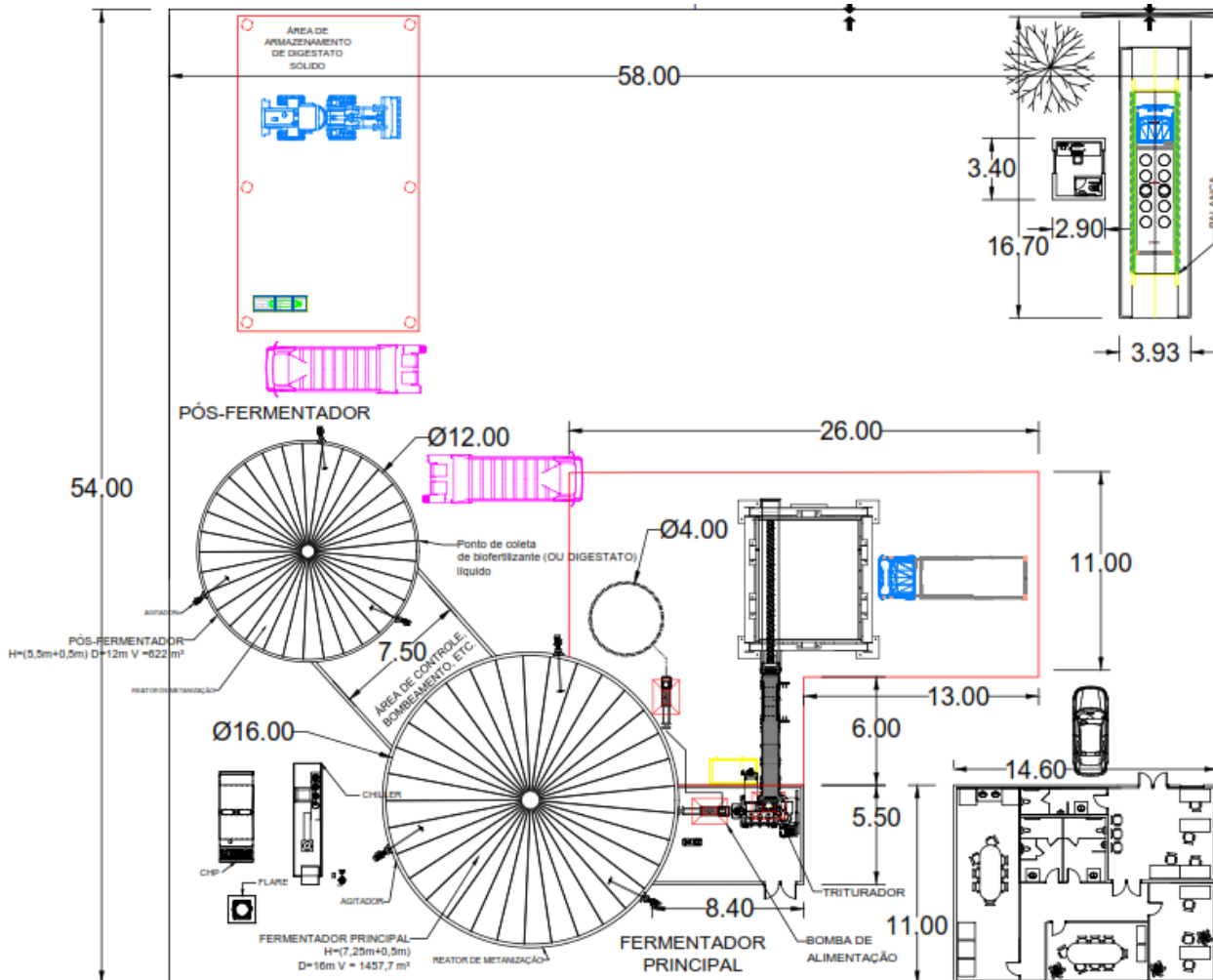
9.2.2.1 Macro localización.

Actualmente está pendiente la definición de predio para el desarrollo del proyecto, por lo que inicialmente se plantean de forma preliminar dos alternativas; la primer de ellas es ellas es dentro del polígono del relleno sanitario de la isla, donde se dispone de una superficie en la porción sur oriente sin que se tenga previsto su ocupación por algún elemento, componente o equipamiento de la infraestructura de disposición final.

⁴³ EPC es el acrónimo de Engineering, Procurement and Construction (en inglés). Por lo tanto, una empresa epecista es aquella que ofrece todos los servicios relacionados con el diseño, los suministros necesarios y la construcción de cualquier proyecto relacionado, en este caso, con las energías renovables.

Como productos principales se contará con una generación de **energía eléctrica de 1,606 MWh e/año**, además de la producción de **composta (3,325 ton/año)** a partir de la materia digerida de los residuos. Adicionalmente, con el proyecto mitigarán **9,501 tCO₂e anuales**.

Figura 86: Diseño de fase 1 proyecto Cozumel.



Fuente: Methanum. 2019.

9.2.3 Componente administrativo.

9.2.3.1 Estructura organizacional.

Cada una de las áreas que conforman la estructura organizacional del Proyecto Cozumel tiene una serie de responsabilidades que ejecutadas de forma conjunta y coordinada y bajo un esquema de seguimiento contribuyen al cumplimiento del objetivo sobre el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, por lo que de manera enunciativa se plantean las siguientes:

- **Director de Planta** es el responsable del desarrollo y operativización del Proyecto Cozumel en todas sus etapas y tendrá como algunas de sus responsabilidades:
 - Definir los objetivos y planificar las actividades para su consecución.
 - Delegar tareas a los colaboradores para el correcto funcionamiento del proyecto.
 - Supervisar a los departamentos o área para orientar a los colaboradores en sus tareas, tomando en cuenta las decisiones tomadas por una junta directiva de orden jerárquico superior que regula al proyecto y la labor del director.
 - Optimizar procesos, analizar eficiencias de operaciones e implementar estrategias.
 - Actuar de forma inmediata para solucionar problemas en circunstancias determinadas.
 - Medir resultados incluyendo la mejora continua, el rendimiento y eficiencia de las distintas áreas del Proyecto, así como satisfacción del cliente y de los colaboradores.
 - Evaluar resultados de cada parte de la cadena de producción y de suministros.
 - Informar y transmitir datos hacia la junta directiva de orden jerárquico superior sobre el funcionamiento del proyecto.
 - Representar al Proyecto ante los distintos actores y sectores relacionados directa e indirectamente con el proyecto.

- **Administrativo**, participa en la planificación, organización y control del Proyecto Cozumel con las siguientes responsabilidades:
 - Planificar los objetivos, las acciones, los métodos y los recursos que se necesitan para obtener buenos resultados.
 - Organizar la distribución de las responsabilidades, la autoridad y los recursos entre los colaboradores.
 - Administrar los recursos de entrada y salida en las distintas etapas de proyecto.
 - Rendir cuentas sobre los ingresos y egresos del proyecto en sus distintas etapas.
 - Constituir el enlace al de comunicación al interior y con los distintos actores en todas de las etapas de proyecto.

- **Área de operaciones**, con la responsabilidad de realizar aquellas actividades que permitan el funcionamiento del proyecto, integrará a las áreas operativas con las siguientes funciones:
 - Mantenimiento electromecánico:

- Monitorear funcionamiento de equipo e instalaciones electromecánicas.
 - Mantener, reparar y revisar los equipos.
 - Modificar, instalar, remover equipos defectuosos.
 - Desarrollar programas de mantenimiento preventivo y programado.
 - Generar informes técnicos sobre el mantenimiento.
- Operadores de biodigestor:
 - Preparar arranque y puesta en marcha del biodigestor.
 - Mantener en biodigestor en operación.
 - Programar paros por mantenimiento del biodigestor.
 - Monitorear el funcionamiento del biodigestor.
 - Informar a la dirección y administración sobre requerimientos para el correcto biodigestor.
 - Generar informes técnicos sobre eficiencias de procesos.
 - Diseñar, promover e implementar medidas de seguridad.
 - Operadores de cargador frontal:
 - Carga y descarga de la materia prima para el proceso de biodigestión.
 - Controlar inventarios de materia prima y de producto.
 - Operar de manera adecuada el cargador.
 - Atender e implementar medidas de seguridad.
 - Monitorear el funcionamiento regular del equipo.
 - Programar mantenimiento preventivo del equipo.

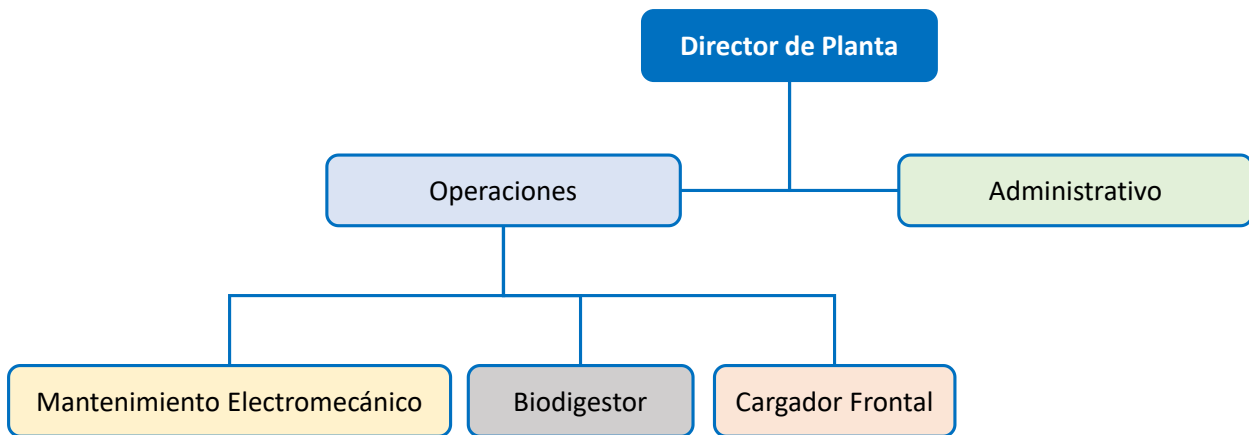
Al contar con legislación concurrente entre los tres ámbitos de gobierno, es deseable que se integre en la plantilla administrativa a un responsable del cumplimiento, ambiental de los 3 ámbitos de gobierno en materia de residuos y cambio climático, energético, social y financiero con expertise en materia de impuestos y de ser deseable impuestos ecológicos.

9.2.3.2 Organigrama.

A fin de atender las necesidades del Proyecto y garantizar con la mayor agilidad e innovación su funcionamiento, se plantea una estructura de red⁴⁴ como su forma de organizacional a fin de potenciar las ventajas como el trabajo en equipo, capacidad de adaptación, agilidad de proceso internos, colaboración continua y compromiso.

Figura 87: Organigrama del proyecto Cozumel.

⁴⁴ Considerando algunas características sobre las Redes de Equipos como Estructuras Organizacionales, disponible en: <https://runahr.com/mx/uncategorized-mx/que-son-las-redes-de-equipos-como-estructuras-organizacionales/>



Fuente: elaboración propia.

9.2.3.3 Listado de cargos y cantidades por área.

En total, el Proyecto Cozumel va a requerir de un equipo de trabajo de 9 colaboradores, siendo el área de operaciones donde se demandará la mayor cantidad del capital humano, como se muestra a continuación:

Tabla 77: Listado de cargos y cantidades del proyecto Cozumel.

Cantidad	Elemento
1	Director de planta
1	Administrativo
7	Área de operaciones
	2 en Mantenimiento electromecánico
	3 en Operadores de biodigestor
	2 en Operadores de cargador frontal

Fuente: elaboración propia.

9.2.4 Componente financiero.

La inversión total de Cozumel asciende a \$5.5 millones de dólares para el periodo de 15 años, con una reinversión en los años 5 y 10 del orden de los \$0.4 millones de USD . Destaca el tema de recursos humanos, por concepto de gasto de nómina, que asciende a \$12,500 USD/mes o su equivalente a \$150,000 USD/año.

Referente a los costos de producción, el costo de energía es de 329.68 USD/MWhe, en tanto que, el costo por tonelada de FORSU es de \$161.44 USD/Ton.

Respecto a las ventas totales de productos y servicios, se estiman ingresos por \$865,941 USD al año, y de forma global⁴⁵ \$12,989,119 de USD, ingresos que corresponden a cobro de tarifas

⁴⁵ Corresponde a la vida útil del Proyecto.

por tratamiento de residuos sólidos orgánicos, venta de excedentes de energía, y venta de composta.

Acerca de los indicadores financieros sobre los beneficios y rentabilidad del Proyecto el VAN⁴⁶ es de \$530,567 USD, con una TIR⁴⁷ de 12.52%.

9.2.5 Componente jurídico.

Es necesario antes de iniciar el proyecto, tener la certeza de la tenencia de la tierra donde se desarrollará el mismo, en caso de que se encuentre ya desincorporado del régimen ejidal, es necesario verificar que no tenga ningún gravamen; en el supuesto que esté dentro del régimen ejidal previo a pasar a pequeña propiedad, es indispensable que se verifiquen las formalidades del procedimiento agrario, en especial con el derecho del tanto y la notificación a los familiares del ejidatario o ejidataria.

Para efecto del desarrollo del proyecto, es indispensable considerar en los contratos con los grandes generadores, transportistas y en su caso posibles centros de transferencia que tengan carácter de prestadores de servicio; las cláusulas de penalización por incumplimiento, por posible contaminación a otros predios ya sea por abandono de residuos, accidente o bien robo de la materia prima, (toda vez que actualmente se consideran residuos pero al ser aprovechados y convertirse en negocio adquieren un valor monetario; existen precedentes del robo de los mismos). Los contratos con los grandes generadores si son suscritos por más de 5 años para el suministro de los orgánicos deben ser inscritos en el Registro Público de la Propiedad y de Comercio.

Previo a la posible aprobación del proyecto de impuestos verdes y/o impuestos ecológicos en el estado, es necesario identificar las categorías y posibles porcentajes sujetos a deducción del impuesto para que se puedan acreditar. En el supuesto que se apruebe una posible Norma Oficial para el Aprovechamiento del Sargazo podría explorarse como posible línea adicional de negocio el aprovechamiento de este, lo cual incrementaría su rentabilidad y aprovechamiento energético.

9.2.6 Análisis del modelo de negocio.

El Proyecto Cozumel que incluye la construcción de una Planta de Metanización para el tratamiento de residuos orgánicos separados desde la fuente y que son provenientes de grandes generadores, emplea tecnología que puede desarrollarse de forma modular que permite recuperar recursos y energía de materiales que se desechan, por lo que se podría catalogar como

⁴⁶ Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VPN) es la suma de los beneficios netos futuros del proyecto actualizado a un año común a una tasa de descuento relevante. En el caso de una evaluación privada será considerada la tasa de mercado. de acuerdo con el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), disponible en:

https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf

⁴⁷ La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa máxima que soportaría el proyecto para ser rentable, cualquier tasa de descuento mayor que la TIR ocasionaría que el VPN del proyecto es negativo, por lo tanto, el proyecto deberá ser rechazado. Cualquier tasa de descuento inferior a la TIR garantizará una rentabilidad positiva para el proyecto, por lo tanto, será conveniente realizarlo. Sin embargo, atrás de este método hay un supuesto generalmente poco considerado, pero altamente significativo, se considera que los flujos son “bien comportados”, es decir, tienen un periodo inicial en que los flujos netos son negativos y el resto de los flujos netos futuros son positivos, lo cual no generalmente sucede en los proyectos. *Idem*

un modelo de negocio circular⁴⁸, considerando que los productos generados tienen una demanda en la isla por determinados sectores.

El valor que crea el Proyecto Cozumel para sus clientes consiste en la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y generación de energías limpias, resultado de sus operaciones como prestadores de servicios turísticos; generando un valor para los restaurantes, hoteles y clubes de playa, para la CFE y para el Ayuntamiento, al contribuir con la reducción de emisiones de GEI.

De acuerdo con el análisis estratégico, desde la perspectiva costo-beneficio social se trata de un proyecto rentable debido a que el valor de los beneficios generados por el proyecto es mayor a los costos que el mismo representa.

Desde el punto de vista administrativo, el funcionamiento del Proyecto demanda de personal especializado con una estructura organizacional simple o poco robusta.

Acerca de la inversión total de Cozumel, asciende a \$5.5 millones de dólares para el periodo de 15 años, con una reinversión en los años 5 y 10 del orden de los \$0.4 millones de USD. Destaca el tema de recursos humanos, por concepto de gasto de nómina, que asciende a \$12,500 USD/mes o su equivalente a \$150,000 USD/año.

Referente a los costos de producción, el costo de energía es de \$329.68 USD/MWhe, en tanto que, el costo por tonelada de FORSU es de \$161.44 USD/Ton.

Respecto a las ventas totales de productos y servicios, se estiman ingresos por \$865,941 al año, y de forma global \$12.9 millones de USD, ingresos que corresponden a cobro de tarifas por tratamiento de residuos sólidos orgánicos, venta de excedentes de energía, y venta de composta.

Acerca de los indicadores financieros sobre los beneficios y rentabilidad del Proyecto el VAN⁴⁹ es de \$530,567 USD, con una TIR⁵⁰ de 12.52%.

⁴⁸ Para mayor referencia de Modelos de Negocio Circulares se pueden consultar las siguientes publicaciones: Modelos de negocio basados en la economía circular y Curso el virtual "Economía Circular por un Mundo sin Residuos" Nota Técnica No.5 Modelos de negocio en la economía circular, disponibles en: <https://www.pactomundial.org/biblioteca/whitepaper-economia-circular/> y <https://www.unmundosinresiduos.com/cec-pdfs/CEC.NotaTecnica05.ModelosNegociosCirculares.VF.pdf>

⁴⁹ Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VPN) es la suma de los beneficios netos futuros del proyecto actualizado a un año común a una tasa de descuento relevante. En el caso de una evaluación privada será considerada la tasa de mercado. de acuerdo con el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), disponible en:

https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf

⁵⁰ La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa máxima que soportaría el proyecto para ser rentable, cualquier tasa de descuento mayor que la TIR ocasionaría que el VPN del proyecto es negativo, por lo tanto, el proyecto deberá ser rechazado. Cualquier tasa de descuento inferior a la TIR garantizará una rentabilidad positiva para el proyecto, por lo tanto, será conveniente realizarlo. Sin embargo, atrás de este método hay un supuesto generalmente poco considerado, pero altamente significativo, se considera que los flujos son "bien comportados", es decir, tienen un periodo inicial en que los flujos netos son negativos y el resto de los flujos netos futuros son positivos, lo cual no generalmente sucede en los proyectos. *Idem*

9.3 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

El Proyecto de Benito Juárez consiste en la instalación de un módulo de biodigestión para producción de biometano a partir de la materia orgánica recuperada (MOR) proveniente de la planta de selección ubicada al interior del Centro Integral de Manejo de Residuos Sólidos denominado "CIMIRS" que proporciona el servicio de tratamiento y disposición final a los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos, el cual contará con una capacidad de procesamiento de 411 ton/día o 150,115 ton/año y una vida útil proyectada a 15 años.

9.3.1 Componente de Mercado.

Este componente tiene por objetivo realizar un análisis estratégico sobre las circunstancias que se enfrentarían durante el desarrollo del Proyecto de Benito Juárez, empleando la técnica del FODA⁵¹, y puntualizando la forma en que se crearía valor con su puesta en marcha y operación, en este caso mediante la aplicación del Modelo CANVAS⁵², como se detalla a continuación:

9.3.1.1 Análisis estratégico de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Las potencialidades, desafíos, riesgos y limitaciones del Proyecto de generación de biometano para el municipio de Benito Juárez, de manera enunciativas y con mayor relevancia, pueden incluir las siguientes:

9.3.1.1.1 Fortalezas.

- El Proyecto Benito Juárez, emplea una tecnología de tratamiento robusta y probada para la producción de un bioenergético⁵³ renovable denominado biometano, y a su vez, permite la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivados de la estabilización de la fracción orgánica de los residuos dentro del CIMIRS.
- Por otra parte, se trata de un proyecto rentable⁵⁴ desde la perspectiva costo-beneficio social, debido a que el valor de los beneficios generados por el proyecto es mayor a los costos que el mismo representa. Además de lo anterior, es de resaltar que los productos generados por el proyecto tienen una demanda potencial, por los distintos sectores económicos potenciales consumidores del biometano a nivel de la región en la Entidad, y del digestato, directamente en el CIMIRS para la continuidad de sus operaciones.

⁵¹ Técnica que se utiliza para la formulación de las estrategias es la del análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), como lo propone Silva, 2012; 70

⁵² Herramienta para confeccionar modelos de negocio que describe de manera lógica la forma en que las organizaciones crean, entregan y capturan valor a partir de siete bloques: 1. Segmentos de clientes, 2. Propuestas de valor, 3. Canales de comunicación, distribución y venta, 4. Relación con los clientes, 5. Ingresos, 6. Recursos y capacidades clave, 7. Actividades clave, 8. Alianzas clave, y 9. Gastos, como lo plantea el CONAF (2015; 7,8)

⁵³ Conforme al Artículo 2, Fracción II de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, consisten en combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades, entre otras, domésticas, comerciales, industriales, ...producidos, por proceso tecnológicos sustentables.

⁵⁴ De acuerdo con la CEPEP, un proyecto será rentable si, considerando la tasa de descuento relevante para el proyecto, el valor presente de los beneficios generados por el proyecto es mayor que el valor presente de los costos generados.

- Otra de las fortalezas del proyecto es que el sustrato proveniente de la planta de separación que opera al interior del CIMIRS permite obtener una proporción de residuos orgánicos con una gran calidad, misma que impacta positivamente en la generación del biometano, y por ende del digestato. También, el proyecto complementa y potencia el tren de tratamiento ⁵⁵de los residuos sólidos que ingresan al CIMIRS, al estar diseñado específicamente en el aprovechamiento de la materia orgánica recuperada de la planta de selección.
- Una fortaleza más del proyecto es la continuidad del aprovechamiento del digestato como material de cobertura diaria en las celdas de disposición final del CIMIRS, que actualmente y como ya se ha referido, los residuos orgánicos separados se utilizan para tal fin, por lo que es importante hacer énfasis en que el proyecto no implica la demanda de otro material para dichas operaciones.
- Además, permitiría iniciar con la transición hacia la gestión integral de los residuos sólidos orgánicos provenientes de sectores económicos determinados, y en apego a la jerarquía de los residuos, contemplada en la Agenda 2030 de la Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos de la SEMARNAT.
- Asimismo, otra de las fortalezas del proyecto, es que permite el desvío de una proporción de los residuos sólidos orgánicos generados en la isla, hacia un sistema de tratamiento, contribuyendo a disminuir la demanda volumétrica para su disposición en el relleno sanitarios, además, al estabilizar dicha fracción, reduce la cantidad de emisiones de GEI y lixiviados que se generarían como parte del proceso de estabilización en el sitio de disposición final.
- También, durante la etapa constructiva y operativa, conlleva la generación de empleos especializados, así como no especializados, directos e indirectos, permanentes y temporales, movilizandando a su vez la demanda de bienes y servicios que podrían, en algunos casos, satisfacerse de forma local.
- Por último, detonaría un nicho de mercado en la isla a partir de la oferta sobre la prestación de servicios especializados para el tratamiento y aprovechamiento energético de residuos sólidos orgánicos, actualmente inexistente en el territorio insular.
- Respecto del componente jurídico, Quintana Roo es la única entidad en el país que ha realizado modificaciones a su marco jurídico administrativo y ambiental en materia de residuos de competencia local, para el aprovechamiento de los biorresiduos, de igual forma, se le han otorgado facultades a las autoridades estatales para que tengan competencia en la materia, respetando la concurrencia que se tiene con la Secretaría de Energía respecto del componente energético.

⁵⁵ El Análisis Costo Beneficio Social (ACBS) es una herramienta para la toma de decisiones, que a partir de una medida objetiva permite identificar cual, de entre varias alternativas, le representa mayores beneficios a la sociedad. (GIZ, 2018)

9.3.1.1.2 Oportunidades.

- Sobre aquellos aspectos externos que podrían incidir positivamente en beneficio del Proyecto, se identifica inicialmente como una condición que prevalece en Quintana Roo, la inexistencia de una oferta de gas natural por lo menos en el corto plazo. En contraste con lo anterior, permite la detonación de un nuevo nicho de mercado de combustibles en la región, a partir de la comercialización del bioenergético renovable (biometano) con los distintos sectores económicos potenciales consumidores.
- Eventualmente, el Proyecto como parte del proceso de consolidación puede constituir un modelo de tratamiento y negocio, a partir del aprovechamiento de la porción de residuos sólidos orgánicos y de la comercialización del bioenergético renovable (biometano) producido a partir de éstos, replicable y/o escalable hacia otras regiones de la Entidad o del país.
- Otra oportunidad que se identifica es la reducción del grado de complejidad y condiciones de financiamiento para el Proyecto debido a los beneficios ambientales como la reducción de emisiones de GEI o la generación del bioenergético renovable, en el contexto del cumplimiento de compromisos nacionales e internacionales en materia de mitigación del cambio climático⁵⁶.
- Alianzas con distribuidores de gas LP en el estado de Quintana Roo para incluir en su cadena de distribución el biometano
- Por otra parte, el 17 de noviembre de 2021, el Senado de la República aprobó el proyecto de decreto por el que se expide la Ley General de Economía Circular⁵⁷ y el estado de Quintana Roo cuenta con la Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo, publicada el 18 de junio de 2019⁵⁸, las cuales son instrumentos jurídicos habilitadores que permitirían impulsar la implementación del proyecto.
- Considerando las contribuciones hacia la mitigación de gases de efecto invernadero que conlleva el proyecto, podría explorarse la alternativa de un financiamiento vinculado a la agenda climática, a nivel nacional o internacional.
- Además, tendría relevancia, desde un enfoque de marketing, la difusión que puedan hacer los usuarios del servicio de tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos ante grupos de interés o la obtención de alguna certificación ambiental, en el marco de la agenda climática mundial.
- Las oportunidades que se crean en el desarrollo del aprovechamiento de los residuos orgánicos, permite dar seguimiento y seguir evaluando las políticas públicas y los cambios normativos que fortalezcan la separación en la fuente de los residuos, no solo por los modelos anteriormente identificados, sino también por posibles “negocios satélites” que se puedan generar entorno a los ya identificados, como por ejemplo: centros de

⁵⁶ La mitigación del cambio climático se refiere a los esfuerzos para reducir o prevenir las emisiones de gases de efecto invernadero. Puede referirse al uso de nuevas tecnologías y energías renovables, al aumento en la eficiencia energética de equipos antiguos o el cambio en las prácticas de gestión o el comportamiento de los consumidores. UNEP, disponible en: <https://www.unep.org/es/explore-topics/climate-change/what-we-do/mitigacion>

⁵⁷ De acuerdo con información disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/senclave/65/CS-LXV-I-1P-038/01_minuta_038_17nov21.pdf, <https://comunicacionsocial.senado.gob.mx/informacion/comunicados/1208-aprueba-el-senado-ley-general-de-economia-circular>

⁵⁸ Conforme a información disponible en: <http://documentos.congresogroo.gob.mx/leyes/L199-XV-20190618-L1520190618337.pdf>

aprovechamiento de orgánicos comunitarios que puedan acopiar, almacenar en transferencia a los centros principales de aprovechamiento; toda vez que esta incorporación del enfoque comunitario y social podría generar indicadores de inclusión e impacto social (más aún si son comunidades indígenas).

- De igual forma, existe una propuesta legislativa de incorporar (como en Zacatecas y otras entidades federativas) los llamados impuestos verdes, en los cuales se determina un impuesto para compensar las externalidades negativas del modelo económico lineal, por ello aquellos proyectos que mitiguen o contribuyan a erradicar o disminuir dichos impactos podrán ser acreedores de posibilidad de una deducción del impuesto estatal de hasta un 80%.⁵⁹

9.3.1.1.3 Debilidades.

- Acerca de aquellos elementos internos que inciden negativamente en el Proyecto sobresale principalmente la lejanía del predio propuesto para su desarrollo, mismo que está dentro del polígono del CIMIRS, distante por lo menos en 10 kilómetros respecto a los potenciales consumidores del bioenergético renovable (biometano).
- Coincidente con lo anterior, otra condición propia del Proyecto radica en los requerimientos sobre la profundización del esquema de distribución y comercialización del bioenergético renovable (biometano), dada la distancia a la que se encuentra el CIMIRS de la zona urbanizada más cercana, condición que se acentúa al prospectar la venta del biometano con sectores económicos preponderantes como prestadores de servicios turísticos que lo demanden como parte de sus operaciones.
- Por lo anteriormente expuesto, también destacan las potenciales problemáticas asociadas al almacenamiento y excedentes de producción del bioenergético renovable (biometano) derivados del Proyecto.
- Fallas operativas y abandono por falta de continuidad en el mantenimiento del sistema.
- Además, la construcción y puesta en marcha del proyecto, implicaría un ajuste al sistema tarifario vigente.
- Por último, el andamiaje legal y regulatorio a nivel municipal, se deberá actualizar y armonizar con la legislación estatal vigente.
- La certeza en la tenencia de la tierra es el punto inicial de certeza del proyecto, toda vez que la mayor concentración del modelo de negocio está indefinida en este aspecto. Es necesario prever que la gran mayoría de predios a desarrollarse están dentro del régimen ejidal y necesita pasar a pequeña propiedad para crear mayor certeza jurídica.

9.3.1.1.4 Amenazas.

⁵⁹ A la fecha, los Congresos locales de 11 estados del país han aprobado por lo menos una regulación en materia de impuestos ecológicos. Dichas entidades han estipulado un padrón de fuentes críticas contaminantes de emisiones de GEI, y se autoriza la deducción del impuesto por proyectos de alto impacto ambiental o bien modelos de negocio circulares. <https://www.pwc.com/mx/es/soluciones/esg/impuestos-verdes.html>

- Referente a situaciones externas que afectan negativamente al Proyecto, están encabezadas por las posibles variaciones sustantivas en la cantidad y calidad de residuos sólidos orgánicos provenientes de los sistemas de recolección que ingresen al CIMIRS, lo que incidiría en las eficiencias y costos de producción.
- Además, con el Proyecto es necesario actualizar la estructura tarifaria aplicada a los usuarios del CIMIRS, mismas que actualmente debe ser asumidas por las personas físicas o morales que reciben los beneficios en los inmuebles o los locales en los que se realicen actividades comerciales, industriales o de servicios⁶⁰.
- Por otra parte, una amenaza identificada para el Proyecto consiste en la puesta en marcha de otros proyectos⁶¹ para la distribución de gas natural en el Estado de Quintana Roo.
- También, un escenario de no continuidad de las operaciones del CIMIRS por diferencias respecto al título de concesión entre los Ayuntamientos de Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos incidiría de forma negativa sobre el Proyecto.
- A su vez, la no extensión del título de concesión a la empresa privada que impida la continuidad de las operaciones en la etapa de disposición final del CIMIRS, también significa una amenaza sobre el Proyecto.
- Asimismo, el riesgo de interrupción a la implementación del proyecto por parte de las autoridades locales por cambios de gobierno.
- Al igual que la imposibilidad para acceder al financiamiento para su desarrollo.
- Desinterés y/o desconocimiento por parte de las autoridades estatales y municipales.
- Entendimiento parcial de los beneficios del proyecto que impidan su continuidad en la búsqueda del financiamiento para la implementación.
- Rechazo hacia el proyecto por determinados actores de interés.
- Desinterés de generadores de residuos sólidos orgánicos por gestionar sus residuos a través del proyecto.
- Continuidad de las condiciones vigentes para gestionar los residuos sólidos orgánicos bajo un esquema que omite su aprovechamiento.
- Variaciones en el mercado que limiten la disponibilidad o asequibilidad de la tecnología a emplear.
- Agotamiento de inventarios de proveedurías locales generen retrasos en el desarrollo del proyecto.
- La dispersión y lejanía de potenciales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos limite la disponibilidad de materia prima para el funcionamiento del proyecto.
- La incertidumbre jurídica en los posibles cambios en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la propuesta de la nueva Ley General de Economía

⁶⁰ Cabe señalar que dicha información corresponde a la Ley de Hacienda de Benito Juárez; última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 28 de diciembre de 2021, disponible en: <http://documentos.congresogroo.gob.mx/leyes/L139-XVI-20211228-L1620211228195.pdf>, sin que se tenga identificada la estructura tarifaria de los Ayuntamientos de Isla Mujeres y Puerto Morelos.

⁶¹ Por ejemplo, en el último año la empresa Gas Natural de Noreste es responsable de la instalación del gasoducto en Playa del Carmen, de acuerdo con el medio digital poresto.net, disponible en: <https://www.poresto.net/quintana-roo/2021/11/12/obras-del-gasoducto-en-playa-del-carmen-deben-ser-programadas-indica-funcionaria-298376.html>

Circular, se consideran amenazas al proyecto por la dilación que implicaría posibles nuevas obligaciones a los sujetos regulados, que pudieran retrasar la planeación, diseño y operación del proyecto.

9.3.1.2 Modelo CANVAS.

9.3.1.2.1 Segmentos de clientes.

El Proyecto Benito Juárez crea valor para los Ayuntamientos de Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos, así como de generadores de residuos sólidos orgánicos de los tres municipios, y de los sectores económicos que pueden ser los potenciales consumidores del biometano.

De este conjunto de actores y sectores, se destacan como los clientes más importantes a los sectores económicos que pueden ser los potenciales consumidores del biometano como parte esencial y/o complementaria de sus operaciones y/o funcionamiento.

9.3.1.2.2 Propuesta de valor.

- El valor que crea el Proyecto Benito Juárez para sus clientes consiste en la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y la generación de bioenergéticos renovables (biometano), lo que, a su vez permite contribuir a superar el desafío de su nulo o inexistente manejo sustentable, ocasionando una serie de impactos al agua, suelo y aire, así como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
- Con ello se satisface la necesidad de dar un tratamiento a dicha fracción de residuos, que es subutilizada como material de cobertura en la etapa de disposición final, también contribuye satisfacer la demanda de energéticos en la región y de contar con el material para la cubierta diaria de las celdas dentro del CIMIRS, permitiendo revertir la condición no deseada, en una oportunidad para la producción y comercialización de productos y ofertar servicios que el Proyecto detonaría.

9.3.1.2.3 Relación con los clientes.

- La relación con los diferentes segmentos del mercado sería de tipo contractual y de forma directa con el SIRE SOL⁶² que a través del pago de una tarifa permita recibir el servicio de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, así como mediante una relación contractual con los sectores económicos potenciales consumidores del biometano para la venta de este bioenergético renovable.
- Con las relaciones establecidas hasta el momento se ha elaborado el Estudio de mercado a nivel de prefactibilidad.

9.3.1.2.4 Canales de comunicación, distribución y venta.

⁶² Solución Integral de Residuos Sólidos, es el organismo descentralizado encargado de la recolección, manejo integral y disposición final de Residuos Sólidos de Benito Juárez. Disponible en: <https://www.siresolcancun.com/>

- El canal de comunicación, distribución y venta será directo entre proveedor y cliente; y se establecerá contacto a través del SIRE SOL y de forma directa mediante un área de ventas.
- Distribuidores de gas LP que puedan o quieran incluir el biometano en su cadena de distribución.

9.3.1.2.5 Fuentes de ingresos.

- Los clientes están dispuestos a pagar por un sistema de tratamiento de residuos sólidos especializado y sujeto a criterios de sustentabilidad.
- Actualmente, los clientes pagan por el acceso al servicio de recolección, trasladado, separación, recuperación y disposición final de residuos sólidos en el CIMIRS, y lo hacen a través de la ventanilla de Tesorería Municipal, por lo menos en el Ayuntamiento de Benito Juárez.
- Venta de biometano a consumidores de gas (CH₄)

9.3.1.2.6 Actividades clave.

- La propuesta de valor tiene como actividad clave el diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de tratamiento de residuos orgánicos para la generación de biometano. A su vez, en cuanto a canales de distribución, la actividad clave consiste en el desarrollo de un sistema comercial.
- Por cuánto a la relación con los clientes, la actividad clave radica en la formalización contractual ante generadores de residuos sólidos orgánicos y con los sectores económicos potenciales consumidores del biometano.
- Distribución del biometano.
- Finalmente, acerca de las fuentes de ingresos la actividad clave consiste en la determinación de la tarifa por el tratamiento de residuos sólidos orgánicos y el precio por venta del biometano.
- Plan y programas de capacitación continua
- Plan y programas de concientización para la separación de RSU orgánico y educación ambiental

9.3.1.2.7 Recursos clave.

- A su vez, los recursos clave que se requieren como parte de la propuesta de valor, consiste en el predio para el sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, generación y venta de biometano, contemplado al interior del CIMIRS. Además del capital humano capacitado para ejecutar labores de planeación, comercialización y permisos/autorización.
- Vehículos de recolección y plan logístico

- En cuanto a los recursos clave para la relación con los clientes, consisten en el capital humano capacitado para integración de cartera de clientes y formalización contractual.
- Se requieren como recursos clave el Proyecto Ejecutivo y Plan de Negocio elaborado por capital humano capacitado.

9.3.1.2.8 Socios clave

Podrían enunciarse distintos socios clave, como pueden ser: los gobiernos municipales, el Gobierno del Estado a través de la SEMA, las entidades financiadoras, las instancias de cooperación internacional, la CFE, y ONGs locales, así como la empresa de ingeniería procura y construcción (EPC por sus siglas en inglés) o epecista, responsable del diseño, los suministros necesarios y la construcción del proyecto y el operador especializado del Proyecto.

A su vez, los proveedores clave están conformados por los proveedores de materia prima, tal es el caso de los Restaurantes, Hoteles y Clubes de Playa; así como prestadores de servicios de recolección de residuos; y proveedores de tecnología y equipos.

Finalmente, los recursos y actividades clave que se adquiere de los socios consiste en el “Know How” de ingeniería, procura, construcción puesta en marcha y operación especializada.

9.3.1.2.9 Estructura de costos.

- Acerca de los costos inherentes más importantes del Proyecto Benito Juárez se enlista en orden de prelación al pago de los intereses bancarios (que ascenderían a un 23.4% de los costos totales); seguido de los costos de mantenimiento (que rondarían el 8.5%), recursos humanos (6.8% aproximadamente) y finalmente, el relacionado con el consumo de energía eléctrica (con un 6.2%). Todos en su conjunto acumulando más del 44.9% de los costos totales del proyecto.
- Bajo un abordaje para la identificación de los recursos clave más caros del Proyecto, en orden de mayor a menor magnitud, se enlistan a la inversión en equipo de metanización y depuración para la producción del biometano (con un 60.1% de la inversión total del proyecto incluyendo los imprevistos y capital de trabajo), así como los impuestos sobre el valor agregado (con un 11.9% de la inversión total).
- Por último, sobre las actividades clave más caras del Proyecto, están encabezadas por la operación del biodigestor, junto con el cargador frontal que en conjunto acumulan 11.11% de los costos de operaciones, seguida del mantenimiento de la obra civil y eléctrica con un 7.3% de la inversión fija.

9.3.2 Componente operativo.

Este componente incluye información de índole técnica para un mayor dimensionamiento del Proyecto Benito Juárez.

9.3.2.1 Macro localización.

El predio para el Proyecto se encuentra dentro del polígono del CIMIRS, que pertenece al Ayuntamiento de Benito Juárez, aunque se localiza dentro del territorio municipal de Isla Mujeres.

Figura 88: Macro localización del proyecto Benito Juárez.



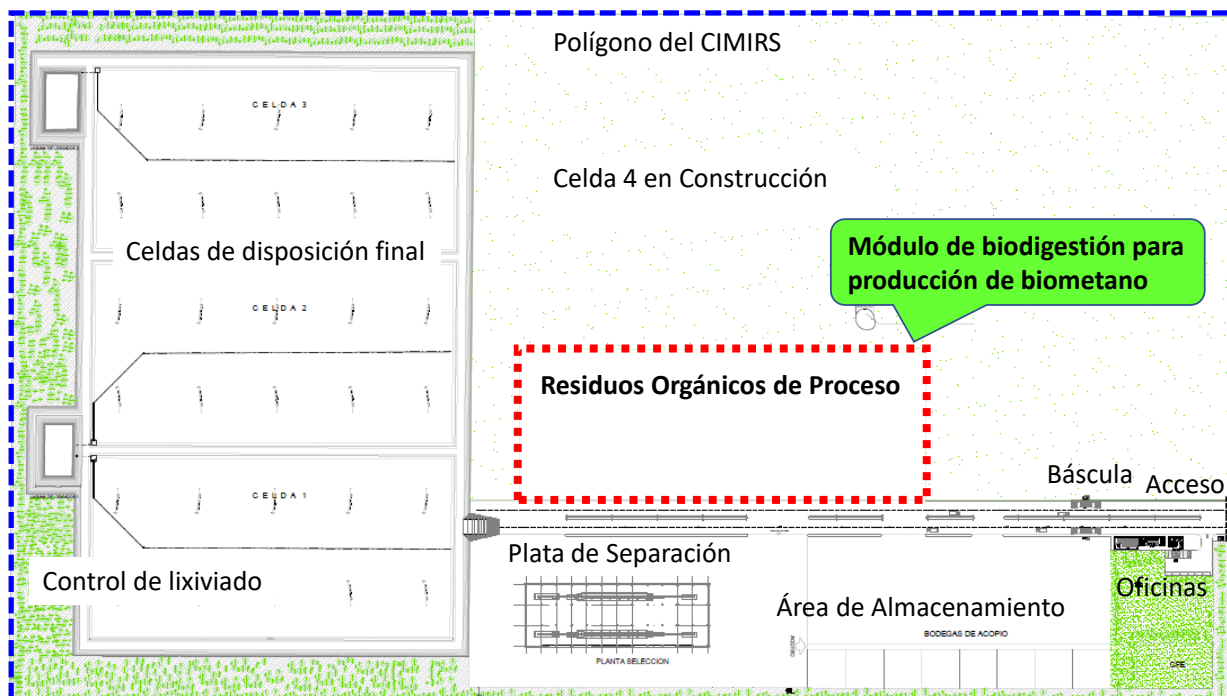
Fuente: elaboración propia con información del INEGI y aplicación de Google Earth.

9.3.2.2 Micro localización.

El proyecto del CIMIRS contemplaba originalmente una superficie dentro de su polígono para un componente denominado "Residuos orgánicos de proceso", misma que actualmente continua disponible. El desarrollo del Proyecto Benito Juárez complementa y potencia el tren de tratamiento de residuos sólidos del Centro, a partir del aprovechamiento de la materia orgánica recuperada en la planta de selección.

La zona para el Proyecto Benito Juárez dentro del CIMIR se localiza en la porción central, en la parte sur de la celda 4, actualmente en proceso de construcción y al norte de la zona de acceso y operaciones de la planta de separación.

Figura 89: Micro localización del proyecto Benito Juárez.



Fuente: adaptado del Proyecto Ejecutivo del CIMIRS, 2012. SIREVOL-Ayuntamiento de Benito Juárez.

9.3.2.3 Características del terreno.

El CIMIRS en su totalidad tiene una superficie de 361,327.50 m² (equivalente a 36.1 hectáreas), de esta superficie, 26,437.089 m² están destinadas al concepto "Área de procesamiento de residuos orgánicos" (equivalentes a 2.6 hectáreas)

Al inicio del proyecto, el polígono del CIMIRS contaba con vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia, misma que fue removida para el desarrollo de los trabajos de preparación para el desplante de los distintos componentes e infraestructura de Centro. La franja arbórea perimetral de amortiguamiento consta de una superficie de 35,497.246 m² (3.5 hectáreas) que aparentemente se mantienen sin alteración alguna.

El resto de la superficie del terreno se ha utilizado para la construcción y operación de la infraestructura y equipamiento del CIMIRS, principalmente por las celdas de disposición final, lagunas de lixiviados, vialidades internas y áreas de pesaje, área de separación y pretratamiento, bodegas, oficinas y servicios, área verde y estacionamiento y casetas.

Figura 90: Características del terreno.



Fuente: elaboración propia con aplicación de Google Earth.

9.3.2.4 Diseño de planta.

El proyecto consiste en la instalación de un módulo de biodigestión para producción de biometano a partir de la materia orgánica recuperada (MOR) proveniente de la planta de selección ubicada al interior del CIMIRS que proporciona el servicio de tratamiento y disposición final a los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos, el cual contará con una **capacidad de procesamiento de 411 ton/día** o 150,115 ton/año y una **vida útil proyectada a 15 años**.

La infraestructura contemplada consta de un fermentador, un tanque de percolado, un gasómetro, una antorcha de emergencia, un módulo de upgrading de biogás a biometano y un compresor.

El arreglo consta de 24 fermentadores tipo contenedor, 4 fermentadores de percolado; además de los componentes técnicos y eléctricos, sistema de calefacción, aire presurizado, aire de ventilación, análisis de gases colocados sobre el techo de los fermentadores. Posteriormente, para la fase de upgrading se cuenta con un sistema de filtración y secado de biogás, seguido por módulos adicionales de filtración para ácido sulfhídrico y compuestos orgánicos volátiles, para finalmente pasar por un sistema de membranas que permiten separar el dióxido de carbono y el agua, alcanzando la calidad necesaria para la compresión del biometano.

La extensión contemplada para las instalaciones es de 10,500 m², adicionalmente, se integrarían elementos de apoyo como caminos de acceso, áreas operativas, estacionamiento y áreas verdes alcanzando con esto **un área total de 2 Ha**.

Como productos principales se contará con una generación de **biometano de 275,974 MMBTU/año gas natural**, además generación de **digestato estabilizado con un volumen de 381.4 ton/día**, mismas que serán aprovechadas en el sitio como cobertura diaria de las celdas de disposición final. Adicionalmente, con el proyecto se mitigarán **166,653 tCO₂e anuales**.

Figura 91: Sistema de depuración de biogás.



Fuente: AB Energy, 2022.

9.3.3 Componente administrativo.

9.3.3.1 Estructura organizacional.

Cada una de las áreas que conforman la estructura organizacional del Proyecto Benito Juárez tiene una serie de responsabilidades que ejecutadas de forma conjunta y coordinada y bajo un esquema de seguimiento contribuyen al cumplimiento del objetivo sobre la producción y comercialización del biometano y utilización del digestato como materia de cobertura en la celda de disposición final de residuos del CIMIRS, y de manera enunciativa se plantean las siguientes:

- **Director de Planta** es el responsable del desarrollo y operativización del Proyecto Benito Juárez en todas sus etapas y tendrá como algunas de sus responsabilidades
 - Definir los objetivos y planificar las actividades para su consecución.
 - Delegar tareas a los colaboradores para el correcto funcionamiento del proyecto.
 - Supervisar a los departamentos o área para orientar a los colaboradores en sus tareas, tomando en cuenta las decisiones tomadas por una junta directiva de orden jerárquico superior que regula al proyecto y la labor del director.
 - Optimizar procesos, analizar eficiencias de operaciones e implementar estrategias.
 - Actuar de forma inmediata para solucionar problemas en circunstancias determinadas.
 - Medir resultados incluyendo la mejora continua, el rendimiento y eficiencia de las distintas áreas del Proyecto, así como satisfacción del cliente y de los colaboradores.

- Evaluar resultados de cada parte de la cadena de producción y de suministros.
- Informar y transmitir datos hacia la junta directiva de orden jerárquico superior sobre el funcionamiento del proyecto.
- Representar al Proyecto ante los distintos actores y sectores relacionados directa e indirectamente con el proyecto.
- **Administrativo**, participa en la planificación, organización y control del Proyecto Benito Juárez con las siguientes responsabilidades:
 - Planificar los objetivos, las acciones, los métodos y los recursos que se necesitan para obtener buenos resultados.
 - Organizar la distribución de las responsabilidades, la autoridad y los recursos entre los colaboradores.
 - Administrar los recursos de entrada y salida en las distintas etapas de proyecto.
 - Rendir cuentas sobre los ingresos y egresos del proyecto en sus distintas etapas.
 - Constituir el enlace al de comunicación al interior y con los distintos actores en todas de las etapas de proyecto.
- **Área de operaciones**, con la responsabilidad de realizar aquellas actividades que permitan el funcionamiento del proyecto, integrará a las áreas operativas con las siguientes funciones:
 - Mantenimiento electromecánico:
 - Monitorear funcionamiento de equipo e instalaciones electromecánicas.
 - Mantener, reparar y revisar los equipos.
 - Modificar, instalar, remover equipos defectuosos.
 - Desarrollar programas de mantenimiento preventivo y programado.
 - Generar informes técnicos sobre el mantenimiento.
 - Operadores de biodigestor:
 - Preparar arranque y puesta en marcha del biodigestor.
 - Mantener en biodigestor en operación.
 - Programar paros por mantenimiento del biodigestor.
 - Monitorear el funcionamiento del biodigestor.
 - Informar a la dirección y administración sobre requerimientos para el correcto biodigestor.
 - Generar informes técnicos sobre eficiencias de procesos.
 - Diseñar, promover e implementar medidas de seguridad.

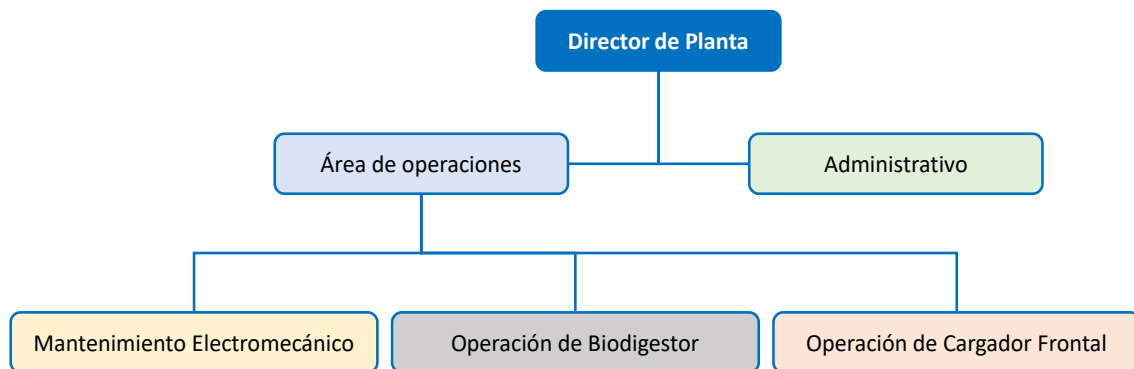
- Operadores de cargador frontal:
 - Carga y descarga de la materia prima para el proceso de biodigestión.
 - Controlar inventarios de materia prima y de producto.
 - Operar de manera adecuada el cargador.
 - Atender e implementar medidas de seguridad.
 - Monitorear el funcionamiento regular del equipo.
 - Programar mantenimiento preventivo del equipo.

Al contar con legislación concurrente entre los tres ámbitos de gobierno, es deseable que integre en su plantilla administrativa a un responsable del cumplimiento, ambiental de los 3 ámbitos de gobierno en materia de residuos y cambio climático, energético, social y financiero con expertise en materia de impuestos y de ser deseable impuestos ecológicos.

9.3.3.2 Organigrama.

A fin de atender las necesidades del Proyecto y garantizar con la mayor agilidad e innovación su funcionamiento en conjunto con los procesos actuales del CIMIRS, se plantea una estructura de red⁶³ como su forma de organizacional a fin de potenciar las ventajas como el trabajo en equipo, capacidad de adaptación, agilidad de proceso internos, colaboración continua y compromiso.

Figura 92: Organigrama del proyecto Benito Juárez.



Fuente: elaboración propia.

9.3.3.3 Listado de cargos y cantidades por área.

En total, el Proyecto Benito Juárez va a requerir de un equipo de trabajo de 20 personas, siendo el área de operaciones donde se demandará la mayor cantidad del capital humano, como se muestra a continuación:

⁶³ Considerando algunas características sobre las Redes de Equipos como Estructuras Organizacionales, disponible en: <https://runahr.com/mx/uncategorized-mx/que-son-las-redes-de-equipos-como-estructuras-organizacionales/>

Tabla 78: Listado de cargos y cantidades.

Cantidad	Elemento
1	Director de planta
1	Administrativo
18	Área de operaciones
	4 en Mantenimiento electromecánico
	6 en Operadores de biodigestor
	8 en Operadores de cargador frontal

Fuente: elaboración propia.

9.3.4 Componente financiero.

La inversión total del Proyecto Benito Juárez asciende a \$43.6 millones de USD para el periodo de 15 años, con una reinversión en los años 5 y 10 del orden de los \$1.6 millones de USD. Destaca el tema de recursos humanos, por concepto de gasto de nómina, que asciende a \$28,500 USD/mes o su equivalente a \$342,000 USD/año.

Referente a los costos de producción, para el biometano generado es de \$17.44 USD/MMBTU⁶⁴, en tanto que, para la materia orgánica recuperada (MOR) es de \$32.08 UDS/Ton.

Sobre los costos totales de productos y servicios, para el total del proyecto ascienden a \$75.5 millones de USD, de los cuales \$43.5 millones de USD corresponden al año 1.

Respecto a las ventas totales de productos y servicios, se estiman ingresos por \$8.4 millones de USD, equivalentes a \$126.1 millones de USD en 15 años por venta de biometano y tasa de cobro por tratamiento a los usuarios del sistema.

Acercas de los indicadores financieros sobre los beneficios y rentabilidad del Proyecto el VAN⁶⁵ es de \$3.4 millones de USD, con una TIR⁶⁶ de 14.9%.

⁶⁴ La unidad térmica británica (BTU) es una unidad de energía utilizada en las industrias de energía, generación de vapor, calefacción y aire acondicionado. En los entornos científicos, la unidad de energía SI, el joule [J], ha sustituido en gran medida a la BTU. De acuerdo con la información disponible en: [https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/british-thermal-unit#:~:text=La%20unidad%20t%C3%A9rmica%20brit%C3%A1nica%20\(BTU,gran%20medida%20a%20la%20BTU](https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/british-thermal-unit#:~:text=La%20unidad%20t%C3%A9rmica%20brit%C3%A1nica%20(BTU,gran%20medida%20a%20la%20BTU)

⁶⁵ Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VPN) es la suma de los beneficios netos futuros del proyecto actualizado a un año común a una tasa de descuento relevante. En el caso de una evaluación privada será considerada la tasa de mercado. de acuerdo con el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), disponible en:

https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf

⁶⁶ La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa máxima que soportaría el proyecto para ser rentable, cualquier tasa de descuento mayor que la TIR ocasionaría que el VPN del proyecto es negativo, por lo tanto, el proyecto deberá ser rechazado. Cualquier tasa de descuento inferior a la TIR garantizará una rentabilidad positiva para el proyecto, por lo tanto, será conveniente realizarlo. Sin embargo, atrás de este método hay un supuesto generalmente poco considerado, pero altamente significativo, se considera que los flujos son “bien comportados”, es decir, tienen un periodo inicial en que los flujos netos son negativos y el resto de los flujos netos futuros son positivos, lo cual no generalmente sucede en los proyectos. *Idem*

9.3.5 Componente jurídico.

Dentro de las actividades del Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos (CIMIRS), debe de modificarse el alcance y proyección de dicho centro y su estructura organizacional para incluir el componente de bioeconomía como parte integral de su misión, visión y nueva perspectiva como modelo de negocio circular para que pueda considerarse como un elemento a calificar en la posible incorporación de impuestos verdes y/o impuestos ecológicos de competencia local. De igual forma, modificar su plan de contingencias incorporando los riesgos respecto el almacenamiento de biometano, manuales de seguridad, operación, atención de emergencias y la capacitación constante conforme a la Ley Federal del Trabajo.

Para efecto del desarrollo del proyecto, es indispensable considerar en los contratos con los grandes generadores, transportistas y en su caso posibles centros de transferencia que tengan carácter de prestadores de servicio; respecto el ingreso al sitio, la seguridad y operaciones internas.

Respecto de los contratos integrar las cláusulas de penalización por incumplimiento, por posible contaminación a otros predios ya sea por abandono de residuos, accidente o bien robo de la materia prima en el traslado de la materia orgánica. Los contratos con los grandes generadores si son suscritos por más de 5 años para el suministro de los orgánicos deben ser inscritos en el Registro Público de la Propiedad y de Comercio.

Previo a la posible aprobación del proyecto de impuestos verdes y/o impuestos ecológicos en el estado, es necesario identificar las categorías y posibles porcentajes sujetos a deducción del impuesto para que se puedan acreditar. En el supuesto que se apruebe una posible Norma Oficial para el Aprovechamiento del Sargazo podría explorarse como posible línea adicional de negocio el aprovechamiento de este, lo cual incrementaría su rentabilidad y aprovechamiento del biometano.

9.3.6 Análisis del modelo de negocio.

El Proyecto Benito Juárez complementa y potencia el tren de tratamiento de residuos sólidos del CIMIRS, a partir del aprovechamiento de la materia orgánica recuperada en la planta de selección, generando un impacto positivo al recuperar recursos y energía de productos desechados, como lo es la fracción de orgánicos que hoy se emplean como material de cobertura en la etapa de disposición final, por lo que se podría catalogar como un modelo de negocio circular⁶⁷.

Además, los productos generados por el proyecto tienen una demanda, por los distintos sectores económicos potenciales consumidores del biometano a nivel de la región en la Entidad, y del digestato, directamente en el CIMIRS para la continuidad de sus operaciones.

La sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y la generación de bioenergéticos renovables (biometano) como el valor que crea para sus clientes el Proyecto Benito Juárez, contribuye a revertir las afectaciones e impactos al agua, suelo y aire que ocasionan, junto con las emisiones de GEI.

⁶⁷ Para mayor referencia de Modelos de Negocio Circulares se pueden consultar las siguientes publicaciones: Modelos de negocio basados en la economía circular y Curso el virtual "Economía Circular por un Mundo sin Residuos" Nota Técnica No.5 Modelos de negocio en la economía circular, disponibles en: <https://www.pactomundial.org/biblioteca/whitepaper-economia-circular/> y <https://www.unmundosinresiduos.com/cec-pdfs/CEC.NotaTecnica05.ModelosNegociosCirculares.VF.pdf>

De acuerdo con el análisis estratégico, desde la perspectiva costo-beneficio social se trata de un proyecto rentable debido a que el valor de los beneficios generados por el proyecto es mayor a los costos que el mismo representa.

Operativamente, el proyecto se ancla a la infraestructura de tipo estratégica con que se cuenta en la región norte de la entidad e implica la operación de una tecnología robusta y probada.

Desde el punto de vista administrativo, el funcionamiento del Proyecto demanda de personal especializado con una estructura organizacional simple o poco robusta.

Sobre la inversión total del Proyecto Benito Juárez asciende a \$54.2 millones de USD para el periodo de 15 años, con una reinversión en los años 5 y 10 del orden de los \$1.6 millones de USD. Destaca el tema de recursos humanos, por concepto de gasto de nómina, que asciende a 28,500 USD/mes o su equivalente a 342,000 USD/año.

Referente a los costos de producción, para el biometano generado es de \$17.44 USD/MMBTU, en tanto que, para la materia orgánica recuperada (MOR) es de \$32.08 UDS/Ton.

Acerca de los indicadores financieros sobre los beneficios y rentabilidad del Proyecto el VAN es de 3.4 mmd, con una TIR de 14.9%.

10 Resultados clave.

Con base en lo anteriormente presentado, los aspectos más destacables y diferenciadores para el desarrollo de ambos proyectos se presentan a continuación:

10.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

La solución contemplada consiste en una tecnología de tratamiento robusta y probada que desviaría de la disposición final aproximadamente un tercio de los residuos sólidos orgánicos generados en la Isla, mitigando de esta forma las correspondientes emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Así también, es necesario resaltar que los productos generados por este Proyecto, consistentes en energía eléctrica y composta o mejorador de suelo, cuentan con una demanda en el territorio insular; en el primer caso ante la dependencia del suministro eléctrico desde el macizo continental y en el segundo debido a la demanda potencial para operaciones de ornato por parte del sector de prestadores de servicios turísticos.

La evaluación financiera del proyecto presenta resultados positivos, la Tasa Interna de Retorno (TIR) que el proyecto brindará es mayor a la tasa de descuento empelada (TIR 12.5% > TD 10%). Por su parte, la evaluación económica, refleja que el proyecto es beneficioso para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto, ya que, la Tasa Interna de Retorno Social es mayor a la Tasa Social de Descuento (TIRS 20.94% > TSD 10%)

10.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

El proyecto podría anclarse a la infraestructura estratégica de la región norte de la entidad que ya se encuentra en operaciones y permitiría potenciar beneficios en materia de reducción de emisiones de GEI, como en la continuidad de las operaciones sobre el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos ya estabilizados derivado de su biodigestión, manteniendo a su vez la disponibilidad de material de cobertura para la disposición final.

Se cuenta con un prestador de servicios especializado en el manejo de residuos por lo que una ampliación de su participación de las operaciones actuales permitiría mejorar aún más los indicadores de gestión de residuos de los municipios atendidos, así como materializar una serie de cobeneficios ambientales y sociales asociados a la producción y disponibilidad del biometano como un bioenergético renovable.

La evaluación financiera del proyecto presenta resultados positivos, la Tasa Interna de Retorno (TIR) que el proyecto brindará es mayor a la tasa de descuento empelada (TIR 14.9% > TD 10%). Por su parte, la evaluación económica, refleja que el proyecto es beneficioso para la economía, el ambiente y la sociedad en su conjunto, ya que, la Tasa Interna de Retorno Social es mayor a la Tasa Social de Descuento (TIRS 49.12% > TSD 10%)

11 Conclusiones y recomendaciones.

Finalmente, de forma concisa y puntual se exponen las principales conclusiones y recomendaciones vinculadas a los dos proyectos que fueron objeto de desarrollo y análisis:

11.1 Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel.

El modelo construido para el Proyecto de Cozumel crea valor consistente en la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y generación de energías limpias, permitiendo solucionar el problema de su nulo o inexistente manejo sustentable, ocasionando una serie de impactos al agua, suelo y aire, así como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Con ello se satisface la necesidad de dar un tratamiento a dicha fracción de residuos, que actualmente es desaprovechada y enviada a disposición final, se contribuye a satisfacer la demanda de energía eléctrica y de composta, permitiendo revertir dicha condición no deseada, en una oportunidad para la prestación de servicios de tratamiento de residuos sólidos orgánicos y producción de energía eléctrica y composta que el Proyecto detonaría.

Parte de las virtudes del proyecto de Cozumel es la contribución para desacoplar la demanda de material virgen y contribuir a la recuperación, clasificación y procesamiento de recursos para la obtención de energías útiles a partir de subproductos desechados, por lo que podría catalogarse como un negocio basado en la economía circular.

Complementariamente, el proyecto de generación de energía eléctrica de la Isla de Cozumel, de acuerdo con el marco jurídico vigente, se considera un proyecto de generación distribuida en la modalidad de generador exento, esto debido a que la capacidad instalada estimada sería menor a los 0.5MW (500kW). Cabe señalar que los generadores exentos no requieren permiso para generar electricidad por parte de la Comisión Reguladora de Energía, sin embargo, si requieren concretar un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad, así como cumplir con especificaciones técnicas y de calidad para poder interconectar la central de generación (CRE, 2017).

Adicionalmente, tendrá especial relevancia la determinación del predio para el desarrollo del Proyecto, lo que podría incidir en su evaluación financiera en beneficio de una mayor rentabilidad.

Una de las actividades iniciales en el desarrollo del proyecto, debe incluir la revisión y actualización del documento de concesión del servicio de manejo de residuos en la isla, a fin de plantear los ajustes pertinentes que contribuyan a su viabilidad.

La revisión de la legislación vigente en materia de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos será determinante en la viabilidad del Proyecto; sobre todo para prever cualquier incidencia en el mismo derivado de la incertidumbre en el sector energético por posibles cambios en el marco legal, en el mediano plazo.

De suma importancia es la revisión, ajuste y actualización de la estructura tarifaria aplicada a los usuarios del servicio de manejo de residuos sólidos en la isla, que abonaría en la rentabilidad del proyecto y por ende en su viabilidad.

Desde la perspectiva financiera y económica, el Proyecto de generación de energía para el municipio de Cozumel, Quintana Roo, se prevé como un proyecto puro, es decir que sus costos e ingresos corresponden exclusivamente a la producción de los productos de éste, como lo son la composta y la energía. Por lo que se estima puede ser ejecutado como un proyecto público, es decir empleando recursos del sector público nacional. Para el cual se estimó un 50% con fondos

federales o en calidad de subvención (no repago) y el 50% restante con fondos propios del Estado.

Las evaluaciones financieras, económica y social para el proyecto muestran resultados positivos, lo que permite efectuar una socialización en búsqueda de financiamiento para poder ser ejecutado.

El proyecto, presenta oportunidades de mejorar los indicadores obtenidos, ya que existe una alta sensibilidad a cambios en el precio de venta de la composta, tarifa de tratamiento de residuos orgánicos y al precio de venta de la energía, este último es un precio regulado por la CRE, por lo que el proyecto podría entrar al sistema en los horarios de alta demanda cuando el precio marginal local es mayor.

Finalmente, evaluar la pertinencia de involucrar como parte de la socialización del Proyecto a ciertos actores que, con clave, como pueden ser el Gobierno del Estado de Quintana Roo a través de la SEMA, el Ayuntamiento de Cozumel, representantes del gremio de hoteles, restaurantes y clubes de playa, así como ONG locales.

11.2 Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

El Proyecto de Benito Juárez crea valor mediante la sustentabilidad en el manejo de los residuos orgánicos y la generación de bioenergéticos renovables (biometano), lo que, a su vez permite contribuir a superar el desafío de su nulo o inexistente manejo sustentable, ocasionando una serie de impactos al agua, suelo y aire, así como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Con ello se satisface la necesidad de dar un tratamiento a dicha fracción de residuos, que es utilizada como material de cobertura en la etapa de disposición final, también contribuye a satisfacer la demanda de biocombustible renovable en la región y de contar con el material para la cubierta diaria de las celdas dentro del CIMIRS, permitiendo revertir dicha condición no deseada, en una oportunidad para la producción y comercialización de productos y ofertar servicios que el Proyecto detonaría.

Adicionalmente, es de resaltar que el sustrato proveniente de la planta de separación al interior del CIMIRS cuenta con una gran calidad, misma que impactaría positivamente en la generación de biometano y digestato, por lo que el Proyecto de Benito Juárez complementa y potencia el tren de tratamiento de residuos sólidos, a partir del aprovechamiento de la materia orgánica recuperada e la planta de selección.

A partir de lo anterior, se consideran como virtudes del Proyecto de Benito Juárez su contribución para desacoplar la demanda de material virgen y contribuir a la recuperación, clasificación y procesamiento de recursos para la obtención de energías útiles a partir de subproductos desechados, por lo que podría catalogarse como un negocio basado en la economía circular.

Bajo un enfoque financiero y económico, el Proyecto de generación de biometano se prevé como privado, el cual puede ser sujeto de financiamiento externo, ya que, al presentar condiciones para el repago, representa una oportunidad de mercado y de reducción de los GEI.

Las evaluaciones financieras, económica y social para el proyecto son altamente favorables, por lo que éste es atractivo para el sector privado y sus indicadores económicos, se encuentran dentro de los parámetros de la banca nacional e internacional, que lo hacen viable.

A su vez, los indicadores pueden verse mejorados ya que, al realizar el análisis de sensibilidad, se observó una variación favorable de los mismos al aumentar el precio de la venta de biometano, comparándose con los precios al 2021 de los hidrocarburos en el mercado internacional.

También, se analizó el impacto en el cambio de la tarifa del tratamiento de la fracción orgánica proveniente de la planta de separación, la cual con valores por debajo de MXN 1,000 por tonelada hacen que el proyecto no sea rentable, aspecto que debe ser analizado con detalle por el municipio.

Lo anterior, supondría una reducción del grado de complejidad y condiciones de financiamiento para el proyecto debido a los beneficios ambientales como la reducción de emisiones de GEI o la generación del bioenergético renovable.

Será de gran relevancia, aprovechar el impasse por la inexistencia de una oferta de gas natural en Quintana Roo por lo menos en el corto plazo; lo que, a su vez, permitiría la detonación de un nuevo nicho de mercado de combustibles en la región, a partir de la comercialización del bioenergético renovable (biometano) y con ello, la consolidación del Proyecto como modelo replicable en otras regiones de la Entidad o del país.

Algunos temas que deberán llevarse a un análisis posterior para la determinación de medidas en beneficio del Proyecto de Benito Juárez consisten en: la lejanía del predio propuesto para el desarrollo del proyecto y los potenciales consumidores del bioenergético renovable (biometano),

el esquema de su distribución y comercialización, así como las potenciales problemáticas asociadas al almacenamiento y excedentes.

También, de especial importancia es la revisión y planteamiento de medidas para evitar un escenario de no continuidad de las operaciones del CIMIRS por diferencias respecto al título de concesión entre Ayuntamientos involucrados; así como la no extensión del título de concesión a la empresa privada que repercuta en sus operaciones en la etapa de disposición final.

12 Bibliografía.

Antecedentes

- GIZ. 2017. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. SENER-SEMARNAT-CONAGUA-ANEAS-GIZ. México. Disponible en:
<https://www.giz.de/en/downloads/giz2017-es-digital-Gu%c3%ada-lodos.pdf>
- Mutz, D. *et al.* 2017. Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos. Guía para los Responsables de la Toma de Decisiones en Países en vías de Desarrollo y Emergentes. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Bonn y Eschborn, Alemania. Disponible en:
<https://www.giz.de/en/downloads/Guia%20GIZ%202017%20WasteToEnergy%20-%20SP.pdf>
- SEMARNAT. 2019a. Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable: Cero Residuos. México, Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf
- SEMARNAT. 2019b. Visión Basura Cero. Líneas de Implementación. México. Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/463684/Vision_Basura_Cero_-_Lineas_de_Implementacion_13_03_2019_.pdf
- SEMARNAT. 2020. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- SENER. 2017. Mapa de Ruta Tecnológica Biogás. México. Disponible en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329895/Mapa_Ruta_Tecnologica_BIOGAS_Final-Red.pdf
- SHCP. 2013. Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. Diario Oficial de la Federación 30/12/2013. Disponible en:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5328458&fecha=30/12/2013

Análisis de tecnologías para el aprovechamiento energético de RSU-fracción orgánica con tecnología de biogás.

- Cabral, C. 2015. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil substratos, digestores e uso de biogás. Brasília, disponible en:
<https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-metanizacao-rsu.pdf>
- Colturato, L. 2015. O estado da arte da tecnologia de metanização seca / Probiogas. Brasília, disponible en:
<https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-metanizacao-rsu.pdf>

- Colturato, L. 2017. Biogás en el Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), presentación empleada durante el Taller Factores Técnicos-Económicos de Proyectos de Aprovechamiento Energético de RSU. GIZ México-SENER-SEMARNAT. Inédita.
- Costa, C. et al. 2017. Legislación internacional aplicable a la valorización energética de los residuos y el coprocesamiento. Federación Interamericana del Cemento (FICEM), disponible en:
http://ficem.org/dev/wp-content/uploads/2018/09/2_Estudio-de-legislacion-internacional-aplicable-a-la-valorizacion.pdf
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2017. Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos. Guía para los Responsables de la Toma de Decisiones en Países en vías de Desarrollo y Emergentes. Eschborn, disponible en:
<https://www.giz.de/en/downloads/Guia%20GIZ%202017%20WasteToEnergy%20-%20SP.pdf>
- Kallassy, M., Efremenco, B., Champel, M. 2008. Waste Processing. The Status of Mechanical and Biological Treatment, France, disponible en:
https://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base/?tx_iswaknowledgebase_searchbox%5Bsearchphrase%5D=MBT%20&cHash=00ea7b8b0bf8f5b170a25f052174ace1
- Rudder, W., et al. 2005. Review of Alternative Solid Waste Management Methods for GVRD. Prepared for the Greater Vancouver Regional District.
- Wilken, D. et al. 2017. Biogas to Biomethane. GBA-GIZ-ISWA. Alemania, disponible en:
<https://www.biogas-to-biomethane.com/Download/BTB.pdf>
- Wilken, D. et al. 2018. Digestato como Fertilizante. GBA-GIZ-ISWA. Alemania, disponible en:
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato_como_fertilizante.pdf
- Wilken, D. et al. 2019. Biowaste to Biogas. 2da Edición. GBA-GIZ-ISWA. Alemania, disponible en:
<https://biowaste-to-biogas.com/Download/biowaste-to-biogas.pdf>
- World Bank. 2011. Viability of Current and Emerging Technologies for Domestic Solid Waste Treatment and Disposal: Implications on Dioxin and Furan Emissions. San Juan, Puerto Rico, disponible en:
<http://documentos.bancomundial.org/curated/es/957511468266721018/pdf/701660ESW0P1250an0Emissions00Final0.pdf>

Impactos ambientales

- Agencia de Residuos de Cataluña. 2006. Ampliación, adecuación y explotación del Centro Integral de Valoración de Residuos del MARESME. Estudio preliminar de Impacto Ambiental. España, disponible en:
http://www.cresidusmaresme.com/media/files/file_441_3102.pdf

- Allan Astorga Gättgens (compilador y autor) (2006). Guía ambiental centroamericana para el sector de desarrollo de infraestructura urbana, UICN / ORMA, San José, Costa Rica. 99 pp, disponible en:
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-098.pdf>
- Cámara Chilena de la Construcción. 2014. Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Construcción. Chile, disponible en:
<http://www.cchc.cl/centro-de-informacion/publicaciones/publicaciones-manuales-tecnicos/manual-de-buenas-practicas-ambientales-para-la-construccion-cchc-105>
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 2006. Evaluación de Impacto Ambiental para Centroamérica. CCAD-UICN. Costa Rica, disponible en:
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2002-019-6.pdf>
- ONU. 2008. Base Referencial Mundial Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. Disponible en:
<http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>
- Ministerios de Energía/ GIZ. 2012. Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINENERGÍA/GIZ), Chile, disponible en:
<http://www.minenergia.cl/biogaslechero/wp-content/uploads/2015/12/quiaplanificacionproyectosbiogasweb.pdf>
- Ministerio de Energía. 2012. Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Biomasa y Biogás. Ministerio de Energía-Servicio de Evaluación Ambiental, Chile, disponible en:
http://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/20121109_bio_terminada.pdf
- Ministerio de Salud. 1992. Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales. Chile, disponible en:
http://juridico1.minsal.cl/4_DE_1992.doc
- Quiroga, R. y J. Milewski. 2007. Lineamientos de implementación de la política de medio ambiente y cumplimientos de salvaguardia. División de Medio Ambiente, Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C. disponible en:
<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1904450>
- RESA. 2009. Proyecto Técnico y Estudio de Impacto Ambiental del Centro de Gestión de Residuos de GIPUZKOA. España, disponible en:
http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/gipuzkoako_hondakin_kudeaketa/es_doc/adjuntos/proyecto_tecnico_y_esia.pdf
- Servicio de Evaluación Ambiental. 2012. Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de la Fase de Construcción de Proyectos, Chile, disponible en:
http://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/guias/Fase_de_construccion_final_130129.pdf
- Veolia, 2018. Manifestación de Impacto Ambiental para la Ampliación del Relleno Sanitario en el Municipio de Silao, Guanajuato, México.

Impactos sociales

- Tapella, E. (2007) El mapeo de Actores Claves, documento de trabajo del proyecto Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario. Universidad Nacional de Córdoba, Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), Argentina. Disponible en:
<https://planificacionsocialunsi.files.wordpress.com/2011/09/quc3a9-es-el-mapeo-de-actores-tapella1.pdf>
- Vanclay, F. 2015. Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales en proyectos (BID, trad.) Fargo, Dakota del Norte: Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos. Disponible en:
<https://www.iaia.org/uploads/pdf/Evaluacion-Impacto-Social-Lineamientos.pdf>

Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel

- BEKON GmbH, Cotización para Municipalidades de Cartago, El Guarco, Jiménez, La Unión, Paraíso y Oreamuno, Costa Rica, 2019.
- BEKON GmbH, Cotización para Municipalidades de Cartago, El Guarco, Jiménez, La Unión, Paraíso y Oreamuno, Costa Rica, 2019.
- CEPAL, El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina, 2019: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>
- CEPAL, El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina, 2019: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>
- CFE, Tarifa APBT, Alumbrado Público en Baja Tensión, marzo 2022: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/AlumbradoPublicoBT.aspx>
- CFE, Tarifa APBT, Alumbrado Público en Baja Tensión, marzo 2022: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/AlumbradoPublicoBT.aspx>
- Comexi, (octubre de 2020). Costos Horarios Actualizados de la página web. <http://www.comexi.com.mx/>
- Comexi, (octubre de 2020). Costos Horarios Actualizados de la página web. <http://www.comexi.com.mx/>
- Comisión Reguladora de Energía, Generación Distribuida, 2017: <https://www.gob.mx/cre/articulos/generacion-distribuida-102284>
- ENRES, Proyecto Demostrativo de Biodigestión para la Isla de Cozumel, 2019.
- ENRES, Proyecto Demostrativo de Biodigestión para la Isla de Cozumel, 2019.
- Gasolina México, Precios de la Gasolina en el Estado de Quintana Roo, 8 de marzo 2022:
- Gasolina México, Precios de la Gasolina en el Estado de Quintana Roo, 8 de marzo 2022:

<https://gasolinamexico.com.mx/estados/quintana-roo/>

<https://gasolinamexico.com.mx/estados/quintana-roo/>

- IDOM, Ingeniería de Detalle Xalapa, 2021.
- IDOM, Ingeniería de Detalle Xalapa, 2021.
- Methanum Engenharia Ambiental Ltda-ME, Desenvolvimento e Implantação de Sistema de Metanização para Valorização Energética de Resíduos Orgânicos, Prefeitura de Cozumel, febrero 2019.
- Methanum Engenharia Ambiental Ltda-ME, Desenvolvimento e Implantação de Sistema de Metanização para Valorização Energética de Resíduos Orgânicos, Prefeitura de Cozumel, febrero 2019.
- Methanum, Cálculo rápido de aprovechamiento energético a partir de MOR, 2022.
- Methanum, Cálculo rápido de aprovechamiento energético a partir de MOR, 2022.
- Stadler, Planta de Tratamiento Mecánico Proyecto 350 ton/día, 2020.
- Stadler, Planta de Tratamiento Mecánico Proyecto 350 ton/día, 2020.

Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres

- AB Energy, Cotización para Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, México, 2022.
- BEKON GmbH, Cotización para Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, México, 2022.
- CEPAL, El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina, 2019: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>
- Comexi, (octubre de 2020). Costos Horarios Actualizados de la página web. Recuperado el 9 marzo 2022 de
- CRE, Índices de Referencia de Precios de Gas Natural
- Gasolina México, Precios de la Gasolina en el Estado de Quintana Roo, 8 de marzo 2022:
- GIZ HdR y Estudios de Prefactibilidad Quintana Roo 2021.
<http://www.comexi.com.mx/>
<https://gasolinamexico.com.mx/estados/quintana-roo/>
<https://www.cre.gob.mx/IPGN/>
- IDOM, Ingeniería de Detalle Xalapa, 2021.
- Stadler, Planta de Tratamiento Mecánico Proyecto 350 ton/día, 2020.

Preparación de Flujo de Caja y Determinación de Indicadores Financieros: Proyecto de generación de energía para territorio insular: Cozumel

- Iniciativa Climática de México. (2022). Observatorio de Transición Energética de México. https://obtrenmx.org/pml_mda_nd

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022, Febrero 1). Balanza comercial. <https://www.inegi.org.mx/temas/balanza/#>
- Ley del Impuesto sobre la Renta (2021 & rev. Última reforma publicada DOF 12-11-2021).
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf>
- Maldonado, J. (2022, Enero 14). En Quintana Roo nadie gana el salario mínimo: STyPS. Cancún, Quintana Roo. La Jornada Maya.
<https://www.lajornadamaya.mx/quintanaroo/188040/en-quintana-roo-nadie-gana-el-salario-minimo-styps>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2015). Tasa social de descuento (TSD) | Secretaría de Hacienda y Crédito Público | Gobierno | gob.mx. <https://www.gob.mx/shcp/documentos/tasa-social-de-descuento-tsd>
- Secretaría del trabajo y previsión social. (diciembre, 2020). Tabla de salarios mínimos vigente a partir de 2021. México.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/602096/Tabla_de_salarios_m_nimos_vigente_a_partir_de_2021.pdf

Preparación de Flujo de Caja y Determinación de Indicadores Financieros: Proyecto de generación de biometano para los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres.

- Independent statistics & analysis. (2022). Prices for hydrocarbon gas liquids -U.S. Energy Information Administration (EIA).
<https://www.eia.gov/energyexplained/hydrocarbon-gas-liquids/prices-for-hydrocarbon-gas-liquids.php>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022, Febrero 1). Balanza comercial. <https://www.inegi.org.mx/temas/balanza/#>
- Ley del Impuesto sobre la Renta (2021 & rev. Última reforma publicada DOF 12-11-2021). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf>
- Maldonado, J. (2022, enero 14). En Quintana Roo nadie gana el salario mínimo: STyPS. Cancún, Quintana Roo. La Jornada Maya.
<https://www.lajornadamaya.mx/quintanaroo/188040/en-quintana-roo-nadie-gana-el-salario-minimo-styps>
- Municipio de Benito Juárez (2021, diciembre 28). Ley De Hacienda Del Municipio De Benito Juárez Del Estado De Quintana Roo (L139-XVI-20211228-L1620211228195). <http://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/L139-XVI-20211228-L1620211228195.pdf>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2015). Tasa social de descuento (TSD) | Secretaría de Hacienda y Crédito Público | Gobierno | gob.mx. <https://www.gob.mx/shcp/documentos/tasa-social-de-descuento-tsd>
- Secretaría del trabajo y previsión social. (diciembre, 2020). Tabla de salarios mínimos vigente a partir de 2021. México.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/602096/Tabla_de_salarios_m_nimos_vigente_a_partir_de_2021.pdf

Análisis sobre el Esquema de Negocio

- Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. 2017. Indicadores de Rentabilidad. Boletín V, junio de 2017. Disponible en: https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf
- Colturato, L. 2015 O estado da arte da tecnologia de metanização seca/Probiogás. Disponible en: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-metanizacao-rsu.pdf>
https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf
- Corporación Nacional Forestal, 2015. Modelos de Negocio con Metodología CANVAS. Disponible en: https://investigacion.conaf.cl/archivos/2016/proyectos/929_Documento-Educativo-CANVAS.pdf
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2018. Metodología para el Análisis Costo-Beneficio Social. Disponible en: <https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Metodolog%C3%ADa-para-el-An%C3%A1lisis-Costo-Beneficio-Social.pdf>
- Fundación Coca-Cola México. 2021. Curso virtual “Economía Circular por un Mundo sin Residuos” Nota Técnica No.5 Modelos de negocio en la economía circular. Disponible en: <https://www.unmundosinresiduos.com/cec-pdfs/CEC.NotaTecnica05.ModelosNegociosCirculares.VF.pdf>
- Junta de Extremadura. 2012. Guía didáctica Modelo Canvas. Disponible en: http://culturaempresarial.extremaduraempresarial.es/wp-content/uploads/2012/09/Guia-Did%C3%A1ctica_Modelo-Canvas.pdf
- Junta de Extremadura. Guía didáctica Modelo. Disponible en: http://culturaempresarial.extremaduraempresarial.es/wp-content/uploads/2012/09/Guia-Did%C3%A1ctica_Modelo-Canvas.pdf
- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. 2008. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>
- Ortigón, et al.2005. Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5608/1/S056394_es.pdf
- Pacto Mundial de Naciones Unidas España. 2021. Modelos de negocio basados en la economía circular: cómo pueden las empresas pasar de la linealidad a la circularidad. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/biblioteca/whitepaper-economia-circular/>
- Secretaría de Energía. 2015. Evaluación Rápida del Uso de la Energía, Cozumel, Quintana Roo. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170882/7_Cozumel.pdf
- Silva. I. y Sandoval, C. 2012. Metodología para la elaboración de Estrategias de Desarrollo Local. CEPAL. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5518/S1200383_es.pdf

- Vaciana, A. 2020. Modelo CANVAS para abp y diseño de proyectos de innovación. Webinars sobre e-learning, innovación y competencias digitales. 9 de noviembre de 2020. Disponible en:
https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/5549/VacianaPerez_2020-21_ModeloCanvas.pdf?sequence=1

13 Directorio de Entrevistados.

Nombre	Cargo	Correo Electrónico
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales		
Sergio Israel Mendoza	Director General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico	israel.mendoza@semarnat.gob.mx
Rodrigo Villegas Gómez	Director de Gestión Integral de Residuos	rodrigo.villegasg@semarnat.gob.mx
José Fausto Lino González	Subdirector de Análisis y Proyectos Especiales	jose.lino@semarnat.gob.mx
Secretaría de Ecología y Medio Ambiente Gobierno de Quintana Roo		
Efraín Villanueva Arcos	Secretario de Ecología y Medio Ambiente	efrain.villanueva@groo.gob.mx
Elvira Carvajal Hinojosa	Subsecretaria de Protección Ambiental y Planeación Técnica	elviracarvajal@gmail.com
Yafith Montalvo	Dirección de Residuos	semarsdir@gmail.com
José Guerrero	Área Técnica de Residuos Sólidos	gestion.residuos.sema@gmail.com
Miguel Armando Xijun Kantun	Jefe de Departamento de PGIR	sema.maxk@gmail.com
Álvaro Gorocica	Jefe de Oficina de la Dirección de Residuos	agorocica_polanco@hotmail.com
Miguel Ángel Girón	Jefe de Departamento, Dirección de Residuos	mgiron2606@gmail.com
Vanessa Elena Partida Partida	Departamento de Residuos	vane_partida@hotmail.com
Oscar Daniel Sosa Flores	Analista profesional de la Dirección de Residuos Sólidos	
Fermín Arturo Vázquez Ara	Director de Desarrollo Energético	fermin_ava@hotmail.com
Jessica Nubia Sarmiento	Secretaria Técnica	
Jesús Adrián Frías Cardona	Departamento de Eficiencia Energética	
GIZ		
Adriana Aragón Tapia	Directora del Programa TrEM	adriana.aragon@giz.de
Ana Cecilia Porte Petit Anduaga	Asesora Técnica TrEM	ana.portepetit@giz.de
Joaquín Pereyra de Alba	Asesor Técnico del TrEM	joaquin.pereyra@giz.de
Lorena Espinosa	Asesora Técnica del TrEM	lorena.espinosa@giz.de
CNBiogás		
Jorge Edgardo López Hernández	Presidente	jorgelopez@ibtech.com.mx
Benly Liliana Ramírez Higareda	Vicepresidenta	benly.ramirez@gmail.com
Rubén Jahir Mojica Hernández	Secretario	jahir-mojica@suema.com.mx
Abel Clemente Reyes	Vocalía Social	ambb.presidente@gmail.com

Nombre	Cargo	Correo Electrónico
Guillermo Gómez	Miembro	-
Karina Vázquez	Miembro	-
Kenia Rosas	Miembro	kenia-rosas@suema.com.mx
Asociación Mexicana de Gas Natural Vehicular		
Guillermo Gómez	Director Técnico	direcciontecnica@amgnv.org.mx
CNBiogás - Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás AC		
Abel Clemente Reyes	Vocalía Social - Presidente	ambb.presidente@gmail.com
ENAGAS		
Alberto Escofet Cedeño	Country Manager	aescofet@enagas.com
Órgano de Gestión del Destino Isla Cozumel		
Alejandra Téllez	Miembro	alejandratellez@gmail.com
ENGIE México		
Erika Rodríguez Barradas	Jefe de Nuevos Proyectos	erika.rodriguez_barradas@engie.com
Rodrigo Ibarra	Gerente de Nuevo Negocios	rodrigo.ibarra@engie.com
AB Energy		
Cesar Sánchez	Sales Director	Cesar.Sanchez@gruppoab.com
KfW México		
Fabiola Gómez	Coordinadora de Programas Senior	Fabiola.Gomez@kfw.de
CAMAR Cozumel		
Francisco Abad	Subdirector	subcamar@gmail.com
Lemuel Vega	Gestión Ambiental en la Subdirección de CAMAR	lemuelvega@gmail.com
Gibran Tuxpan Torrijos	Jefe Operativo	ecologia@cozumel.gob.mx

14 Anexo 1: Fichas descriptivas de las opciones de financiamiento.

El presente apartado tiene como objetivo, proporciona una orientación referencial, sobre los fondos disponibles para el financiamiento de la hoja de ruta y los proyectos de aprovechamiento energético propuestos, es importante destacar que las fuentes presentadas pueden presentar algunas variantes respecto a su accesibilidad, disponibilidad y requisitos al momento de emprender el proceso de solicitud y/o aplicación.

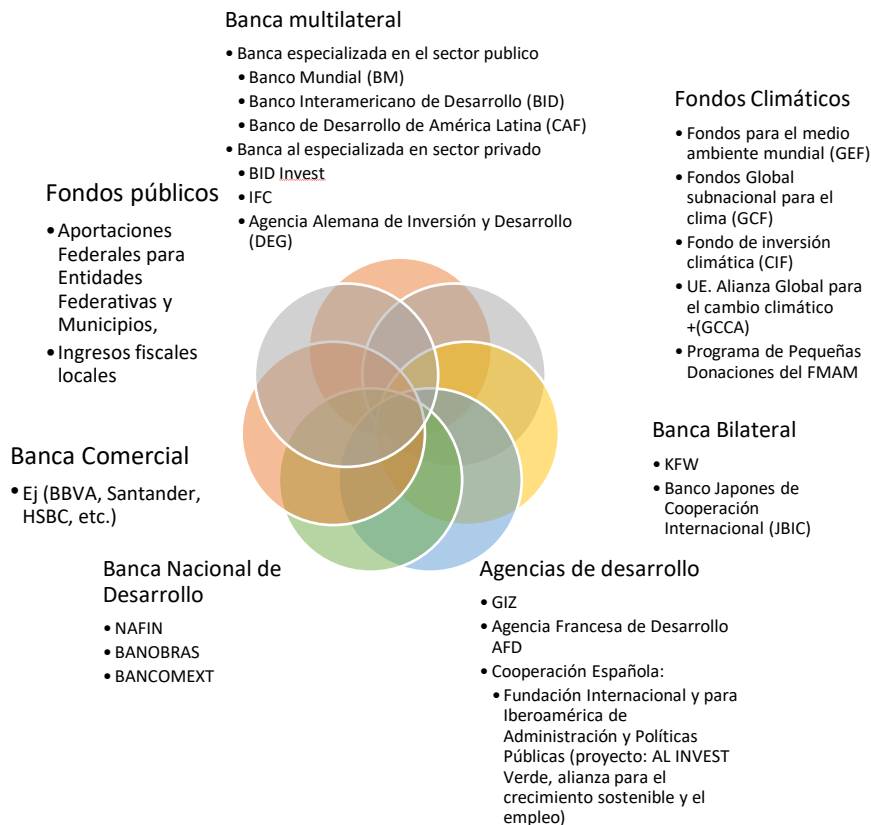
A su vez, muchas de las acciones propuestas en la hoja de ruta, están enmarcadas en las competencias institucionales por parte de los actores claves, es por ello por lo que su financiamiento puede estar referido en los presupuestos anuales y no necesariamente impliquen una búsqueda exhaustiva de financiamiento externo.

También, se debe tomar en consideración que los requisitos de accesibilidad al financiamiento varían en función de cuál es la instancia que lo solicita, el nivel de ente financiero y el destino de los fondos.

Para lo cual se han estudiado las alternativas de financiamiento, para el presente estudio, tales como:

- **Banca multilateral:** el cual entre sus fuentes de financiamiento puede incluir empréstitos a largo plazo a tasas de interés generalmente más favorables que las del mercado para la gran mayoría de países prestatarios, préstamos concesionales a tasas de interés muy bajas y períodos largos de repago, provisión de garantías para la inversión privada, además de donaciones dedicadas principalmente a la asistencia técnica, el entrenamiento y la creación de capacidad en los países prestatarios. (Sagasti, 2002).
- **Fondos climáticos:** conglomerado de recursos financieros producto del Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), destinados exclusivamente a abordar el cambio climático, los cuales pueden ser en calidad de subvención o empréstitos en condiciones favorables.
- **Banca bilateral:** financiamiento directo entre un gobierno a otro y puede incluir empréstitos o fondos subvencionales.
- **Agencias de desarrollo:** al igual que la banca bilateral, son instancia en las cuales los gobiernos donantes canalizan recursos para el desarrollo en calidad de subvención.
- **Banca Nacional de Desarrollo:** instancias nacionales que contribuyen a promover el desarrollo económico, por medio del cual la federación canaliza recursos al sector público nacional y subnacional, así como al sector privado.
- **Banca comercial de primer piso:** se considera como alternativa a la cual el sector privado puede acceder en condiciones de mercado.

Figura 93: Fuentes de financiamiento



Fuente: elaboración propia basada en bibliografía consultada y referida:

Así mismo, según la fuente de financiamiento y que instancia realice la gestión se presenten variantes a ser tomadas en cuenta. Para el caso si la entidad estatal o municipal, que requiere el financiamiento ante la banca multilateral, bilateral y fondos climáticos, es necesario contar con el aval del gobierno federal ya que es constitutivo de deuda soberana, por lo que es necesario contar con:




- *Nota de prioridad, emitida por Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Unidad de Crédito Público*
- *Órgano federal ejecutor o administrador técnico: como Secretarías de Estado (SEMARNAT, SENER)*
- *Los fondos pueden ser canalizados por medio de la Banca Nacional de Desarrollo (NAFIN, BANOBRAS, BANCOMEXT), como instancia fiduciaria que administra los recursos*

Si el requirente es la empresa privada, esta puede acceder bajo la modalidad de una Alianza publico privada (APP) o de forma independiente para lo cual en la mayoría de los casos se le solicita:





- Ser una entidad del sector privado;
- Sea técnicamente sólido;

- Tener buenas perspectivas de rentabilidad;
- Beneficiar la economía local; y
- Ser ambiental y socialmente racional, satisfaciendo estándares ambientales y sociales, así como los del país anfitrión.



A continuación se presentan, las diferentes opciones de financiamiento identificadas agrupadas por entidad financiera y su naturaleza, aplicable a:

-  Hoja de ruta, cuyo desarrollo está contemplado como inversión pública.
-  Proyecto de generación de energía renovable (Territorio insular) Se estima que este como proyecto a baja escala, por lo que se considera puede ser financiado desde el sector público (para mitigar los riesgos asociados a la reforma eléctrica), contemplando recursos transferidos al gobierno del Estado
-  Proyecto de generación de biometano como sustituto del gas natural para el municipio de Benito Juárez. Debido al grado de especialización tecnológica y el mercado al que está orientado (biometano como sustituto de gas natural) se prevé un esquema de inversión mixta (es decir con participación pública y privada).

14.1 Fondos climáticos.

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Entidad Federativa</i> 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> • <i>Garantía soberana</i> 	Aplicable a:		
				
Fondos climáticos				
Fondo para el Medio Ambiente Mundial -FMAM.				
Programa: -.-				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Adaptación al cambio climático;</i> • <i>Transferencia de tecnología;</i> • <i>Energía, transporte, industria, agricultura, silvicultura y gestión de desechos;</i> • <i>Diversificación económica para los países dependientes de los combustibles fósiles</i> 				

Descripción:		
<ul style="list-style-type: none"> • El FMAM es el órgano de administración de los fondos del Fondo Especial para el Cambio Climático FECC y el Fondo para los países menos adelantados FPMA; • El FMAM prepara sus proyectos a través de 10 organismos de ejecución: el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Banco Mundial, el Banco Africano de Desarrollo (BAfD), el Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). 		
Para acceder a los recursos		
<ul style="list-style-type: none"> • Para acceder a recursos del Fondo, es necesario presentar una propuesta que cuente con la aprobación de la Autoridad Nacional Designada que, en el caso de México, es la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación con la Secretaría rectora ejemplo SEMARNAT 		
Tipo de financiamiento: Préstamo y subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> • Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> • N/I 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • Entidades públicas
Monto: Variable Proyectos de más de USD 1 millón se denominan “proyectos mayores” Proyectos hasta USD 1 millón se denominan “proyectos medianos”	Observaciones: En 2021 se aprobó la Séptima Fase Operativa del Programa de Pequeñas Donaciones del FMAM en México por un valor total de US\$ 16,714,997.00 <u>Agencia ejecutora:</u> Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (Global Environment Facility, 2022)	
Fuente: (FMAM)		
<ul style="list-style-type: none"> • https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/SCCF_SPANISH_1.pdf • https://www.thegef.org/projects-operations/projects/10717 		





Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> NAFIN 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Aplicación directa 	Aplicable a:		
				
Fondos climáticos				
Fondo Verde para el Clima (Green Climate Fund – GCF)				
Programa: Fondo Verde para el Clima -NAFIN				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Generación y acceso a la energía otros 				
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> GCF es una plataforma global única para responder al cambio climático invirtiendo en un desarrollo bajo en emisiones y resistente al clima. (Green Climate Fund, 2020) Nacional Financiera está acreditada como Entidad de Acceso Directo ante el Fondo Verde para el Clima, por nominación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), en su calidad de Autoridad Nacional Designada ante el GCF. 				

<p>Para acceder a los recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para acceder a recursos del Fondo, es necesario presentar una propuesta que cuente con la aprobación de la Autoridad Nacional Designada que, es la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). • Una vez que se tenga esta aprobación, se podrán presentar las propuestas de proyectos a través de Nafin. (Nacional Financiera -NAFIN, 2022) 		
<p>Tipo de financiamiento: Préstamo</p>	<p>Entidad responsable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SHGP • SEMARNAT <p>Entidad fiduciaria aplicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • NAFIN 	<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entidades públicas • Y privadas
<p>Monto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hasta US\$ 250 millones 	<p>Observaciones: El GCF puede estructurar apoyo financiero a través de una combinación flexible de subvenciones, deuda concesional, garantías o instrumentos de capital para aprovechar la financiación combinada y atraer inversiones privadas para la acción climática en los países en desarrollo.</p>	
<p>Fuente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • https://www.greenclimate.fund/countries/mexico#documents • https://www.nafin.com/portalfn/content/emisiones-y-relaciones-internacionales/fondo-verde-clima.html 		





<p>Solicitud a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SEMARNAT 	<p>Es necesario</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garantía soberana • Aplicación directa por parte del sector privado 	<p>Aplicable a:</p> 
Fondos climáticos		
<p>Fondo de inversión climática (Climate Investment Funds -CIF)</p>		
<p>Programa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programa de ampliación de energía renovable en países de bajos ingresos (Sector público) • Programa de integración de energía renovable (Sector público) • Facilidades de asistencia técnica (Sector Privado) • Programas dedicados al sector privado • Fondo de tecnología limpia (Clean Technology Fund -CTF) (Sector privado) 		
<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías limpias • Generación y acceso a la energía renovable • Asistencia técnica otros 		

<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programa de integración de energía renovable, proporciona asistencia técnica para facilitar las actividades a nivel de políticas sectoriales, como la realización de estudios de mercado y el desarrollo de mejores mecanismos. (Climate Investment Funds, 2021) • Programa de facilidad de asistencia técnica: Se canaliza a través de la banca multilateral, para apoyar actividades preliminares para el fortalecimiento normativo, capacidades técnicas y diseño de soluciones orientadas al mercado, siendo sus líneas de acción: <ul style="list-style-type: none"> ○ Acceder a las inversiones en energía limpia ○ Garantizar una recuperación verde y resiliente (medidas de respuesta al COVID-19) (Climate Investment Funds, 2020) • Financia proyectos del sector privado a gran escala y de alto impacto en tecnología limpia, como energía geotérmica, minirredes, eficiencia energética y energía solar fotovoltaica. 		
<p>Para acceder a los recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector Público: es necesario presentar una propuesta que cuente con la aprobación de la Autoridad Nacional Designada Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). <ul style="list-style-type: none"> ○ Banco mundial (BM) ○ Banco Interamericano de Desarrollo (BID) • Sector Privado <ul style="list-style-type: none"> ○ IFC (Banco Mundial) 		
<p>Tipo de financiamiento: Préstamo Subvenciones</p>	<p>Entidad responsable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector público <ul style="list-style-type: none"> ○ SHGP ○ SEMARNAT • Sector privado <p>Entidad fiduciaria aplicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N/I 	<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entidades públicas • Y privadas
<p>Monto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	<p>Observaciones:</p>	
<p>Fuente: https://www.climateinvestmentfunds.org/topics/renewable-energy-integration https://www.climateinvestmentfunds.org/topics/technical-assistance-facility https://www.climateinvestmentfunds.org/dedicated-private-sector-programs</p>		





14.2 Banca multilateral.

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> Entidad Federativa 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Garantía soberana 	Aplicable a:		
				
Banca Multilateral				
Banco Interamericano de Desarrollo -BID				
Programa: <ul style="list-style-type: none"> Iniciativa de Energía y cambio climático Fondo de inversión climática 				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Energía renovable y eficiencia energética Desarrollo de biocombustibles(BID, 2022b) 				
Descripción: Líneas de acción: <ul style="list-style-type: none"> <i>Evaluar la viabilidad económica de fomentar los biocombustibles. Analizar la disponibilidad de materia prima y los costos de producción, y evaluar el potencial para desarrollar mercados domésticos y regionales de biocombustibles, tomando en plena consideración los riesgos y beneficios ambientales y sociales.</i> <i>Facilitar asistencia para el desarrollo de políticas en materia de biocombustibles en los países. Ayudar a eliminar barreras e introducir políticas e instrumentos financieros que contribuyan al desarrollo de mercados internos, promover acceso a los mercados internacionales y mitigar los efectos ambientales adversos.</i> <i>Financiar programas de biocombustibles. Otorgar financiamiento para el desarrollo de materias primas, instalaciones de producción de biocombustibles e infraestructura relacionada.</i> <i>Financiar la adaptación de tecnologías de biocombustibles nuevas y emergentes. Desarrollar instrumentos financieros para someter a prueba y demostrar la eficacia de las nuevas tecnologías, incluyendo préstamos para programas experimentales y para la comercialización de nuevas tecnologías e innovaciones. Prestar apoyo a redes y centros de conocimientos. (BID, 2022a)</i> 				

Para acceder a los recursos		
<ul style="list-style-type: none"> Es necesario presentar una propuesta que cuente con la aprobación de la Autoridad Nacional Designada que, en el caso de México, es la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación ente ejecutor como por ejemplo Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) o Secretaria de Energía (SENER) 		
Tipo de financiamiento: Préstamo y subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> Secretaría de Energía (SENER) Comisión Reguladora de Energía (CRE) 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas
Monto: <ul style="list-style-type: none"> Variable 	Observaciones:	
Fuente: (Amin & Tully, 2009) https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=2227565		




Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> Entidad Federativa 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Garantía soberana 	Aplicable a:		
				
Banca Multilateral				
Banco Mundial -BM				
Programa: <ul style="list-style-type: none"> Fondo de inversión climática Proyecto de Eficiencia Energética en Instalaciones Públicas (PRESEMEH) 				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Eficiencia energética 				
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> Proyecto de Eficiencia Energética en Instalaciones Públicas (PRESEMEH): objetivo es promover el uso eficiente de la energía en los municipios del Prestatario y otras instalaciones públicas elegibles mediante la realización de inversiones en eficiencia energética en sectores públicos seleccionados y contribuir a fortalecer el entorno propicio. (Cozumel, municipio beneficiario) (World Bank, 2022) 				

<p>Para acceder a los recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> Es necesario presentar una propuesta que cuente con la aprobación de la Autoridad Nacional Designada que, en el caso de México, es la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación ente ejecutor como por ejemplo Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) o Secretaría de Energía (SENER) 		
<p>Tipo de financiamiento: Préstamo y subvención</p>	<p>Entidad responsable:</p> <ul style="list-style-type: none"> Secretaría de Energía (SENER) Comisión Reguladora de Energía (CRE) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 	<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas
<p>Monto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Variable 	<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fondo de inversión climática, al momento de la investigación, no se identifica aplicación a esta fuente de financiamiento 	
<p>Fuente https://projects.bancomundial.org/es/projects-operations/project-detail/P149872</p>		

<p>Solicitud a:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entidad Federativa 	<p>Es necesario</p> <ul style="list-style-type: none"> Garantía soberana 	<p>Aplicable a:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div>		
Banca Multilateral				
<p>Banco de Desarrollo de América Latina -CAF</p>				
<p>Programa:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonos Verdes Programa de Apoyo a las Políticas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (US\$ 300 millones, estatus aprobado, aun no desembolsado) 				
<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mitigación y adaptación al cambio climático Energía renovable Transporte limpio Gestión de residuos Eficiencia energética (CAF, 2022) 				
<p>Descripción:</p>				

<ul style="list-style-type: none"> • El enfoque estratégico de CAF se centra en movilizar recursos financieros en la región para promover inversiones en infraestructura, energía, desarrollo social, sostenibilidad ambiental y cambio climático. • El Programa de Apoyo a las Políticas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, permitirá apoyar al Gobierno Nacional en el impulso de las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático y en el mejoramiento de la capacidad institucional, normativa y financiera del país, para contribuir al cumplimiento de las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC por sus siglas en inglés), su estatus actual es aprobado. (CAF, 2017) 		
Para acceder a los recursos		
Tipo de financiamiento: Préstamo y subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> • SHCP Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> • Banco Nacional de Comercio Exterior (BANCOMEXT) y • Nacional Financiera (NAFIN), 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • Entidades públicas
Monto: <ul style="list-style-type: none"> • Variable 	Observaciones: Actualmente no hay publicación de que México haya accedido a esta línea de crédito.	
Fuente: <ul style="list-style-type: none"> • https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/SCCF_SPANISH_1.pdf • https://www.caf.com/es/paises/mexico/# 		


14.3 Banca multilateral especializada en el sector privado.


Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> • BID Invest 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> • Proyecto del sector privado 	Aplicable a: 
Banca multilateral especializadas en el sector privado		
BID Invest		
Programa: <ul style="list-style-type: none"> • Principios de Bonos Verdes (GBP), • Principios de Bonos Sociales (SBP), • Directrices de Bonos Sostenibles (SBG) y • Principios de Bonos Vinculados a la Sostenibilidad (SLBP) 		
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • Acceso a energía – cobertura, calidad, fiabilidad y asequibilidad en la provisión de servicios energéticos. 		

<ul style="list-style-type: none"> Sostenibilidad energética – eficiencia energética, energía renovable, mitigación y adaptación al cambio climático y reducción de impactos ambientales a largo plazo. Seguridad energética – infraestructura de energía e integración energética regional para la provisión de servicios fiables. (BID Invest, 2018) 		
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> Vía Asociación público-privada: se apoya la presentación de Iniciativas Privadas, con miras a generar proyectos que tengan un impacto en el desarrollo y en la movilización de capital privado. 		
Para acceder a los recursos: <ol style="list-style-type: none"> Debe realizarse en un país de América Latina o el Caribe que sea miembro del Grupo BID. Debe pertenecer al sector privado o ser parte de una empresa pública que busque financiamiento sin garantía soberana. Debe tener un impacto positivo y escalable en la economía local. Debe contar con una estrategia ambiental y social sólida, y cumplir con las normas ambientales y sociales, además de las del país en el que se lleve a cabo el proyecto. Debe cumplir con las normas de gobernanza corporativa, integridad y reputación. Las empresas deben contar con estados financieros auditados de tres años por lo menos. No resulta aplicable a las finanzas de proyectos. Deben demostrar ser rentables de conformidad con los puntos de referencia para el sector y el o los países en los que opera la empresa. BID Invest se centra en el financiamiento de proyectos que buscan incrementar la capacidad de las empresas, mejorar la productividad y/o calidad, reducir la huella de carbono y/o tener un impacto social significativo. (BID Invest, 2022) 		
Tipo de financiamiento: Préstamo	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> Sector privado Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades privadas
Monto: <ul style="list-style-type: none"> Variable 	Observaciones:	
Fuente: https://www.idbinvest.org/es/sectores		

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> IFC-BM 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Proyecto del sector privado 	Aplicable a:	
			
Banca multilateral especializadas en el sector privado			
Corporación Financiera Internacional (International Finance Corporation -IFC)			
Programa: <ul style="list-style-type: none"> Principios de Bonos Verdes (GBP), Principios de Bonos Sociales (SBP), Directrices de Bonos Sostenibles (SBG) y Principios de Bonos Vinculados a la Sostenibilidad (SLBP) 			





<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversiones vinculadas al cambio climático • Inversiones en equipos, sistemas y servicios que permitan el uso productivo de la energía a partir de recursos renovables como la producción eólica, hidráulica, solar y geotérmica; • Inversiones en fabricación de componentes utilizados en eficiencia energética, energías renovables o producción más limpia, como energía solar fotovoltaica, fabricación de turbinas, materiales de aislamiento de edificios; • Préstamos a intermediarios financieros con el requisito de que las inversiones de la IFC sean prestadas a proyectos climáticos específicos que se ajusten a los criterios de elegibilidad de bonos verdes de la IFC. (IFC, 2022) 		
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • IFC, es un emisor de bonos conocido como Inversiones Socialmente Responsables 		
<p>Para acceder a los recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La empresa, en coordinación con otros organismos gubernamentales o terceros responsables, según corresponda, emprenderá un proceso de evaluación ambiental y social y establecerá y mantendrá un Sistema de evaluación y gestión ambiental -SGAS acorde con la naturaleza y la escala del proyecto y en consonancia con el nivel de riesgos e impactos ambientales y sociales. El SGAS incorporará los siguientes elementos: (i) política; (ii) identificación de riesgos e impactos; (iii) programas de gestión; (iv) capacidad y competencia organizativas; (v) preparación y respuesta ante situaciones de emergencia; (vi) participación de los actores sociales, y (vii) seguimiento y evaluación. (IFC, 2012) 		
<p>Tipo de financiamiento: Préstamo</p>	<p>Entidad responsable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector privado <p>Entidad fiduciaria aplicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entidades privadas
<p>Monto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 	<p>Observaciones:</p>	
<p>Fuente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/corp_ext_content/ifc_external_corporate_site/about-ifc_new/investor+relations/investorrelations • https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/30e31768-daf7-46b4-9dd8-52ed2e995a50/PS_Spanish_2012_Full-Documents.pdf?MOD=AJPERES&CVID=k5LIWsu 		




<p>Solicitud a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • KFW DEG 	<p>Es necesario</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proyecto del sector privado 	<p>Aplicable a:</p>		
<p>Banca multilateral especializadas en el sector privado</p>				
<p>KFW-DEG Sociedad Alemana de Inversión y Desarrollo (Deutsche Investitions- und Entwicklungsgesellschaft mbH)</p>				


Programa:		
<ul style="list-style-type: none"> DeveloPPP 		
Aplicable a:		
<ul style="list-style-type: none"> Inversiones en infraestructura y energía. Actividades del sector privado con participación del sector público. (APP) 		
Descripción:		
<ul style="list-style-type: none"> DEG, es filial del Banco de Desarrollo del Estado de la República Federal de Alemania- KFW Préstamos a largo plazo y capital social para instituciones financieras, fondos y proyectos de infraestructura. tasa de interés: fija o variable, orientada al mercado según los riesgos del proyecto y del país. Duración entre 4 a 7 años o más acorde al proyecto. Participación en capital social de la empresa (por lo general minoritaria) Complementariamente ofrece servicios de apoyo empresarial: Asesoría en gestión ambiental y social en el sector financiero; servicios de asesoría en gobierno corporativo, programa de asesoramiento a PYMES para bancos.(KFW-DEG, 2022) DeveloPPP: es un programa de financiación del Ministerio Federal Alemán para la Cooperación Económica y el Desarrollo (BMZ). 		
Para acceder a los recursos:		
<ul style="list-style-type: none"> DeveloPPP: país miembro de la OCDE Implementación entre socios públicos y privados Interés comercial a largo plazo, así como beneficio de desarrollo sostenible local (DeveloPPP, 2022) 		
Tipo de financiamiento: Préstamo	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> Sector privado Entidad fiduciaria aplicable.	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades privadas
Monto: hasta 2 millones de euros con aportación pública máxima del 50%	Observaciones: El Ministerio Federal Alemán para la Cooperación Económica y el Desarrollo (BMZ), División de Cooperación con el Sector Privado, Política Económica Sostenible, ha encargado a la Agencia para el Desarrollo Económico y Empresarial (AWE) el trabajo de prensa y relaciones públicas para develoPPP. AWE es un proyecto BMZ implementado conjuntamente por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y DEG - Deutsche Investitions- und Entwicklungsgesellschaft mbH como socios iguales.	
Fuente:		
<ul style="list-style-type: none"> https://www.deqinvest.de https://www.developpp.de/projekte-erfolge/ 		

14.4 Banca bilateral.



Solicitud a:		Aplicable a:
---------------------	--	---------------------


<ul style="list-style-type: none"> Entidad Federativa 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Garantía soberana 			
Banca Bilateral				
Unión Europea				
Programa: Alianza Global para el Cambio Climático + (GCCA)				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Adaptación y mitigación 				
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> La iniciativa GCCA+ de la UE apoya los esfuerzos de adaptación y mitigación y reducción del riesgo de desastres para aumentar la resiliencia al cambio climático. Se dirige principalmente a los Países Menos Adelantados (PMA) y los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (SIDS) Financia programas plurianuales con una contribución media de 5 millones EUR por proyecto (a finales de 2017). La financiación está en línea con un proceso de programación anual que comienza con las prioridades nacionales para la acción climática identificadas por las Delegaciones de la UE con los agentes y socios de desarrollo local en los países. (UE GCCA+, 2022) 				
Para acceder a los recursos -.-				
Tipo de financiamiento: Préstamo y subvención	Entidad responsable: Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas Y privadas 		
Monto: <ul style="list-style-type: none"> Variable 	Observaciones: Actualmente no hay publicación de que México haya accedido a esta línea de financiamiento.			
Fuente: https://www.gcca.eu/programmes-countries-0				





Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> Entidad Federativa 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Garantía soberana 	Aplicable a:		
				
Banca Bilateral				

Banco de Desarrollo del Estado de la República Federal de Alemania- KFW		
Programa: <i>México y Alemania: proyectos conjuntos para una buena gobernanza</i>		
Aplicable a: •		
Descripción: • <i>Fondo financia paritariamente y acompaña proyectos del Gobierno, la sociedad civil o el sector privado en cinco ámbitos principales: los derechos humanos, la buena gobernanza democrática, el Estado de derecho, la seguridad pública y la inclusión social.</i>		
Para acceder a los recursos		
Tipo de financiamiento: <i>Préstamo y subvención</i>	Entidad responsable: • <i>Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID)</i> Entidad fiduciaria aplicable: •	Aplicable a: • <i>Entidades públicas</i> • <i>Y privadas</i>
Monto: • <i>Variable</i>	Observaciones: <i>La página de Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, indica que Alemania no apoya ninguna actividad que México, gracias a su fuerte economía, pueda financiar con sus propios recursos. (Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, 2022)</i> <i>No obstante, la página web de KFW cita financiamiento para clima y desarrollo urbano sostenible, programa ECOCASA y conservación de la biodiversidad. (KFW, 2022)</i>	
Fuente: • kfw.mexiko-stadt@kfw.de • https://www.giz.de/en/worldwide/41787.html		

14.5 Agencias de cooperación internacional.

Solicitud a: • <i>GIZ</i>	Es necesario •	Aplicable a:	
			

Agencia de cooperación internacional		
Agencia de Cooperación Alemana (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit -GIZ) GmbH		
Programa:		
<ul style="list-style-type: none"> Política ambiental y protección de recursos naturales (Medio ambiente y clima) 		
Aplicable a:		
<ul style="list-style-type: none"> Promoción del intercambio regional Fortalecimiento del sector privado Implementación de proyectos piloto Sensibilización de la población y del sector privado 		
Descripción:		
<ul style="list-style-type: none"> Proyecto: Prevención de residuos plásticos en los mares de Centroamérica y el Caribe: tiene como objetivo evitar el vertido de residuos plásticos en el mar Caribe mediante condiciones marco políticas, económicas y sociales. Busca reducir la cantidad de plásticos existentes capacitando al sector privado en la gestión sostenible de los residuos y el ambiente, concientizando a la sociedad civil y a los sectores económicos sobre el impacto de estos. (Giz, 2022) 		
Para acceder a los recursos		
--		
Tipo de financiamiento: Subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo, México Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> -- 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas
Monto: <ul style="list-style-type: none"> --- 	Observaciones: Duración 2020 al 2023	
Fuente: https://www.giz.de/en/worldwide/92240.html		

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> GIZ 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> 	Aplicable a:		
				
Agencia de cooperación internacional				
Agencia de Cooperación Alemana (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH)				
Programa:				
<ul style="list-style-type: none"> Energías renovables y eficiencia energética (Infraestructura sustentable) 				
Aplicable a:				



<ul style="list-style-type: none"> Integración de energías renovables variables Eficiencia energética en la industria Participación en foros internacionales 		
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> Apoyo a la transición energética en México (TrEM): establecer un sistema seguro de suministro energético a precios competitivos. El proyecto tiene como objetivo aumentar la cuota de energía renovables para el año 2030, ampliar la producción descentralizada de energías renovables. La Ley de Transición Energética que es la base de las actividades políticas, ámbitos de generación y uso de energía, el aumento de la productividad y la reducción de gases de efecto invernadero. El proyecto apoya el desarrollo de sistemas de información y presta ayuda para el seguimiento de la transición energética. (Apoyo a La Transición Energética En México, 2022) Alianza energética entre México y Alemania: tiene como objetivo digitaliza y descentralizar el sector de energía y fomentar el desarrollo de las energías renovables y el uso de tecnologías energéticas más eficientes. Fomenta el dialogo político y técnico mediante estudios, eventos y la comunicación en redes sociales.(Alianza Energética Entre México Y Alemania, 2022) 		
Para acceder a los recursos -.-		
Tipo de financiamiento: Subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> -.- 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas Y privadas
Monto: <ul style="list-style-type: none"> -.- 	Observaciones: Duración 2019 a 2022. Alianza Energética entre México y Alemania: duración 2016 a 2022. Se han publicado resultados del proyecto, este ha sido una plataforma clave para el intercambio en torno a la transición energética. Apoyó la participación de una empresa emergente mexicana en el Berlin Energy Transition Dialogue (BTED) en 2019.	
Fuente: https://www.giz.de/en/worldwide/76471.html https://www.giz.de/en/worldwide/41426.html		

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> AFD 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> 	Aplicable a:		
Agencia de cooperación internacional				
Agencia Francesa de Desarrollo - AFD (Agence Française de Développement)				

Programa:		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Transición energética</i> 		
Aplicable a:		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Disminuir el costo de la producción de electricidad</i> • <i>Reorganización del sector energético y el compromiso a favor de las energías renovables</i> 		
Descripción:		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Acompañar la transición energética: la AFD apoya el gobierno mexicano a través de la implementación de la reforma a nivel del marco regulatorio como a nivel de políticas de eficiencia energética o energías limpias, promueve el diálogo al poner en contacto funcionarios mexicanos con sus homólogos franceses en el marco de un programa de cooperación técnica. Este proyecto aporta al cumplimiento de los plazos de la reforma energética y al respeto de los compromisos del Acuerdo de París. (AFC, 2022)</i> 		
Para acceder a los recursos		
Tipo de financiamiento: <i>Préstamo</i>	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Comisión Federal de Electricidad</i> Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> • <i>-.-</i> 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Entidades públicas</i> • <i>Y privadas</i>
Monto: <ul style="list-style-type: none"> • <i>EUR 181 560 000</i> 	Observaciones: <i>Periodo de financiación de 20 años.</i>	
Fuente: https://www.afd.fr/es/carte-des-projets/acompanar-la-transicion-energetica		





Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> • <i>USAID</i> 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> • 	Aplicable a:	
			
Agencia de cooperación internacional			
Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional – USAID (United States Agency for International Development)			
Programa: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Cambio climático global(USAID, 2022)</i> 			
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Estrategia de Cambio Climático de México</i> • <i>Programa regional REDD+ en la Península de Yucatán</i> 			

Descripción: Apoya la formulación de políticas nacionales y locales para avanzar en las iniciativas de México contra el cambio climático.		
Para acceder a los recursos		
Tipo de financiamiento: Subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> SEMARNAT Comisión nacional forestal Entidad fiduciaria aplicable: -.-	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas
Monto: -.- •	Observaciones:	
Fuente: <ul style="list-style-type: none"> https://www.usaid.gov/es/mexico/cambio-climatico-global https://www.usaid.gov/documents/1862/deforestaci%C3%B3n-reducida-manejo-sustentable-y-mejoras-de-los-medios-de-vida 		

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> Cooperación española 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> • 	Aplicable a:		
				
Agencia de cooperación internacional				
Cooperación Española: Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (proyecto: AL INVEST Verde, alianza para el crecimiento sostenible y el empleo)				
Programa: <ul style="list-style-type: none"> EUROCLIMA+ 				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Medio ambiente, asistencia técnica 				
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> FIIAPP: Promueve el diseño y la puesta en marcha de políticas públicas, así como el desarrollo de capacidades institucionales en sectores como justicia, seguridad, asuntos sociales, medio ambiente, economía y finanzas entre otros. (FIIAPP España, 2022a) EUROCLIMA: facilita el diálogo de la política regional y proveer apoyo técnico y financiero para el desarrollo y la puesta en marcha de la adaptación al cambio climático y políticas de mitigación en la región de América Latina. (FIIAPP España, 2022b) 				

Para acceder a los recursos		
--		
Tipo de financiamiento: Subvención	Entidad responsable: Entidad fiduciaria aplicable: •	Aplicable a: • Entidades públicas
Monto: •	Observaciones: EUROCLIMA: periodo de ejecución 04-04-2017 al 04-01-2023	
Fuente: https://www.fiiapp.org/acerca-de-fiiapp-main/		

14.6 Banca de desarrollo nacional.


Solicitud a: • NAFIN	Es necesario • Aplicación directa	Aplicable a:		
				
Banca de desarrollo nacional				
Nacional Financiera -NAFIN				
Programa: • Fondo verde para el clima -GCF ⁶⁸ (sector público y privado) • Fondo de sostenible (sector público)				
Aplicable a: • Generación y acceso a la energía				
Descripción: • Fondo verde para el clima: tiene como objetivo apoyar proyectos y programas innovadores de mitigación y adaptación al cambio climático. Nacional Financiera esta acredita como Entidad de Acceso Directo ante el Fondo Verde para el Clima, por nominación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), en su calidad de Autoridad Nacional Designada ante GCF. • Fondo de sostenible NAFIN: recursos no reembolsables, destinados a proyectos de entidades o dependencias de la administración pública federal. (Financiera, 2022)				

⁶⁸ Ver fondos climáticos

Para acceder a los recursos <ul style="list-style-type: none"> • Para acceder a recursos del Fondo (GCF), es necesario presentar una propuesta que cuente con la aprobación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). • Una vez que se tenga esta aprobación, se podrán presentar las propuestas de proyectos a través de Nafin. (Nacional Financiera -NAFIN, 2022) 		
Tipo de financiamiento: Préstamo	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> • SHCP • SEMARNAT Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> • NAFIN 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • Entidades públicas • Entidades privadas
Monto: <ul style="list-style-type: none"> • Hasta US\$ 250 millones 	Observaciones: Según la página web de NAFIN, está en proceso la firma del acuerdo marco de acreditación.	
Fuente: https://www.nafin.com/portalfn/content/emisiones-y-relaciones-internacionales/fondo-verde-clima.html		

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> • BANCOMEXT 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación directa 	Aplicable a:		
				
Banca de desarrollo nacional				
Banco Nacional de Comercio Exterior S.N.C. -BANCOMEXT			 BANCOMEXT Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C. Banca de Desarrollo	
Programa: <ul style="list-style-type: none"> • Bono sustentable • KFW: Programa de energía limpia y eficiencia energética para promover el desarrollo del medio ambiente sustentable del sector industrial en beneficio de la sociedad mexicana. 				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> • Sector energético 				
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> • Financiamiento a proyectos de energía, mediante el otorgamiento de recursos a largo plazo para apoyar a los desarrolladores durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento de los proyectos. El programa va dirigido a empresas nacionales y extranjeras. (Bancomext, 2022b) • Financiamiento directo de largo plazo a los proyectos en moneda nacional o dólares; periodo de gracia y financiamiento del IVA durante la construcción del proyecto y líneas de financiamiento internacionales para proyectos de energía como es el caso del KFW de Alemania o el JBIC de Japón. 				

<p>Para acceder a los recursos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ser una empresa o vehículo legalmente establecido y constituido en México. • Contar con experiencia en el sector, tanto la empresa como los desarrolladores. • Tener una fuente de pago identificada. • Contar con los terrenos donde se llevará a cabo el proyecto. • Tener avances en permisos, autorizaciones y licencias, así como en la ingeniería y suministro de equipos. (Bancomext, 2022a) 		
<p>Tipo de financiamiento: Préstamo</p> <ul style="list-style-type: none"> • KFW: 5 años periodo de gracia, 15 años plazo financiamiento, tasa de interés base LIBOR + margen (Bancomext, 2022c) • JBIC: 3años periodo de gracia, 10 años plazo, tasa de interés base LIBOR + margen (Bancomext, 2022d) 	<p>Entidad responsable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SHCP <p>Entidad fiduciaria aplicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • BANCOMEXT 	<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entidades privadas
<p>Monto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Créditos directos superiores a US\$ 3 millones 	<p>Observaciones: Tasa Libor (London Interbank Offered Rate): es una tasa de referencia diaria basada en las tasas de interés a las que los bancos ofrecen fondos no asegurados a otros bancos en el mercado monetario mayorista o mercado interbancario.</p>	
<p>Fuente: https://www.bancomext.com/conoce-bancomext/quienes-somos</p>		

<p>Solicitud a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • BANOBRAS 	<p>Es necesario</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación directa 	<p>Aplicable a:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	
<p>Banca de desarrollo nacional</p>			
<p>Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos -BANOBRAS</p>			
<p>Programa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Financiamiento a estados y municipios <ul style="list-style-type: none"> ○ Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS) • Financiamiento a proyectos <ul style="list-style-type: none"> ○ Programa de residuos sólidos municipales -PRORESOL 			

Aplicable a:

- *FAIS: Desarrollo de obras, acciones sociales básicas e inversiones en beneficio de sectores de la población que se encuentren en pobreza extrema y localidades con alto o muy alto nivel de rezago social.*
- *Financiamiento a proyectos de infraestructura y servicios públicos. ENERGIA (Generación y transmisión de electricidad, gasoductos, energías renovables, petróleo y gas). RESIDUOS SÓLIDOS (sistemas de gestión, recolección, tratamiento, confinamiento y aprovechamiento de residuos para generación de energía)*
- *PRORESOL:*
 - *ESTUDIOS: a fin de identificar las acciones para desarrollar proyectos, que permitan ampliar la cobertura y mejorar la prestación del servicio integral de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Actualmente, este Apoyo es por el equivalente de hasta el 50% del costo del Estudio de Diagnóstico Integral, Factibilidad Técnica, Ambiental y Financiera, así como de Evaluación Socioeconómica (Estudios de Factibilidad).*
 - *PROYECTOS: hasta el 50% del costo total, correspondiente a la inversión en proyectos de manejo de RSU que puede incluir: barrido, recolección, transporte, estación(es) de transferencia, centros de aprovechamiento de RSU, disposición final, clausura de tiraderos, y en su caso, el tratamiento de los RSU. (Para proyectos mayores a 20mdp. Será indispensable realizar los Estudios de Factibilidad. Para proyectos menores a 20mdp. Se realizará una Justificación Económica por etapa o módulo del manejo de RSU.)*

Descripción:

- *FAIS: Se adelanta hasta 25% de los recursos provenientes del FAIS que les corresponden a los municipios durante su administración.*
- *Financiamiento a proyectos de infraestructura y servicios públicos: otorgamiento de créditos y garantías a proyectos desarrollados como Asociaciones Público-Privadas y que disponen de una fuente de pago propia, proveniente de la explotación de la concesión o contrato público o del cobro del servicio de que se trate. Los esquemas de Asociación Público-Privada, pueden ser Federales y/o Locales, en sus distintas modalidades, como pueden ser: Concesiones, Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) o Contratos de Obra Pública Financiada, entre otros.*
- *PRORESOL: es financiado a través del Fondo Nacional de Infraestructura, consiste en el otorgamiento de Apoyos Financieros No Recuperables (Apoyo) a los gobiernos municipales y estatales, a fin de incentivar la participación privada en proyectos de inversión de infraestructura de servicios públicos urbanos, enfocados a residuos sólidos como son el servicio de barrido, recolección, separación, aprovechamiento y reciclaje, así como disposición final en rellenos sanitarios. (FONADIN, 2022)*

Para acceder a los recursos

FAIS

- Autorización del Congreso local y Constancia de Mayoría de Cabildo del municipio.
- Solicitar el ingreso al Programa.
- Proceso competitivo, en términos de la Ley de Disciplina Financiera de las Entidades Federales y Municipios.
- Presentar un Plan de Inversión Preliminar. (BANOBRAS, 2022a)

PROYECTOS APP

- Crédito directo a proyectos de infraestructura y servicios públicos
- Financiamiento de infraestructura a través de intermediarios financieros
- Garantía Financiera
- Refinanciamiento Garantizado (BANOBRAS, 2022b)




PRORESOL

- Ser técnicamente viable.
- Tener fuente de pago propia.
- Sujetarse a un procedimiento de contratación en cumplimiento del artículo 134 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos bajo la normatividad federal aplicable.
- Contemplar la participación del sector privado.
- Contar con el registro en la Cartera de Programas y Proyectos de Inversión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

<p>Tipo de financiamiento: Préstamo y subvención</p>	<p>Entidad responsable: FONADIN (PRORESOL) Entidad fiduciaria aplicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • BANOBRAS 	<p>Aplicable a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entidades públicas (Estados y municipios) <p>Entidades privadas</p>
---	---	--

<p>Monto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable 	<p>Observaciones:</p>
---	------------------------------

Fuente:
<https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/programa-banobras-fais?state=published>
<https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/financiamiento-a-proyectos>
<https://www.fonadin.gob.mx/productos-fonadin/programas-sectoriales/proresol/>

Solicitud a: <ul style="list-style-type: none"> Secretaría de Energía - SENER 	Es necesario <ul style="list-style-type: none"> Aplicación directa 	Aplicable a:		
				
Fondo desarrollo nacional				
Fondo para la transición energética y aprovechamiento sustentable de energía				
Programa: <ul style="list-style-type: none"> Fideicomiso “Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía” 				
Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Tecnología limpia para uso doméstico, comercial industrial y agropecuario Diversificación de fuentes de energía renovables Normalización para la eficiencia energética Los cuales pueden incluir: <ul style="list-style-type: none"> Garantías para financiamiento Costos de monitoreo Estudios difusión del proyecto Costos operativos Verificación y evaluación. (Secretaría de Energía, 2021) 				
Descripción: <ul style="list-style-type: none"> El FOTEASE es un instrumento de política pública de la Secretaría de Energía cuyo objetivo es instrumentar acciones que sirvan para contribuir al cumplimiento de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, promoviendo la utilización, el desarrollo y la inversión de las energías renovables y la eficiencia energética. 				
Para acceder los recursos: <ul style="list-style-type: none"> Presentar solicitud SENER, al comité técnico del Fideicomiso, acorde al manual operativo, cuyos formatos se encuentran disponibles en la página web. 				
Tipo de financiamiento: Subvención	Entidad responsable: <ul style="list-style-type: none"> SENER Entidad fiduciaria aplicable: <ul style="list-style-type: none"> 	Aplicable a: <ul style="list-style-type: none"> Entidades públicas (Estados y municipios) 		
Monto: <ul style="list-style-type: none"> .- 	Observaciones:			
Fuente: https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/576925/A_Formato_Solicitud_Anexo_1_Manual_Operativo.pdf				

14.7 Conceptos claves empleados.

AOD (Ayuda Oficial al Desarrollo): son los fondos financieros que los países en desarrollo reciben a fin de impulsar su crecimiento y el bienestar económico. Estos fondos proceden de organismos internacionales, los cuales reciben de a su vez de países desarrollados. (Ivette, 2020)

Financiamiento concesional: cuando el préstamo o transferencia incluye por lo menos un 25% de elemento de donación o gratuidad. En consecuencia, todas aquellas transferencias financieras de origen público que se concedan con niveles iguales o mayores de concesionalidad se consideran dentro de la AOD. (Diccionario De Acción Humanitaria, 2022)

Garantías: La garantía bancaria es el documento por el cual un banco respalda la obligación contraída por un cliente. Así, se compromete a responder en caso de incumplimiento. (Westreicher, 2020)

Instrumentos de capital: son títulos o contratos que representan la participación en el capital social de una compañía y confieren derechos de propiedad a su tenedor. (Díaz, 2021)

Préstamo: es una operación financiera por la cual una persona (prestamista) otorga mediante un contrato o acuerdo entre las partes, un activo (normalmente una cantidad de dinero) a otra persona (prestatario), a cambio de la obtención de un interés (precio del dinero). (Pedrosa, 2016)

Recursos no reembolsables: Cooperación ofrecida por algunas fuentes mediante la asignación de recursos en efectivo, becas, cooperación técnica o cualquier otra modalidad de cooperación destinados al desarrollo socioeconómico del país, entendido como una donación. (Secretaría Distrital de Planeación, 2022)

Subvención: Ayuda económica que se da a una persona o institución para que realice una actividad considerada de interés general. (Asale & Rae, 2022)

Tasa de interés fija: es aquel en que el valor establecido del tipo de interés se mantiene inalterable durante todo el tiempo que dure la inversión o préstamo. (Fortún, 2019)

Tasa de interés LIBOR (London Interbank Offered Rate): es una tasa de referencia diaria basada en las tasas de interés a las que los bancos ofrecen fondos no asegurados a otros bancos en el mercado monetario mayorista o mercado interbancario.

Tasa de interés variable: es aquel en que el valor establecido originalmente del tipo de interés puede tener variaciones durante todo el tiempo de vida que dure la operación financiera. (Fortún, 2019)

Referencias

- AFC. (2022, February 8). *AFD - Agence Française de Développement: Acompañar la transición energética*. <https://www.afd.fr/es/carte-des-projets/acompanar-la-transicion-energetica?origin=https://www.afd.fr/es/page-thematique-axe/energia>
- Alianza Energética entre México y Alemania*. (2022). <https://www.giz.de/en/worldwide/41426.html>
- Amin, A.-L., & Tully, C. (2009). *IDB Public-Private Sector CTF Proposal: Mexico Public – Private Sector Renewable Energy Program*. <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=2227565>
- Apoyo a la transición energética en México*. (2022). <https://www.giz.de/en/worldwide/76471.html>
- Asale, R., & Rae. (2022, February 28). *Entradas que contienen la forma «garantías» | Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/garant%C3%ADa#lsE8t8h>
- Bancomext. (2022a). *BMX folleto energía renovable*. <https://www.bancomext.com/productos-y-servicios/ventanilla-unica/energia-limpia>
- Bancomext. (2022b, February 26). *Bono sustentable - Bancomext*. <https://www.bancomext.com/conoce-bancomext/bono-sustentable>
- Bancomext. (2022c, February 26). *Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) - Bancomext*. <https://www.bancomext.com/productos-y-servicios/lineas-de-financiamiento-internacional/kreditanstalt-fur-%20wiederaufbau-kfw-2>
- Bancomext. (2022d, February 26). *Línea de crédito de Japan Bank for International Cooperation - Bancomext*. <https://www.bancomext.com/productos-y-servicios/lineas-de-financiamiento-internacional/linea-de-credito-del-japan-bank-for-international-cooperation>
- BANOBRAS. (2022a, February 26). *Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos: Programa Banobras FAIS | Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. | Gobierno | gov.mx*. <https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/programa-banobras-fais?state=published>
- BANOBRAS. (2022b, February 26). *Financiamiento a Proyectos | Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. | Gobierno | gov.mx*. <https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/financiamiento-a-proyectos>
- BID. (2022a, February 20). *Iniciativa de energía sostenible y cambio climático | IADB*. <https://www.iadb.org/es/cambio-climatico/iniciativa-de-energia-sostenible-y-cambio-climatico>
- BID. (2022b, February 20). *Programa especial del BID sobre energía sostenible y cambio climático*. <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35347193>
- BID Invest. (2018). *Documento de marco sectorial de energía: División de energía*. <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-715548541-12>
- BID Invest. (2022, February 26). *Sectores*. <https://www.idbinvest.org/es/sectores>
- CAF. (2017). *Apoyo a las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático de México*. <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/11/caf-apoya-las-politicas-de-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico-de-mexico/>
- CAF. (2022, February 20). *Programa de bonos verdes*. <https://www.caf.com/es/inversionistas/programa-de-bonos-verdes/>
- Climate Investment Funds. (2020). *Technical Assistance Facility*. <https://www.climateinvestmentfunds.org/topics/technical-assistance-facility>
- Climate Investment Funds. (2021). *Renewable Energy Integration*. <https://www.climateinvestmentfunds.org/topics/renewable-energy-integration>
- DeveloPPP. (2022, February 28). *Ideas competitions*. <https://www.developpp.de/en/application/>

- Díaz, N. (2021, June 30). Instrumentos de capital. *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/instrumentos-de-capital.html>
- Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. (2022, February 26). *Mexico*.
<https://www.bmz.de/en/countries/mexico>
- FIIAPP España. (2022a, February 8). *FIIAPP Acerca de FIIAPP*. <https://www.fiiapp.org/acerca-de-fiiapp-main/>
- FIIAPP España. (2022b, February 26). *EUROCLIMA+, programa sobre cambio climático - FIIAPP*. https://www.fiiapp.org/proyectos_fiiapp/euroclima/
- Financiera, N. (2022, February 26). *Fondo Sostenible Nafin*.
<https://www.nafin.com/portalnf/content/emisiones-y-relaciones-internacionales/fondo-desarrollo-sostenible.html>
- FMAM. Fondo especial para el cambio climático.
https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/SCCF_SPANISH_1.pdf
- FONADIN. (2022, February 28). *Programa de residuos sólidos municipales (PRORESOL)*.
<https://www.fonadin.gob.mx/productos-fonadin/programas-sectoriales/proresol/>
- Fortún, M. (2019, September 13). Tipo de interés variable. *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/tipo-de-interes-variable.html>
- Giz. (2022). *Reducir los residuos plásticos en los mares de Centroamérica y el Caribe*.
<https://www.giz.de/en/worldwide/92240.html>
- Global Environment Facility. (2022, February 20). *Green and Inclusive Recovery in Mexico (GreenMex): Making high-value ecosystems and rural livelihoods more resilient and sustainable in a post COVID-19 scenario*. <https://www.thegef.org/projects-operations/projects/10717>
- Green Climate Fund. (2020, November 12). *FP151: Global Subnational Climate Fund (SnCF Global) – Technical Assistance (TA) Facility*. <https://www.greenclimate.fund/project/fp151>
- IFC. (2012). *Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social*.
https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/30e31768-daf7-46b4-9dd8-52ed2e995a50/PS_Spanish_2012_Full-Document.pdf?MOD=AJPERES&CVID=k5LIWsu
- IFC. (2022, February 26). *IFC's Green Bonds Process*.
https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/corp_ext_content/ifc_external_corporate_site/about+ifc_new/investor+relations/ir-products/ifc+green+bonds+process
- Ivette, A. (2020, February 9). Ayuda oficial al desarrollo. *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/ayuda-oficial-al-desarrollo.html>
- KfW. (2022, February 24). *México | Banco de Desarrollo KfW*. <https://www.kfw-entwicklungsbank.de/International-financing/KfW-Development-Bank/Local-presence/Latin-America-and-the-Caribbean/Mexico/>
- KfW-DEG. (2022, February 24). *Financiamiento más asesoría*.
<https://www.deginvest.de/Unsere-L%C3%B6sungen/Banking/>
- Nacional Financiera -NAFIN. (2022, February 19). *Fondo Verde para el Clima*.
<https://www.nafin.com/portalnf/content/emisiones-y-relaciones-internacionales/fondo-verde-clima.html>
- Pedrosa, S. J. (2016, February 15). Préstamo. *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/prestamo.html>
- Sagasti, F. R. (2002). *La banca multilateral de desarrollo en América Latina. Serie Financiamiento del desarrollo: Vol. 119*. Naciones Unidas CEPAL Unidad de Estudios Especiales Secretaria Ejecutiva.

- https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5099/S025357_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Secretaría de Energía. (2021). *Formato Solicitud: Anexo 1 Manual Operativo*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/576925/A_Formato_Solicitud_Anexo_1_Manual_Operativo.pdf
- Secretaría Distrital de Planeación. (2022, February 28). *RECURSOS NO REEMBOLSABLES*.
<https://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/recursos-no-reembolsables>
- UE GCCA+. (2022, February 20). *How does EU GCCA+ funding work? | Global Climate Change Alliance+*. <https://www.gcca.eu/funding/how-does-gcca-funding-work>
- USAID. (2022, February 8). *Cambio Climático Global*. <https://www.usaid.gov/es/mexico/cambio-climatico-global>
- Westreicher, G. (2020, April 26). *Garantía bancaria*. *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/garantia-bancaria.html>
- World Bank. (2022, February 26). *Proyecto: Energy Efficiency in Public Facilities Project (PRESEMEH)*. <https://projects.bancomundial.org/es/projects-operations/project-detail/P149872>

15 Anexo 2: Cotizaciones.

Los anexos que sustentan la sección “7.2 Proyecto de Generación de Biometano para el Municipio de Benito Juárez” se integran en las carpetas llamadas Anexo II.1 Bekon y Anexo II.2 AB Energy.

16 Anexo 3: Glosario de Términos.

Análisis Costo Beneficio:	Es una herramienta para la toma de decisiones, que a partir de una medida objetiva permite identificar cual, de entre varias alternativas, le representa mayores beneficios a la sociedad.
Biocombustible	Los combustibles producidos a partir del aprovechamiento directo o indirecto de la biomasa, y que generan calor o potencia
Biogás	Es un producto gaseoso de la degradación biológica de sustratos orgánicos en condiciones anaeróbicas; se compone principalmente de metano (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂) y, en cantidades más pequeñas, aparecerá el sulfuro de hidrógeno (H ₂ S), la humedad (H ₂ O) y otros gases, por ejemplo, nitrógeno (N ₂).
Biomasa	La materia de origen orgánico producida a partir de cualquier tipo de actividad o el aprovechamiento de sus residuos, cuyo contenido energético es susceptible de ser aprovechado mediante los biocombustibles. Incluyendo a la biomasa agropecuaria y excluyendo a la materia de origen orgánico contenida en yacimientos y formaciones geológicas fosilizadas.
Cadena de valor	Aquella que permite la integración de los productos al final de su vida útil, o de las materias primas secundarias para su aprovechamiento o valorización ya sea en el mismo proceso que los generó o en otros, y que puede incluir actividades de segregación, acopio, reparación, remanufactura, reacondicionamiento, reciclaje, reutilización, coprocesamiento o termovalorización.
CANVAS	Es la herramienta para analizar y crear modelos de negocio de forma simplificada. Se visualiza de manera global en un lienzo dividido en los principales aspectos que involucran al negocio y gira entorno a la propuesta de valor que se ofrece.
Cero Residuos	Conjunto de políticas, instrumentos y programas dirigidos a promover la valorización y aprovechamiento de los residuos, a efecto de desincentivar que los materiales terminen en un relleno sanitario o en el ambiente.
CIMIR	Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos.
CDR	Combustible derivado de rechazo

Contracíclico	Consiste en el conjunto de acciones gubernamentales dedicadas a impedir, superar, o minimizar los efectos del ciclo económico.
Corrientes de materiales	Porción determinada de alguno de los componentes presentes en los residuos sólidos, por ejemplo, orgánicos, valorizables y otros residuos.
Digestato	Es el material final resultante del proceso anaeróbico, mismo que se encuentra parcialmente estabilizado y que requiere someterse a un proceso de deshidratación. La fracción sólida generalmente se destina a una etapa de compostaje aeróbico, en tanto que la fracción líquida, dada su alta concentración de amoníaco, si no está destinada directamente a la fertirrigación debe someterse a procesos de nitrificación-desnitrificación y eliminación física y biológica de la DQO.
Digestión anaerobia	Descomposición de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno libre. Para ello se emplea un reactor hermético o digestor anaeróbico, y así proveer condiciones favorables para que los microorganismos conviertan la materia orgánica, en biogás y un residuo sólido-líquido llamado digestato
Economía Circular	Sistema de producción, distribución y consumo de bienes y servicios, orientado al rediseño y reincorporación de productos y servicios para mantener en la economía el valor y vida útil de los productos, los materiales y los recursos asociados a ellos el mayor tiempo posible, y que se prevenga o minimice la generación de residuos, reincorporándolos nuevamente en procesos productivos cíclicos o biológicos, además de fomentar cambios de hábitos de producción y consumo.
Economía del comportamiento	Instrumento para crear políticas públicas que se adapten a la manera de pensar y tomar decisiones de los ciudadanos. Esta rama de la economía busca comprender el raciocinio de las personas de una manera más “humana” para crear modelos económicos que se asemejen más a la realidad, entendiendo que las personas actúan de una u otra manera (no siempre racional) en base a diferentes “sesgos”.
Evaluación económica y social	Metodología que consiste en comparar los beneficios con los costos que dicho proyecto implica para el país; es decir, consiste en determinar el efecto que la ejecución del proyecto tendrá sobre el bienestar de la sociedad.
Evaluación financiera	Procedimiento que tiene como finalidad conocer la rentabilidad del proyecto desde la perspectiva privada, para lo cual se analizan las interrelaciones entre la inversión, los costos operacionales y los ingresos, así como la disponibilidad de financiamiento externo vía fondos subvencionados, por lo que se considera como un proyecto puro, es decir

	en ausencia de préstamos o valores que implique el repago, por lo que los costos e ingresos corresponden exclusivamente a los productos de este.
FODA	Es una herramienta de estudio de la situación de una empresa, institución, proyecto o persona, analizando sus características internas y su situación externa en una matriz cuadrada.
FORSU	Fracción orgánica de residuos segregados.
GEI	Gases de efecto invernadero.
Generación Distribuida	De acuerdo con el Manual de interconexión de centrales de generación con capacidad menor a 0.5 MW, (Diario Oficial de la Federación, 2016) la generación distribuida es la generación de energía eléctrica por medio de pequeñas fuentes que se realiza en una central interconectada a un circuito de distribución. Es aplicable a las centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW (500kW) y no requieren permiso para generar energía eléctrica, por eso son generadores exentos.
Impropios	Se trata de aquellos residuos o materiales inorgánicos, que se encuentran mezclados en bajas proporciones, por ejemplo: plásticos, cartón, madera, vidrio, yeso, metales, rocas, escombros, entre otros.
Logística inversa	Proceso de planificación, implantación y control de forma eficiente y al costo óptimo del flujo de materias primas, materiales en curso de producción y productos acabados, así como el de la información relacionada, desde el punto de consumo hacia el punto de origen con el objeto de recuperar el valor de los materiales o asegurar su correcta eliminación.
Materia Orgánica Recuperable	Proporción de residuos orgánicos desviados de un tren de tratamiento / proceso de tratamiento de separación de residuos sólidos, a fin de someterlos a algún otro proceso de tratamiento y/o estabilización.
OPD	Organismo Público Descentralizado
PTAR	Plantas de Tratamiento de Agua Residual
Residuos de Manejo Especial	Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos

Residuos Sólidos Urbanos	Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.
Sascab	Sascab es el término de origen maya que se utiliza en la Península de Yucatán para denominar al material usado para preparar mezclas para la construcción. Se trata de una roca calcárea deleznable, descrita como «caliza descompuesta», «brecha», o «mezcla de cal usada por los mayas».
SIRESOL	Solución Integral de Residuos Sólidos
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

17 Anexo 4: Listado y resumen de talleres internos, entrevistas y presentaciones.

Información respaldo de los distintos talleres, entrevistas y presentaciones realizadas en el marco del Estudio de Prefactibilidad para un Proyecto de Biogás en el Estado de Quintana Roo.