



Escuela de Postgrado

TESIS

MAESTRÍA EN GESTION AMBIENTAL

FACTIBILIDAD ECONOMICA DE PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE MICROALGAS EN ARGENTINA

Nombre y Apellido del Alumno:

Contador Público Carla Verónica Zannol

Nombre y Apellido del Tutor de tesis:

Ingeniero Julio Torti

Director de Carrera:

Ingeniero Julio Torti

Buenos Aires,

Índice

I.- Agradecimientos	8
II.- Lista de Figuras	11
III.- Listado de Anexos	19
IV.- Abreviaciones y nomenclaturas	20
1.- CAPITULO 1.- INTRODUCCION	23
1.1.- Combustibles fósiles y calentamiento global	24
1.2.- Recursos renovables – Bioenergía	30
1.3.- Crecimiento poblacional – Alimentación	34
1.4.- Algas y biocombustibles de algas	40
1.4.1. Consideraciones ambientales	48
1.5.- Argentina	58
1.6.- Objetivos	62
1.7.- Estructura de la tesis	64
2.- CAPITULO 2.- PROCESO DE PRODUCCION DE BODIESEL A PARTIR DE MICROALGAS	66
2.1.- Objetivo	67
2.2.- Cultivo de microalgas	68
2.2.1.- Sistemas de cultivo	68
2.2.1.1.- Sistemas abiertos	69
2.2.1.1. a.- Estanques sin mezcla	70
2.2.1.1. b.-Estanques circulares	72
2.2.1.1. c.- Sistema Raceway	73

2.2.1.2.- Sistemas cerrados-----	76
2.2.1.3.- Comparación de sistemas abiertos y cerrados-----	81
2.2.2.- Producción de biomasa microalgal-----	82
2.2.2.1.-Eficiencia máxima teórica de conversión solar-----	82
2.2.2.2.- Limites prácticos a la eficiencia de conversión solar-----	83
2.2.2.3.-Limites teóricos y prácticos a la productividad de la biomasa de microalgas -----	85
2.2.2.4.-Contenido de lípidos y productividad en cultivos de algas-----	87
2.2.2.5.- Suplemento de Dióxido de Carbono y nutrientes-----	90
2.2.2.6.- La temperatura como límite a la productividad-----	92
2.3.- Cosecha-----	93
2.3.1.- Floculación-----	94
2.3.2.- Sedimentación por gravedad y centrifuga-----	96
2.3.3.- Filtración-----	97
2.3.3.1.- Micro-filtración-----	98
2.3.3.2.- Ultra-filtración-----	99
2.3.3.3.- Macro-filtración -----	99
2.3.4.- Secado-----	100
2.3.5.- Comparación y conclusión sobre los sistemas de cosecha de microalgas-	101
2.4.- Energía -----	104
2.4.1.- Combustión directa -----	106
2.4.2.- Pirólisis -----	108
2.4.2.1.- Métodos de pirólisis -----	109
2.4.2.2.- La pirólisis en las microalgas -----	110
2.4.3.- Gasificación -----	111
2.4.3.1.- Gasificación de microalgas -----	112

2.4.4.- Licuefacción y Licuefacción hidrotermal -----	113
2.4.5.- Bio-hidrógeno -----	116
2.4.6.- Celdas o Pilas de Combustible -----	118
2.4.7.- Bioetanol -----	120
2.4.7.1.- Bioetanol de microalgas -----	122
2.4.8.- Biodiesel y transesterificación-----	123
2.4.9.- Digestión anaeróbica -----	129
2.5.- Conclusión Capitulo 2 -----	131
3.- CAPITULO 3 - LOCALIZACION-----	134
3.1.- Objetivo-----	135
3.2.- Recursos-----	135
3.2.1.- Clima-----	137
3.2.2.- Agua y nutrientes-----	142
3.2.3.- Dióxido de Carbono-----	145
3.2.4.- Recurso tierra-----	149
3.3.- Localización potencial en Argentina-----	152
4.- CAPITULO 4 – BALANCE DE MASA Y ENERGIA -----	174
4.1.- Objetivos -----	175
4.1.1.- Metodología -----	175
4.1.2.- Límites del Sistema -----	176
4.1.3.- Consideraciones para el balance energético y de masa -----	177
4.2.- Cultivo de microalgas -----	179
4.2.1.- Cultivo de las microalgas y energías específicas involucradas ---	180

4.2.1.1.- Cálculo de masas y energías necesarias para el cultivo -----	180
4.2.1.1.A.- Agua -----	180
4.2.1.1.B.- Dióxido de Carbono (CO₂) -----	181
4.2.1.1.C.- Nutrientes -----	182
4.2.1.2.- Cálculo energías propias del cultivo -----	183
4.2.1.3.- Total energía y masa en el cultivo -----	187
4.3.- Cosecha de microalgas -----	188
4.4.- Extracción de lípidos -----	192
4.5.- Conversión de lípidos en biodiesel – transesterificación -----	194
4.6.- Digestión anaeróbica -----	196
4.7.- Suma de magnitudes energéticas -----	197
4.8.- Cuantificación del producto final y su energía -----	199
4.9.- Diagrama de flujo -----	201
4.10.- Relación de energías -----	203
5.- CAPITULO 5 - EVALUACION ECONOMICA -----	208
5.1.- Objetivos -----	209
5.2.- Consideraciones -----	209
5.3.- Determinación de los costos del proyecto-----	211
5.3.1.- Costos de Capital -----	211
5.3.1.1.- Terreno -----	212
5.3.1.2.- Preparación del terreno -----	214
5.3.1.3.- Estanque, diques y divisores -----	216
5.3.1.4.- Recubrimiento del estanque – Membrana -----	220
5.3.1.5.- Sistema de mezclado -----	222
5.3.1.6.- Captación de agua -----	223

5.3.1.7.- Provisión de Dióxido de Carbono -----	224
5.3.1.8.- Costos de capital involucrados en el proceso de cosecha de microalgas --	230
5.3.1.8.1.- Biofloculación – Sedimentación -----	230
5.3.1.8.2.- Centrifugación -----	232
5.3.1.8.3.- Secado -----	233
5.3.1.9.- Extracción de aceite y transesterificación -----	234
5.3.1.9.1.- Extracción de aceite -----	235
5.3.1.9.2.- Transesterificación -----	239
5.3.1.10 – Nutrientes – Digestor anaeróbico -----	242
5.3.1.11.- Resumen de costos de capital -----	248
5.3.2.- Costos operativos -----	248
5.3.2.1.- Costo de materias primas -----	249
5.3.2.1.1.- Agua -----	249
5.3.2.1.2.- Dióxido de Carbono -----	249
5.3.2.1.3.- Nutrientes -----	249
5.3.2.2.- Costos por servicios -----	254
5.3.2.3.- Mano de obra directa -----	256
5.3.2.4.- Gastos generales -----	258
5.3.2.5.- Costos de mantenimiento-----	259
5.3.2.6.-Depreciaciones -----	259
5.3.2.7.- Fuentes de financiamiento-----	261
5.3.2.8.- Resumen costos operativos -----	261
5.4.- Resultados Capítulo 5 -----	262
6.- CAPITULO 6 – CONCLUSIONES-----	276
6.1.- Resumen general del proyecto presentado -----	277
6.1.1.- Tecnología considerada -----	277

6.1.2.- Resultados obtenidos	280
6.1.3.- Comentarios sobre los resultados obtenidos	283
6.2.- El estado actual de la industria de biocombustible de algas	287
6.3.- Argentina	299
7.- ANEXOS	302
8.- REFERENCIAS	382

I.-Agradecimientos

A MI FAMILIA, especialmente a mi marido Alfredo y mis hijas Delfina, Alexia y Fátima, que me apoyaron siempre.

A Adriana, por su apoyo y aliento en cada una de mis metas.

Quiero agradecer:

Al Ingeniero Julio Torti, mi tutor, por su confianza y por darme libertad de acción.

Al Dr. Nicolás Mazzeo, por su confianza y brindarme su ayuda a lo largo de toda la preparación de la Tesis.

Al Lic. Kaloustian y al Dr. Fernandez Velasco, que me brindaron sus conocimientos mediante entrevistas y correos con libertad.

A Narciso Cortadas, Docente de Ciencias Exactas, por sus enseñanzas sobre física, química y matemáticas.

A las siguientes personas que colaboraron de manera directa con sus conocimientos en distintos capítulos de la Tesis y que realizaron trabajos sin cargos:

Barbara Manfredi,

Cdr. Pedro del Rosso,

Gabriel Mateos, de M&V Mixing S.A.

Ing. Fernanda Aseff, de Sorja S.A.,

Ing. Hipólito Choren, Central Puerto S.A.

Ing. Isabel Albarracín, Universidad San Juan Bosco,

Ing. Marengo de Praxair S.A.

Ing. Codina,

Ing. Rojo,

Ing. Kluba, de Duber Ingeniería,

Ing. Gropelli por el digestor anaeróbico,

Jose Miranda Orlando, estación meteorológica del INTA,

Lic. Ethel Terreno

A las siguientes personas que de manera solidaria me brindaron informes o papers propios o de terceros que creían importantes para el presente trabajo:

Dr. John Benemann,

Dr. Adenle,

Dr. Righini,

Ing. Codina,

Ing. Luis Romeo,

Ing. Yañez, de Cammesa

Tec. Guillermo Marco

Y a todos aquellos que no están nombrados pero que colaboraron de una u otra manera para que se logaran los objetivos.

II.- Lista de Figuras

Capítulo 1 - Figuras

Figura 1 – Ratio de Reservas de Petróleo (R/P) medido en años

Figura 2 – Demanda Mundial de Energía Primaria

Figura 3 – Crecimiento Producto Bruto Interno Mundial al 2050

Figura 4 –Proyección Emisiones en GTC

Figura 5 – Producción Mundial de Biocombustibles al 2014

Figura 6 – Población Mundial Proyectada al 2050 por edades

Figura 7 – Población Mundial por Región 2010 – 2050

Figura 8 – Árbol Filogenético destacando la diversidad y distribución de las algas

Figura 9 – Productividad de aceite de las microalgas en comparación con los cultivos convencionales.

Figura 10 – Balances Energéticos Fósiles de Combustibles

Figura 11 – EROI (Retorno de Inversión de Energía) - Valores para sistema de cultivo en piletones

Figura 12 – EROI estimados de diferentes combustibles

Figura 13 – El Balance energético neto

Figura 14 – Comparación emisiones GEI para Diesel Convencional, Biodiesel de soja y Biodiesel de Algas

Figura 15 – Producción de biocombustibles en Argentina en toneladas

Capítulo 2 - Figuras

Figura 16 – Resumen de opciones de producción de biocombustibles de Algas

Figura 17 – Esquema de Proceso de Producción de Biocombustible de Algas

Figura 18 – Tres diferentes diseños de cultivo en sistemas abiertos

Figura 19 – Producción de Spirulina utilizada como suplemento nutricional Lago Twin Taung, Región Sgaing

Figura 20 – Cognis Dunaliella, Whyalla, Australia

Figura 21 – Chlorella cultivada en estanques redondos de 45 mts. de diámetro – Isla Ishigaki, Japón

Figura 22 – Diseño típico de un Raceway

Figura 23 – Granja de Earthrise. Alga: Spirulina

- Figura 24 – Planta Piloto Israel Electric Co. Seambiotic Ltd, Israel
- Figura 25 – Planta Piloto a escala industrial en Rio Tercero, Córdoba de Algatec S.A.
- Figura 26 – Estanques cerrados en granja Miyakojima de Micro Algae Corp.
- Figura 27 – (a) Producción en Israel de Haematococcus pluvialis en fotobioreactores tubulares – (b) Producción de Haematococcus pluvialis en Fuji Co., Hawaii. - (c) Fotobioreactor en Columna – (d) Fotobioreactor de pantalla plana
- Figura 28 – Ventajas y Desventajas típicas de los tres principales tipos de Reactores del sistema cerrado
- Figura 29 – Comparación de los sistemas abiertos y cerrado para cultivo de microalgas
- Figura 30 – Relación entre la fotosíntesis y la intensidad de la luz
- Figura 31 – Rendimientos observados y proyectados para cultivos y microalgas
- Figura 32 – Contenido de aceite en las algas
- Figura 33 – Contenido de aceite en algas de agua dulce
- Figura 34 – Contenido de aceite en algas de Agua salina
- Figura 35 – Efecto de limitación de nitrógeno en el contenido de lípido de algas eucariotas
- Figura 36 – Comparación de Métodos de Cosecha
- Figura 37 – Métodos de extracción de energía de la biomasa de algas
- Figura 38 – Procesos de conversión energética de la biomasa. Materias primas utilizadas y aplicaciones
- Figura 39 – Estudios en microalgas utilizando licuefacción sin catalítico
- Figura 40 – Componentes de un sistema de producción de hidrogeno
- Figura 41 – Desarrollo del mercado mundial de etanol
- Figura 42 – Distribuciones regionales y consumo proyectado de etanol al 2023
- Figura 43 – Métodos y resumen de los estudios recientes de investigaciones sobre uso de solventes para la extracción de lípidos de las microalgas
- Figura 44 – Reacción general de transesterificación
- Figura 45 – EROI (Tasas de Retorno Energético) según diferentes estudios

Capítulo 3 – Figuras

- Figura 46 – Recursos de tierra, clima y agua a considerar para la producción a escala de biodiesel de microalgas
- Figura 47 – Recursos a considerar para la producción a escala de biodiesel de microalgas
- Figura 48 – Mapa de Radiación Solar Global

Figura 49 – Mapa de radiación solar anual Argentina- Periodos 1999 – 2013 kWh/m²

Figura 50 – Zonas de temperatura proyectadas para ser aptas para la producción de biocombustibles de algas como materia prima correspondiente a una temperatura promedio anual de 15°C.

Figura 51 – Temperatura media anual – República Argentina

Figura 52 – Potencia Instalada nominal unificada al SADI por equipos de generación al 31/12/2013 y variación porcentual respecto a los años 2012 y 2013

Figura 53 – Distribución porcentual de la potencia instalada unificada al SADI por equipos de generación al 31/12/2013 (en %)

Figura 54 – Recursos típicos necesarios para una planta de producción de biomasa de algas

Figura 55 – Factores y pasos del proceso para evaluar la tierra disponible y adecuada para la producción de algas

Figura 56 – Comparación de los rendimientos de aceite y requerimientos de uso de la tierra de microalgas con otros cultivos utilizados para realizar biodiesel

Figura 57 – Áreas terrestres localizadas a altitudes menores que 500 mts.

Figura 58 – Gráfico comparativo de localidades potenciales para la realización del proyecto

Figura 59 – Resumen de valores correspondientes a las principales locaciones potenciales para la implantación del proyecto.

Figura 60 – Detalle de factores de carga de las centrales térmicas correspondientes a las cinco localidades propuestas para el emplazamiento

Figura 61 – Cálculo Dióxido de Carbono necesario anual para una planta piloto de microalgas

Figura 62 – Distancia entre la potencial Planta Piloto y la Central Térmica para cada una de las cinco localidades potenciales

Figura 63 – Detalle distancias entre la potencial Planta Piloto y la fuente de nutrientes

Figura 64 – Factores climatológicos de las cinco localidades potenciales

Figura 65 – Tabla de valores correspondientes a la radiación solar y el índice de evaporación correspondientes a las cinco localidades potenciales para el emplazamiento de una planta piloto de microalgas

Figura 66 – Valores correspondientes a las distancias a rutas y accesos de las cinco localidades potenciales para el emplazamiento de una planta piloto de microalgas

Figura 67 – Valores correspondientes a la pendiente y uso del suelo en las cinco localidades potenciales para el emplazamiento de la planta piloto de microalgas

Figura 68 – Distancias al agua desde cada emplazamiento potencial

Figura 69 – Datos clasificados por rango de valores de los criterios seleccionados para evaluar la localización potencial de una planta piloto en nuestro país

Figura 70 – Tabla de Resultados Finales

- Figura 71 – Costa de Rio Paraná, ubicación Timbúes, Centrales Termoeléctricas
- Figura 72 – Vista Aérea Central Térmica San Martin y Vuelta de Obligado, Timbúes
- Figura 73 – Radiación Promedio Mensual en Timbúes, Santa Fe
- Figura 74 – Temperatura Promedio Mensual en Timbúes. Santa Fe
- Figura 75 – Vista Aérea –Central Térmica San Martin, Central Térmica Vuelta de Obligado, Predio Potencial para el emplazamiento de la Planta Piloto de microalgas

Capítulo 4 – Figuras

- Figura 76 – Limite del sistema para el balance energético y de masa correspondiente a la producción de biodiesel de microalgas
- Figura 77 – Resumen de flujos de agua para microalgas
- Figura 78 – Requerimiento anual de agua para un piletón de 500.000L de cultivo de microalgas
- Figura 79 – Requerimiento anual de Dióxido de carbono para un piletón de 500.000 L de cultivo de microalgas
- Figura 80 – Requerimiento anual de nutrientes para un piletón de 500.000 L de cultivo de microalgas
- Figura 81 – Ecuación de Manning
- Figura 82 – Cálculo de pérdida de carga en las curvas
- Figura 83 – Cálculo de la energía necesaria para realizar el proceso propio de cultivo de microalgas
- Figura 84 – Energía requerida para el cultivo en un piletón de 500.000 L
- Figura 85 – Cálculos energía necesaria para el proceso de cosecha por biofloculación y centrifugación para un piletón de 500.000 L
- Figura 86 – Energía necesaria para el proceso de Secado con Flash dryer para la producción anual correspondiente a un piletón de 500.000 L
- Figura 87- Cálculos totales correspondientes a toda la etapa de cosecha, incluyendo el secado
- Figura 88 – Detalle de los flujos más importantes en la extracción y transesterificación de lípidos generados por la producción de 1 kg. De Biodiesel
- Figura 89 – Cálculo de energías requeridas correspondientes al proceso de extracción de lípidos
- Figura 90 – Requerimientos energéticos, caloríficos y económicos para una instalación de extracción de lípidos vía hexano, para una planta de 105 o 4000 mt/día de biomasa
- Figura 91 – Energía por conversión de lípidos a biodiesel
- Figura 92 – Generación bruta de energía a partir de 1 kg de sólidos volátiles (SV) de microalgas

Figura 93 – Detalle de energías requeridas para el cultivo de microalgas para un piletón de 500.000 L

Figura 94 – Contenido energético de energía por biodiesel y metano

Figura 95 – Energía generada anual por el biodiesel proveniente de un piletón de 500.000 L en una superficie de 1667 m²

Figura 96 – Energía generada anual por el Metano

Figura 97 – Total energías generadas en el proceso

Figura 98 –Diagrama de flujo

Figura 99 – NER (Net Energy Ratio)

Figura 100 – Cálculos correspondientes al gasto energético y al NER para la producción de biodiesel a partir de microalgas cultivadas en un piletón de 500.000 L

Figura 101.- Gasto energético en la producción de biodiesel de microalgas por procesos

Figura 102 – Distribución porcentual de las energías consumidas en la producción de biodiesel de microalgas

Figura 103 – Cuadro comparativo de valores publicados de NER

Capítulo 5 – Figuras

Figura 104 – Detalle de principales variables consideradas

Figura 105 – Dimensión total planta piloto

Figura 106 – Listado de costos de capital para una Planta Piloto de Microalgas para la producción de biodiesel

Figura 107 – Valor Terreno

Figura 108 – Vista Aérea Central Térmica San Martín y Central Térmica Vuelta de Obligado

Figura 109 – Detalle cotización Sorja S.A. por tareas de preparación del terreno

Figura 110 – Técnicas de construcción y materiales para Raceways

Figura 111 – Sistema de cultivo en Raceways a pequeña escala

Figura 112 – Costo de construcción de piletones utilizando tierra compactada y manto de polietileno de alta densidad

Figura 113 – Costo de construcción de piletones con tabiques de bloques de cemento y viga

Figura 114 – Descripción sobre los distintos materiales de cobertura para el piletón

Figura 115 – Vistas paddlewheel

Figura 116 – Vista planta Israel absorción CO₂ directamente desde la chimenea a los piletones

Figura 117 – Traza del gasoducto desde central térmica a planta biodiesel

Figura 118 – Cálculo generación promedio anual emisiones CO₂ Central Térmica San Martín 2012-2014

Figura 119 – Cálculo de la capacidad diaria de los equipos para realizar el proceso acorde cosecha diaria

Figura 120 – Dimensión del sistema experimental de cosecha establecido por Weissman y Goebel en 1987

Figura 121 – Costo por la construcción del tanque donde se realiza la biofloculación/sedimentación

Figura 122 – Cotización Spray Dryer

Figura 123 – Costos equipos de cosecha de biomasa algal

Figura 124 – Extractor Soxhlet

Figura 125 – Cálculo base para la dimensión del equipo de extracción kg/día

Figura 126 – Presupuesto equipo de extracción de aceite

Figura 127 – Detalle costo total de equipo de extracción de aceite nacionalizado

Figura 128 – Componentes de un reactor semiindustrial

Figura 129 – Modelo reactor construido

Figura 130 – Parámetros para la elaboración del biodigestor

Figura 131 – Resumen costos de capital para la Planta Piloto 0.4 hectáreas

Figura 132 – Requerimiento anual de nutrientes en la planta piloto

Figura 133 – Análisis de nutrientes reciclados vs. necesidades en el cultivo

Figura 134 – Vista criadero de pollos y distancia a 4.21 km de Central Térmica

Figura 135 – Cálculo análisis de nutrientes utilizando residual aviar

Figura 136 – Cálculo costo de energía anual

Figura 137 – Sueldos base anual

Figura 138 – Detalle sueldos y cargas sociales

Figura 139 – Gastos Generales 50% mano de obra

Figura 140 – Cálculo Costos de mantenimiento sobre Subtotal excluyendo terreno

Figura 141 – Resumen costos operativos anuales

Figura 142 – Resumen costos de capital planta piloto

Figura 143 – Proporción costos de equipos en relación al costos total

Figura 144 – Composición y apertura de los costos en la etapa de cosecha

Figura 145 – Costos de Capital correspondientes a estanques

Figura 146 – Costos de Capital para 100 ha. Cultivo/cosecha con extracción y transesterificación en instalaciones centralizadas

Figura 147 – Apertura costos etapa de cultivo del presente estudio

Figura 148 – Relación entre costos de capital y tamaño de la planta para sistemas de microalgas

Figura 149 – Proporción de gastos anuales operativos

Figura 150 – Cálculo ingreso por generación de metano

Figura 151 – Cálculo costo total de producción

Figura 152 – Costo de Producción a escala industrial, correspondiente a distintas publicaciones ajustada a los costos del 2008

Capítulo 6 – Figuras

Figura 153 – Calculo de la Superficie total ocupada por los piletones en la Planta Piloto Propuesta

Figura 154 – Gasto Energético y NER

Figura 155 – Costos de Capital correspondientes a la Planta Piloto propuesta

Figura 156 – Costos Operativos correspondientes a la Planta Piloto propuesta

Figura 157 – Resumen de costos anuales incluyendo costos financieros

Figura 158 – Producción Mundial de Biodiesel y Capacidad Instalada Mundial al 2008

Figura 159 – Producción de biocombustibles de algas por región 2010-2020

Figura 160 – Participación por país en la producción mundial de algas al 2020

Figura 161 – Listado de principales empresas, universidades y laboratorios involucrados en el desarrollo del mercado de biocombustible de algas.

Figura 162 – Proyectos actuales, inversor y objetivos.

ANEXO VIII - Figuras

Figura 163 – Esquema de diseño típico de Raceway para la producción de microalgas

Figura 164 – Escalado de cultivo de *Dunaliella* en Eilat, Israel

Figura 165 – Configuración piletas inóculos

Figura 166 – Diseño de escalado propuesto por el Dr. Ben Amotz y acorde al layout de la planta de Seambiotic

Figura 167 – Volumen de inóculo/Raceway propuestos para la planta piloto

Figura 168 – Recomendaciones para establecer ancho y largo de los canales

Figura 169- Seambiotic. Israel

Figura 170 – Tamaño de piletones propuesto para cultivo de microalgas

Figura 171 – Cálculo de la Superficie total ocupada por los piletones

III – Listado de Anexos

	ANEXOS -----	302
Anexo I	Listado de Centrales en la República Argentina -----	303
Anexo II	Mapa GEOSADI -----	306
Anexo III	Inventario Plantas de Tratamiento -----	307
Anexo IV	Planilla General Resumen Parámetros de Localización -----	318
Anexo V	Matriz de Decisión Localización Planta Piloto Proyecto Biodiesel de microalgas en Argentina -----	319
Anexo VI	CT – Potencias y Factor de carga 2012 -----	330
Anexo VII	Localidades con Mayor ponderación – Gráfico -----	331
Anexo VIII	Dimensión total de la planta piloto propuesta y escalado de cultivos -----	332
Anexo IX	Cotización campo Timbúes -----	342
Anexo X	Cotización movimiento suelos Proveedor Antonio y Teresa Russo -----	344
Anexo XI	Presupuesto por trabajos Proveedor Sorja S.A. -----	345
Anexo XII	Cotización Presupuesto Membrana Polietileno Alta Densidad Proveedor Hugo Chinelatto -----	347
Anexo XIII	Cotización Presupuesto Sistema de Mezclado Proveedor M&V Mixing- -----	350
Anexo XIV	Cotización Compra Dióxido de Carbono Proveedor Praxair S.A. -----	355
Anexo XV	Cotización Spray Dryer Proveedor Duber S.A. -----	356
Anexo XVI	Cotización Equipo Soxhlet Proveedor Figmay S.R.L. -----	360
Anexo XVII	Cotización Equipo Soxhlet 100 L Shanghai Better Industry origen China- -----	369
Anexo XVIII	Cotización Digestor Anaeróbico Proveedor EG Ingeniería S.A. -----	374

IV.- Abreviaturas

GEI	Gases Efecto Invernadero
GTC	Global Total Greenhouse Gas Emissions
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
HFCs	Hidrofluorcarbonos
PFCs	Perfluorcarbonos
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
P	Fosforo
K	Potasio
Fe	Hierro
Mn	Manganeso
Mg	Magnesio
N	Nitrógeno
C	Carbono
Na	Sodio
FeCl ₃	Cloruro Férrico
Al ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato de Aluminio
Fe ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato Férrico
H ₂ SO ₄	Acido Sulfúrico

NaOH	Hidróxido de sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
Tn	tonelada
Kg	kilogramo
G	gramos
mg	miligramo
Mts	metros
M	metros
mm	milímetro
Inch	pulgada
m ²	metro cuadrado
Km ²	kilometro cuadrado
M ³	metro cubico
L	litro
Mml	miles de millones de litros
Ltd.	Limitada
S.A.	Sociedad Anónima
LHV	valor calórico inferior
ms	milisegundos
kWh	kilowatt hora
MW	Megawatt

Wh	Watt hora
Mj	megajoules
µm	micrones
MPa	Mega pascal
h	hora
°C	grados Centígrados
°F	grados Farenheit
%wt	% concentración biomasa (peso)
ACV	Análisis del ciclo de vida
LCA	Análisis del ciclo de vida
EROI	Retorno de Inversión de Energía
FAME	Esteres metílicos de ácidos grasos
Hab	habitantes
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
SADI	Sistema Argentino de Interconexión
NER	Net Energy Ratio
VEN	Valor de Energía Neta
SV	Sólidos Volátiles
PVC	Cloruro de polivinilo
EVA	Acetato de vinilo de etileno
USD	Dólares estadounidenses



Capítulo 1

Introducción

1.- Introducción

1.1.- Combustibles Fósiles y Calentamiento Global

Los combustibles fósiles se han producido durante el "tiempo geológico", debido principalmente a la fotosíntesis que utiliza la energía solar, y han generado una revolución industrial. Sin embargo, las reservas son finitas. La teoría del pico de Hubbert, también conocida como cenit del petróleo, es una influyente teoría sobre la tasa de agotamiento a largo plazo del petróleo, así como de otros combustibles fósiles. Predice que la producción mundial de petróleo llegará a su cenit y después declinará tan rápido como creció, resaltando el hecho que el factor limitante de la extracción de petróleo es la energía requerida y no su costo económico (1)

El documento realizado por BP (institución internacional especializada en energía) (2) informa que las reservas probadas mundiales de petróleo en el año 2014 son suficientes para abastecer 52,5 años de demanda, según los patrones de producción y consumo mundial actual (ver Figura 1). La demanda está aumentando debido a la actividad industrial en crecimiento y el desarrollo principalmente en la región de Asia y el Pacífico.

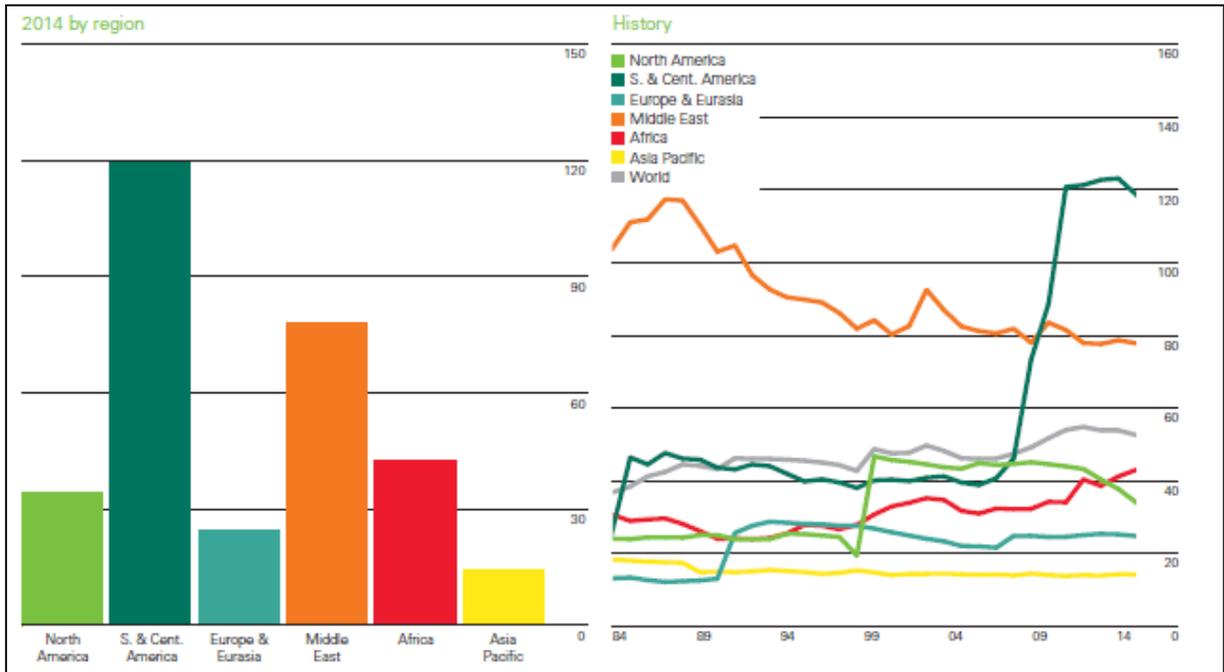


Figura 1 – Ratio de Reservas de Petróleo (R/P) medido en años. Fuente: (2)

A nivel mundial, los hidrocarburos contribuyen con un número significativo de abastecimiento de la energía primaria consumida. En concreto, en el año 2009, el 33% del consumo mundial de energía primaria proviene del petróleo, por lo que es la fuente de energía más utilizada. (3)

En su escenario base del documento World Energy Outlook 2011, la Agencia Internacional de Energía (AIE) informa que el consumo de petróleo se reducirá en 5 puntos porcentuales en el mix energético en el año 2035 en comparación con el 2009. Mientras tanto, el gas natural llegará a una participación del 23%, con una demanda total de energía estimada en 16.961 millones de toneladas equivalentes de petróleo. (3) (Ver Figura 2)

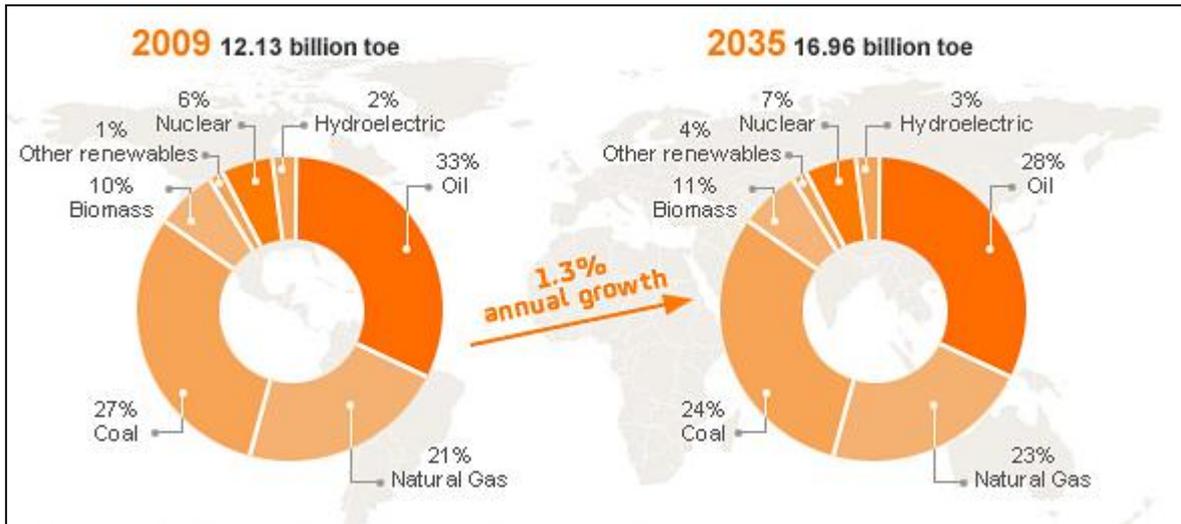


Figura 2 – Demanda Mundial de Energía Primaria – Fuente: (3)

Hacia el año 2050, la economía mundial crecerá casi cuatro veces más, con una creciente demanda de energía y recursos naturales. Bajo el escenario de las condiciones actuales (que incluyen patrones de consumo), se estima que para satisfacer el crecimiento poblacional establecido, la demanda de energía mundial, será un 80% más alta que la actual (Ver Figura 3), y la energía proveniente de combustibles fósiles, seguirá siendo la principal fuente de energía (4). Durante las próximas décadas, habrá una necesidad continua de recursos fósiles con el fin de permitir el tiempo necesario para que las energías renovables y otras fuentes de energía puedan desarrollarse técnicamente, comercializar y ganar mercado (5)

La llegada del pico del petróleo provocaría una escasez de dicho recurso. Pero esta escasez sería diferente a todas las sucedidas en el pasado ya que sus causas serían muy distintas. Los anteriores períodos de escasez tuvieron más que ver con razones políticas que con problemas reales en la extracción de los recursos. Esta vez, en cambio, el motivo fundamental será la falta de crudo suficiente para abastecer a toda la demanda. Los efectos y la gravedad de dicha escasez dependerán de lo rápido que

decrezca la producción y de si se adoptaron medidas preventivas para adaptar la sociedad al uso de energías alternativas. Pero puede que esas alternativas ni siquiera lleguen a tiempo. En ese caso todos los productos y servicios que requieran el uso de petróleo escasearán disminuyendo el nivel de vida de todos los países. Los escenarios futuros van desde un más que probable colapso de la sociedad industrializada hasta los que afirman, no sin cierta fe en ello, que la economía de mercado o las nuevas tecnologías resolverán el problema. (1)

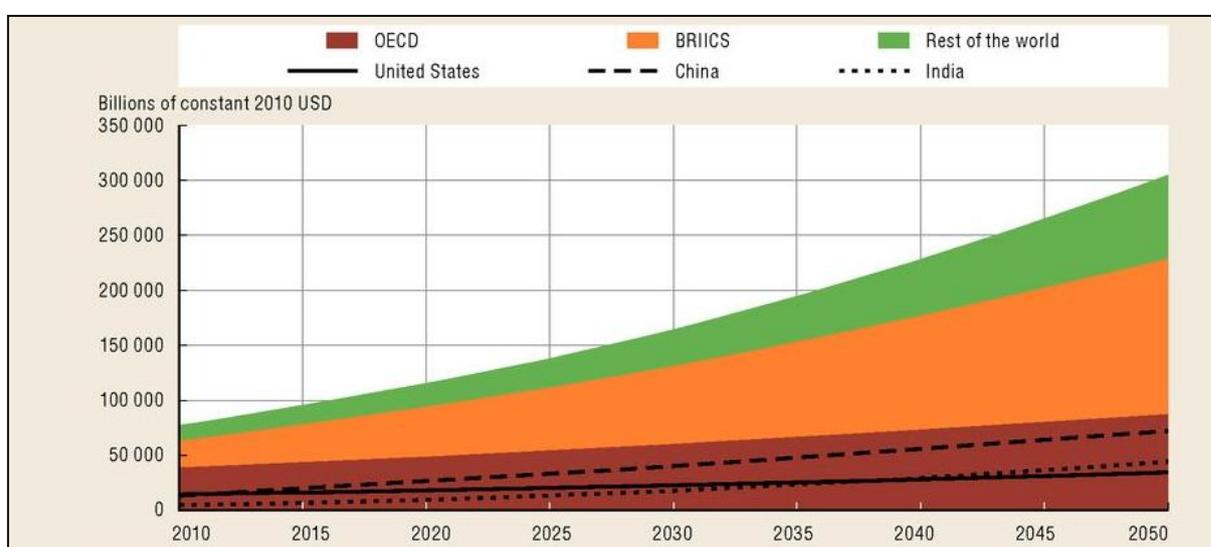


Figura 3 – Crecimiento Producto Bruto Interno Mundial al 2050 – Fuente (4)

La oferta limitada junto con el aumento de la demanda y los precios, normalmente conducen a una búsqueda de alternativas en cualquier mercado, pero la búsqueda de alternativas a la energía proveniente de los combustibles fósiles también está siendo impulsada por las preocupaciones sobre el cambio climático y la continuidad del suministro debido a la "inestabilidad política".

La temperatura del aire en la superficie terrestre, es el resultado del balance de energía entre la energía que llega del sol, y la energía que se pierde por enfriamiento.

La atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar que llega desde el sol, pero no así con la radiación en el espectro infrarrojo que emite la tierra al enfriarse. El efecto invernadero es producido por gases presentes en la atmósfera, los Gases Efecto Invernadero (GEI). Estos son: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs), Sulfuro Hexafluoruro (SF_6). Estos gases representan el 1% y actúan reteniendo parte del calor que libera la tierra. Sin este efecto, la temperatura de la Tierra sería un promedio 30° grados más baja (6).

Una de las consecuencias del mencionado cambio climático es el calentamiento global: el ascenso de la temperatura media en numerosos observatorios del planeta. El calentamiento global a lo largo del siglo XX (1901-2000) se estima en 0.6°C (7), valor que se ha aumentado a 0.74° en el Cuarto Informe del IPCC (1906 – 2005) (8). Esta tendencia se ha observado tanto en la superficie terrestre, en la atmósfera y en los primeros metros de los océanos, pero ha sido más rápida en las zonas terrestres que en los mares.

Acorde al informe publicado por el PNUMA (UNEP) “The Emissions Gap Report 2012, allí se puede ver la evolución de las emisiones hasta el año 2010 expresadas en Toneladas Giga de Carbono (GtC) y la evolución que las mismas debieran seguir durante este siglo para estar dentro del límite de no producir un aumento de la temperatura global más allá de los 2°C y para el objetivo más ambicioso de limitar ese incremento en solo 1,5°C. En cualquier caso las emisiones deben alcanzar su pico máximo antes del 2020 y comenzar una rápida reducción. Para el año 2050 las emisiones globales deberán estar en el rango del 50-85% por debajo de los niveles del año 2000. Esto nos indica el fuerte y abrupto nivel de reducción que debe producirse en

el uso de combustibles fósiles, principal fuente de emisión de CO₂. Recordemos que el sector de la energía es uno de los principales sectores que contribuyen a las emisiones de GEI y que para alcanzar objetivos de mitigación como los indicados, este sector debe reducir sus emisiones a un nivel muy importante ya que otros sectores productivos no podrán efectuar reducciones tendientes a cero. (9) (Ver Figura 4)

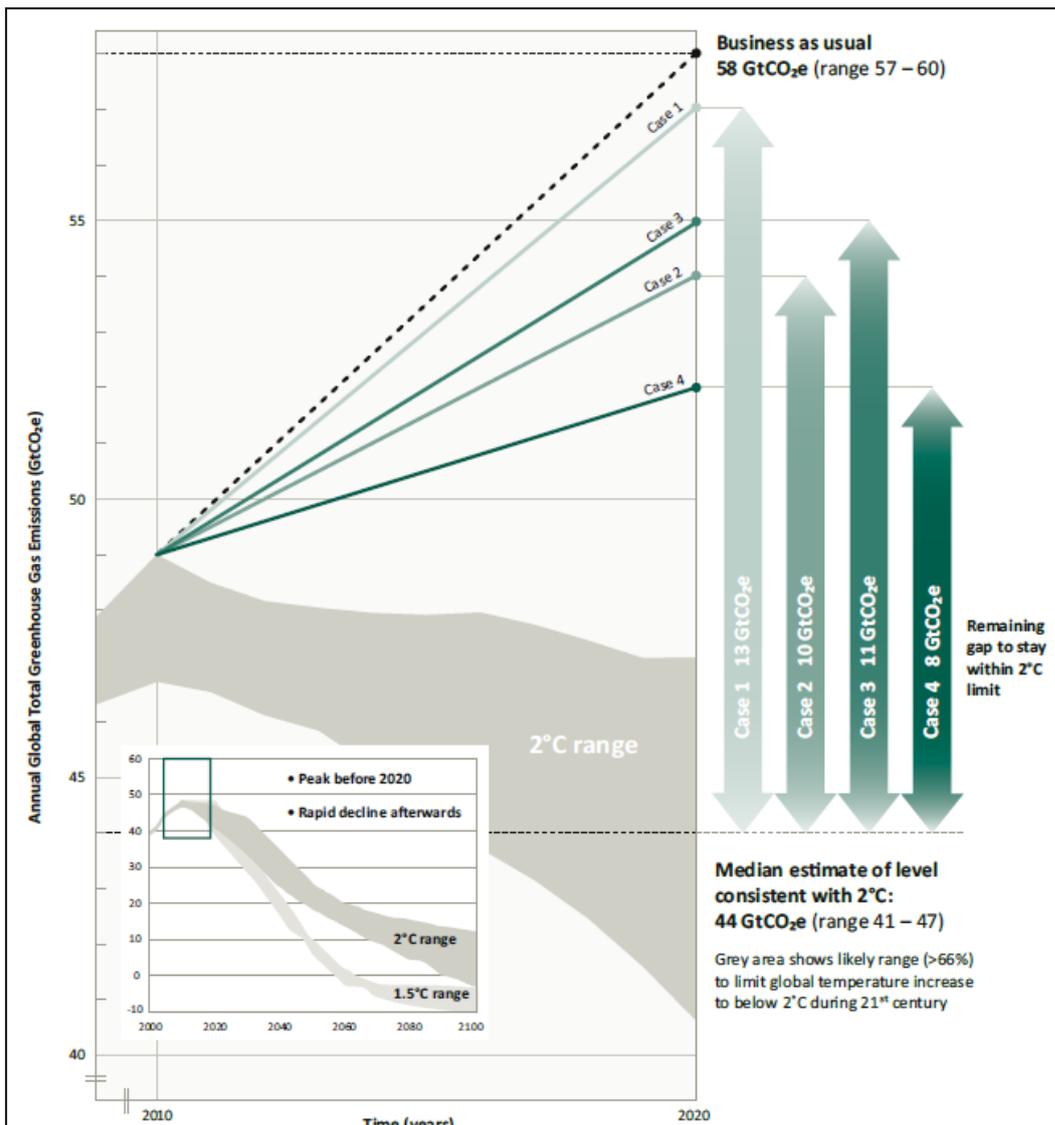


Figura 4 – Proyección Emisiones en GTC - Fuente: (9)

Independientemente de la discusión sobre el origen del calentamiento global, y como mencionamos en el párrafo anterior, a los países desarrollados y en vías de desarrollo les interesa disminuir su dependencia de los combustibles fósiles, muchos de ellos importados de zonas de gran inestabilidad política, de países de escaso o nulo nivel democrático. Para ello es necesario ir reduciendo la participación de éstos en el “mix” energético. El rol ocupado por el CO₂ y la asociación de sus emisiones con el consumo de estos combustibles puede ser útil para ir reeducando ciertos comportamientos sociales hacia este objetivo, aunque no haya acuerdo científico sobre esta relación. (10)

La producción de biocombustibles provenientes de fuentes renovables, puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles generando adicionalmente menores impactos ambientales y sustentabilidad económica. (11)

1.2.- Recursos Renovables - Bioenergía

La preocupación por el calentamiento global, la disminución de las reservas de combustibles fósiles, los cambios en los precios de los combustibles y la seguridad de los combustibles han impulsado la investigación en el uso más eficiente de los recursos, conjuntamente con investigaciones de fuentes de energía alternativas y renovables.

Se define «el desarrollo sustentable como aquel que permite la satisfacción de “las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades “(12). El desarrollo sustentable ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares, tratando de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente (13).

Desde el punto de vista económico, la inversión a largo plazo en biocombustibles, implicaría una producción que tenga sentido económico, con condiciones estables competitivas que induzcan a los productores a elegir por la producción de ellos; considerando los impactos que pueda ocasionar el aumento de la producción por considerar el uso alternativo de la tierra para alimento, también implicaría considerar en qué medida los biocombustibles pueden ser un sustituto fiable para los combustibles fósiles. (14)

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, se debe incluir las emisiones de gases de efecto invernadero, el estrés del suelo y su capacidad para mantener la capacidad productiva, los recursos hídricos disponibles, el aire, la contaminación del agua y la biodiversidad. (14)

En tercer lugar, la sostenibilidad social de un biocombustible implica consideraciones sobre el desarrollo rural, la participación comunitaria, la inclusión de los pequeños agricultores en los procesos de producción, la mano de obra y los derechos de la tierra. (14)

Sustentabilidad o la ausencia de ella, incluso en un contexto localizado, tiene un impacto global y es un reto para establecer claramente los límites en cuanto a lo que es y lo que no es sostenible. (14)

Un factor clave para el desarrollo económico de los países y la transición de las economías agrícolas de subsistencia a las sociedades modernas industriales y orientadas hacia los servicios es contar con un suministro de energía adecuado y asequible. La energía es imprescindible para potenciar el bienestar social y económico y, en la mayoría de los casos, es indispensable para generar la riqueza industrial y comercial. Es

una condición sine qua non para aliviar la pobreza, generalizar la protección social y elevar el nivel de vida. Pero por esencial que pueda ser para el desarrollo, la energía es sólo un medio, no un fin, y el fin reside en lograr una buena salud, un alto nivel de vida, una energía sostenible y un medio ambiente limpio. No hay ninguna forma de energía – carbón, solar, nuclear, eólica o de cualquier otro tipo – que sea buena o mala intrínsecamente, y cada una de ellas vale sólo en la medida en que cumpla los fines para los que ha sido creada. (15)

Gran parte del abastecimiento y utilización actuales de la energía, basada como es sabido, en recursos limitados de combustibles fósiles, se considera ambientalmente insostenible. No existe producción de energía o tecnología de conversión sin riesgos o sin desechos. En algún punto de todas las cadenas de energía – desde la extracción del recurso al suministro de los servicios energéticos – se producen, emiten o eliminan contaminantes, a menudo con graves repercusiones para la salud y el medio ambiente. (15)

Históricamente, el desarrollo económico ha sido fuertemente relacionado con el aumento del consumo de energía y el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las energías renovables, pueden ayudar a desacoplar esa correlación, que contribuye al desarrollo sostenible. Aunque la contribución exacta de las Energías Renovables al desarrollo sustentable, tiene que ser evaluado en un contexto específico según cada país, estas energías ofrecen la oportunidad para contribuir al desarrollo económico y social, el acceso a la energía, el suministro de energía seguro, la mitigación del cambio climático, y la reducción de los impactos ambientales y de salud negativos. (15)

La energía renovable incluye normalmente fuentes como la solar, hidroeléctrica, mareomotriz, olas, el viento y los biocombustibles a partir de biomasa. La biomasa se puede definir como; materiales orgánicos renovables y recientemente producidos, como la madera, la agricultura cultivos o desechos y residuos municipales procedentes de fuentes recientes que se pueden grabar directamente o transformada en biocombustibles como el etanol, el biodiesel y el metano. El termino bioenergía se utiliza para cubrir tanto la energía generada a partir de biomasa, como los biocombustibles derivados de la biomasa (16). En el Reino Unido el 80% del uso de energía renovable, excluyendo solar, es a partir de biomasa (17), en la Unión Europea dos tercios del total de energía renovable es a partir de biomasa (18), en Argentina, la participación es del 9% en 2011 y un 4% en el 2012 (19).

La humanidad ha estado utilizando la bioenergía durante milenios desde el descubrimiento del fuego y la biomasa fue el suministro de energía más importante hasta la revolución industrial, pero a medida que el uso de energía fósil creció, el uso de la biomasa se convirtió "casi inexistente en los países industrializados (20)

La bioenergía es importante en todo el mundo, representando el 13% del Consumo de energía mundial y es de vital importancia en muchos países no industrializados como Mozambique, Etiopía y Nepal utilizando la biomasa para el 90% de sus necesidades de energía primaria (20).

Aunque la contribución de la bioenergía es baja en la mayoría de los países industriales, por ejemplo, 2 a 3% de la demanda total de energía en el Reino Unido, EE.UU. y Alemania, su uso es creciente y puede ser importante en las naciones productoras de azúcar, donde llega a representar el 40% del suministro de energía (20).

El bioetanol y la producción de biodiesel han aumentado cada año desde 2003 hasta 2014 (Ver Figura 5) con un aumento del 6% y 10.3% en 2014 (2).

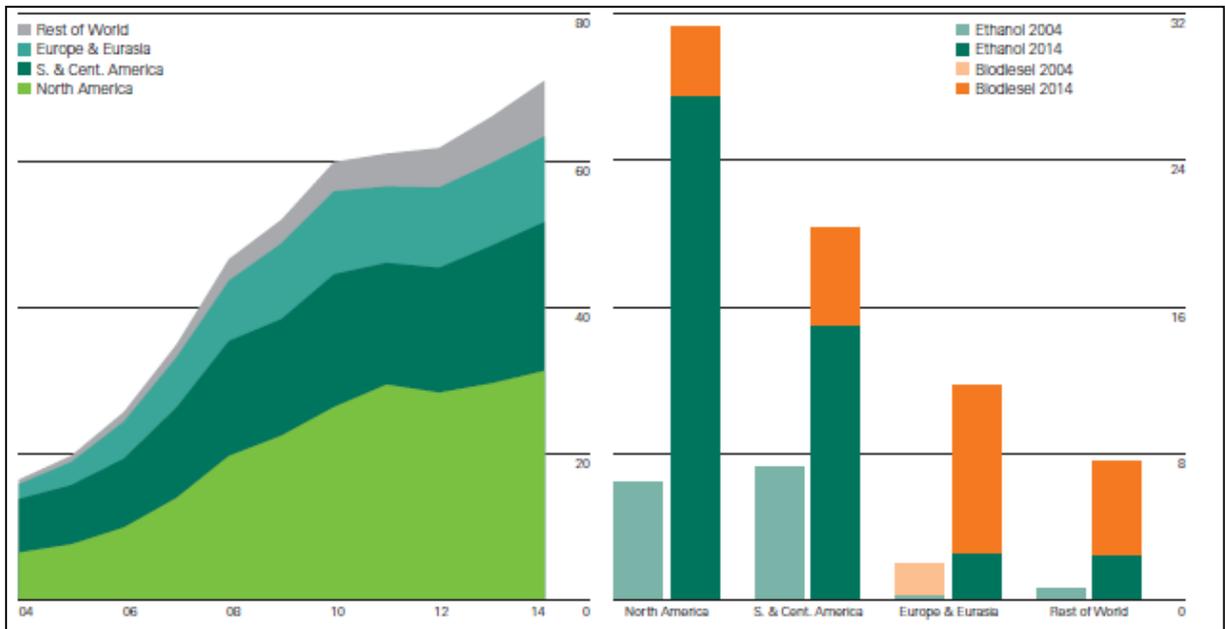


Figura 5 - Producción Mundial de Biocombustibles – Crecimiento de biocombustibles en 7.4% en el 2014 – La producción de etanol mundial aumentó en 6,0%, el segundo año consecutivo de crecimiento, dirigido por los aumentos de América del Norte, del Sur y América Central y Asia Pacífico. La producción de biodiesel se incrementó en un 10,3% en 2014, a pesar de una disminución de la producción de América del Norte. – Fuente: (2)

1.3 Crecimiento Poblacional

De acuerdo al último informe de las Naciones Unidas sobre Proyecciones Demográficas, la población mundial aumentará en un 38%, desde 6,9 billones en 2.010 hasta 9,6 billones en 2050, donde la población de niños menores de 15 años se prevé que aumentará en sólo el 10%, como consecuencia del descenso de la natalidad. (Ver Figura 6) (21). La población de África se prevé que sea la que mas crezca, y conformará una proporción mayor que la actual respecto a la población mundial. (Ver Figura 7)

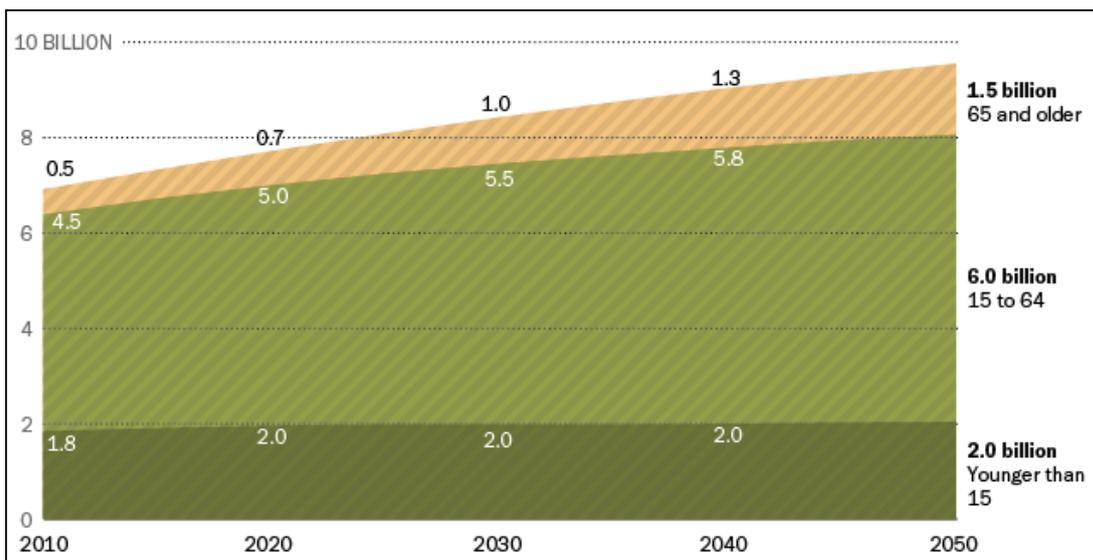


Figura 6: Población Mundial Proyectada al 2050 por edades – Fuente: (21)

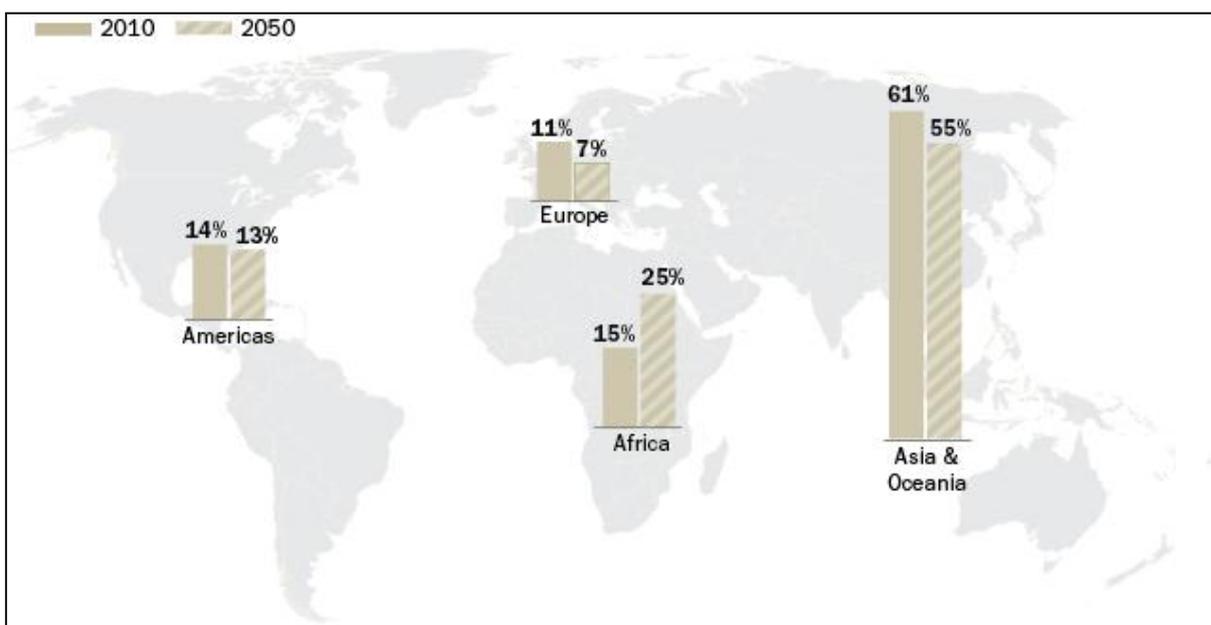


Figura 7: Población Mundial por Región 2010-2050 – Fuente: (21)

El promedio mundial de disponibilidad per cápita de alimentos para el consumo humano directo, mejoró a 2.770 Kcal / persona / día en 2005/2007. Por lo tanto, en principio, habría suficiente alimento para abastecer esa demanda total de alimentos. Sin embargo, esto no ha sucedido: unos 2,3 billones de personas viven en países con menos

de 2.500 Kcal, y en torno al 0,5 billones en países con menos de 2000 Kcal, mientras que en el otro extremo un aproximadamente 1,9 mil millones se encuentran en países que consumen más de 3.000 Kcal. Las razones son bastante conocidas: principalmente la pobreza, que tiene muchas facetas, pero es en muchos países de bajos ingresos vinculada a las fallas para desarrollar la agricultura y el acceso limitado a los alimentos producidos en otros países. (22)

Todas las proyecciones están rodeadas de incertidumbre; pero la evolución esperada de la demanda de alimentos está sujeta a menos incertidumbre que otras variables, particularmente demandas procedentes de los nuevos usos de los productos agrícolas y las necesidades de tierras y recursos hídricos subyacentes. Recientemente, el uso de productos como materias primas para la producción de biocombustibles ha ido creciendo en importancia: tal es el caso del uso de maíz para etanol en los EE.UU., de la caña de azúcar en Brasil, de los aceites vegetales y los cereales en la Unión Europea para producir biodiesel y etanol. En caso de continuar estas tendencias, los biocombustibles podrían llegar a ser una fuerza disruptiva importante, posiblemente beneficiando a los productores, pero perjudicando a los consumidores de bajos ingresos. (22)

La mayoría de los países cuyo crecimiento de la población se espera que sea rápido en el futuro son, precisamente, los que muestran un consumo inadecuado de alimentos y altos niveles de desnutrición. La mayoría de ellos se encuentran en África subsahariana. Se espera que la tasa de crecimiento de la población de esta región caiga de un 2,8 por ciento en el pasado a un todavía elevado 1,9 por ciento anual en el período de 2050, mientras que el resto del mundo declina desde el pasado un 1,6 por ciento a 0,55 por ciento anual. Sucesivas revisiones de las perspectivas demográficas, además,

sugieren que el crecimiento de la población en estos mismos países se prevé que frenara mucho menos de lo previsto (22)

Tales cambios drásticos en países con inseguridad alimentaria pueden alterar significativamente los desarrollos proyectados en la seguridad alimentaria mundial. La disminución de la población y los altos niveles de consumo per cápita alcanzado en algunos países importantes pueden contribuir a la desaceleración del crecimiento de la demanda agregada. Lo que suceda respecto al total del consumo de bienes agrícolas dependerá también en la medida en que los usos no alimentarios, como los biocombustibles, tomen el relevo (22). La producción de biomasa compite con la producción de alimentos y esta competencia podría llevar a escasez de productos básicos, como los cultivos, que de otra forma en vez de estar disponibles para alimentos o productos forestales podrían ser usados como combustibles. (23)

Según la definición de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), la seguridad alimentaria existe cuando "todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, sanos y nutritivos que alcanzan los requerimientos de la dieta y los requerimientos alimenticios necesarios para una vida activa y sana "(14). En otras palabras, las personas obtienen la seguridad alimentaria cuando hay suficientes alimentos disponibles, la oferta es suficientemente estable, y todo el mundo tiene acceso a los alimentos (24). Cuando se utilizan materias primas para la alimentación, la disponibilidad de alimentos se verá limitado por el suministro de biocombustibles, siempre y cuando compitan por los mismos recursos (tierra, fertilizantes, agua, etc.). El impacto puede ser más o menos en función directa de la materia prima y el lugar físico donde se cultiva. También hay efectos indirectos tales como ocurre en el caso del maíz de Estados Unidos utilizado para producir etanol,

donde los efectos sobre la seguridad alimentaria son canalizados indirectamente a través de los precios en el mercado de cereales mundial y otros productos alimenticios cuyos balances de oferta y demanda se ven afectados por el aumento del uso de maíz en Estados Unidos en bioetanol. (14)

En los combustibles de primera generación como por ejemplo el bioetanol producido a partir de biomasa y utilizado en el sector del transporte, el aumento de la capacidad de producción requiere más tierras agrícolas cultivables, lo que resulta en la reducción de tierras para alimentación humana y producción animal (23). El uso intensivo de fertilizantes, pesticidas y agua en tierras limitadas a cultivos, puede reducir, no solo la capacidad de alimentos de las tierras, sino también generar un daño al medio ambiente (25). Un aumento de la utilización de biocombustibles de primera generación, conducirá inevitablemente a un aumento del precio de los alimentos más allá del alcance de los más desfavorecidos. Las consecuencias políticas de esto podrían ser de difícil contención (23).

Al parecer, los biocombustibles de segunda generación, es decir, aquellos que contribuyen en un uso reducido de tierras debido a su alto rendimiento potencial de energía por hectárea, son recomendados por generar menor impacto al medio ambiente; pero tienen una habilidad limitada para satisfacer la demanda de energía (26). Dentro de esta categoría se encuentran los residuos ligno celulósicos, residuos agrícolas, la *Jatropha curcas* (27). Adicionalmente tienen un riesgo de bioseguridad en torno a la introducción de especies invasivas.

Los biocombustibles de tercera generación como por ejemplo el biodiesel producido a partir de microalgas tienen la posibilidad de ser una opción con gran

potencial a futuro debido a que alcanzan altas productividades por área en comparación a los anteriores cultivos (26), pueden ser una importante herramienta para combatir las emisiones de CO₂ (28) y evaden la competencia directa con las tierras destinadas a cultivos para alimentos (29).

La seguridad alimentaria es una meta de desarrollo clave, y el conflicto potencial con la seguridad energética puede jugar en muchos niveles incluido el nivel nacional e incluso regional. Qué tiene prioridad y en qué medida la seguridad alimentaria podría impedir el desarrollo de biocombustibles a gran escala, dependerá del equilibrio general entre el tamaño de la población, el crecimiento proyectado, la disponibilidad de tierras (o su escasez), así como su idoneidad para los cultivos de alimentos frente a los cultivos energéticos. Otros factores que deben considerarse son las perspectivas de aumento de la productividad y sus implicaciones respecto a la disponibilidad de tierras para satisfacer múltiples demandas, así como la rentabilidad relativa de materias primas para biocombustibles frente a los usos alternativos de la tierra, el agua y mano de obra - de alimentos, o de otros usos industriales. Al final, los incentivos a las materias primas para la bioenergía versus alimentos u otros usos de los cultivos, se reducen a que el producto final ofrezca el mayor valor agregado y eleve los ingresos de los agricultores, que entonces pueden afrontar un mayor acceso a los alimentos y la nutrición. (14)

En general, la competencia con los alimentos es una preocupación potencialmente significativa a la hora de evaluar la inversión en biocombustibles. La cuestión no puede resolverse totalmente apelando a los biocombustibles de segunda o tercera generación, aunque no utilicen materias primas no alimentarias, deben ser considerados los costos indirectos por el cambio en el uso de la tierra y la potencialmente demanda del mercado para la energía renovable en comparación con la

agricultura. En consecuencia, políticas y normas que introducen criterios de sostenibilidad, si se aplican adecuadamente, podría contribuir a mitigar este potencial conflicto de combustible vs comida. (14)

1.4.- Algas y Biocombustibles de Algas

La naturaleza diversa de algas se ilustra claramente al observar la Figura 8 “El Árbol de la Vida” donde se muestran los distintos grupos taxonómicos de algas y, las plantas y los animales en círculos rojo y verde respectivamente (30). De acuerdo a su tamaño, las algas pueden dividirse en las macro-algas y las micro-algas, organismos unicelulares microscópicos que varían en tamaño desde unos pocos micrómetros a unos pocos cientos de micrómetros (μm) (31) El término micro-algas se usa a menudo para incluir las procariotas cianobacterias (algas verde azules), a pesar que estos no se clasifican como algas, junto con la micro-algas eucarióticas tales como las diatomeas y las algas verdes (28).

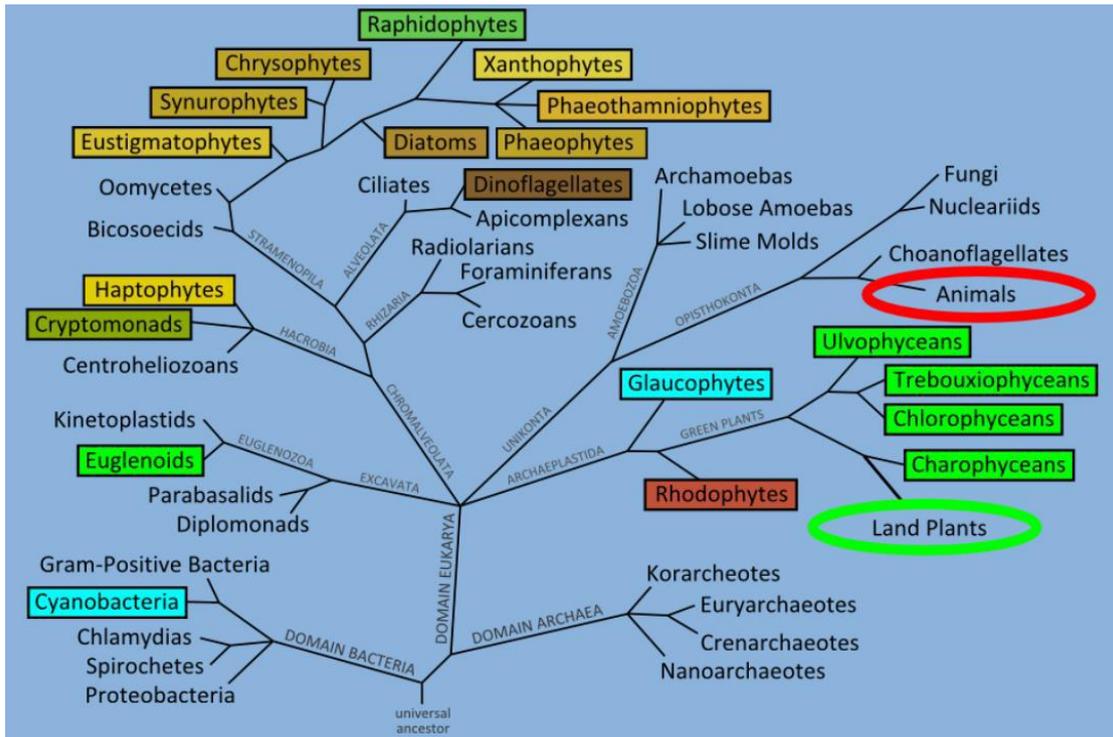


Figura 8- Árbol Filogenético destacando la diversidad y distribución de las algas (diversos colores indican diversidad de pigmentación).- Fuente: (30)

Las macro-algas o algas marinas han sido utilizados por los distintos pueblos de la Tierra, como un alimento y para el acondicionamiento del suelo o fertilizante. Las algas marinas se utilizan como alimento por un número de culturas de todo el mundo, como por ejemplo: Laver en Gales, Dillisk en Irlanda, Dulse en Escocia, Nori en Japón y Limu en Hawaii. Los principales mercados se encuentran en Asia. China representó más del 70% de la producción de macroalgas del mundo en 2006 con la acuicultura que representa 15,1 millones de toneladas húmedas de la producción mundial anual y la cosecha de poblaciones silvestres alrededor de 1,1 millones de toneladas húmedas (32), (33). También se reconoce su uso terapéutico desde aproximadamente el año 70 A.C. en China, donde aparecen mencionadas en la Enciclopedia Herbal “Ben Cao” (33). El uso de macroalgas para producir combustibles a escala comercial actualmente no existe (34).

Las microalgas, constituyen un grupo amplio de organismos unicelulares que comprenden a protistas eucarióticos y a cianofíceas del reino procariótico (35). Son los productores biológicos más eficientes del planeta (36). Se consideran máquinas fotosintéticas generadoras de pigmentos con una adaptación eco fisiológico y plasticidad bioquímica única lo que les permite la bioconversión directa de la energía solar en compuestos químicos bajo una variedad de condiciones medioambientales y a una velocidad mayor que cualquier otra fuente vegetal (37). Mediante el proceso fotosintético regulan el contenido de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera, colaborando en el control del efecto invernadero, las lluvias ácidas y el adelgazamiento de la capa de ozono (38). La cultura de micro-algas es una de las biotecnologías modernas, con una cultura uni-algal (la cultura de una sola especie de alga) (35). Pueden ser autótrofas, heterótrofas o mixtas. En el crecimiento de las algas autótrofas, los materiales orgánicos se sintetizan a partir de carbón inorgánico utilizando energía solar. En el crecimiento de las algas heterótrofas, la energía es derivada de una sustancia orgánica.

La humanidad utiliza microalgas, hace miles de años. Los chinos, utilizaron el alga *Nostoc* para sobrevivir la hambruna, así como también especies de algas verdes azules *Aphanizomenon*. La *Spirulina* ha sido explotada por los pueblos antiguos en Chad y en México como fuente de alimento (39). Además de ser productoras primarias en ambientes acuáticos, estos microorganismos fotosintéticos son útiles en aplicaciones tales como remoción de metales pesados (14). Una revisión sobre la utilización de microalgas exceptuando biocombustibles ha sido publicada en distintos documentos. Algunos ejemplos:

- *Chlorella*, alga verde. Aproximadamente se producen 5.000 mt de biomasa a nivel mundial (principalmente en Japón y Taiwán), que se venden a 20.000 dólares la tonelada, y se utilizan como complemento nutricional. (40)
- B-Caroteno, una sustancia que el cuerpo convierte en Vitamina A, y se utiliza como suplemento nutricional y colorante, se obtiene de la microalga *Dunaliella* (41). La producción Mundial estimada de *Dunaliella* es aproximadamente 1.000 toneladas /año de biomasa, conteniendo 4-5% de betacaroteno.(39)
- La *Spirulina*, (cyanobacteria, *Arthrospira platensis*), producida en China, Hawaii, Estados Unidos, India, Myanmar, se utiliza también como suplemento nutricional (40), así también como colorante para alimentos tales como para chicles, wasabi, dulces y productos lácteos (39)
- *Hematococcus pluvialis*, cuya producción mundial aproximada es de 1.000 toneladas/año, se utiliza como suplemento nutricional. El mercado de alimentos para acuicultura (colorante para salmón con astaxanthin) podría ser de miles de toneladas si el precio por tonelada fuera de menos del actual de 10.000 dólares. (40)
- *Cryptocodinium cohnii* (alga heterotrófica dinoflagelada) se utiliza en la elaboración del ácido Docosahexaenoic, utilizado en suplementos dietarios y suplemento de formulas infantiles.(33) (39)

En cuanto a su aplicación energética, no sólo son utilizadas como materia prima para la producción de biodiesel, también para la producción de biometano (39), biohidrógeno (42) y bioetanol (41).

Particularmente, la producción de aceites con destino a biodiesel a partir de microalgas presenta ventajas sobre los cultivos clásicos, a saber:

a) No necesitan del suelo fértil para desarrollarse y algunas especies crecen en agua marina o salobre. Por lo tanto, su cultivo a escala industrial no compite ni por el suelo ni por el agua de riego con las agriculturas tradicionales. (29)

b) El cultivo de las microalgas puede realizarse en grandes volúmenes de agua, como lagunas y piletos, lo que permite sembrarlas y cosecharlas desde un punto de bombeo único. (35)

c) Las microalgas crecen sin fuertes restricciones climáticas o estacionales y permiten un aprovechamiento permanente de las áreas afectadas al cultivo. El régimen óptimo de temperaturas, es entre los 20 y los 35 grados centígrados. (29)

d) Muchas de las especies de microalgas, pueden crecer en aguas salinas esto significa que la tecnología para algas, no utilizará una demanda adicional sobre el abastecimiento de agua dulce necesaria para uso doméstico, industrial y agrícola. (31)

e) Las microalgas muestran tener mayor actividad fotosintética y capacidad de fijación de dióxido de carbono (CO_2) que las plantas terrestres. Esto las hace potencialmente propicias para fijar el CO_2 generado por fuentes contaminantes como por ejemplo las usinas térmicas (43)

f) En su estructura presentan, como otros organismos vivos, proteínas, carbohidratos y lípidos. En algunos casos, contienen un alto contenido de lípidos, llegando en algunas cepas a más del 80% (44) del peso seco, y en promedio entre el 20% y 50% (41). Sin embargo, esta cantidad disminuye notablemente si se considera el alto contenido de agua en la pasta de algas obtenida tras su cosecha, por lo que se necesitarán nuevas tecnologías de cosecha, extracción y transesterificación para lograr el éxito de esta aplicación.

g) El problema de la productividad del aceite de algas es que salvo algunas excepciones (ej., *Nannochloropsis*) el alga no produce ni acumula grandes cantidades de triglicéridos mientras está activamente creciendo. Las que lo hacen es porque el proceso de crecimiento está inhibido por alguna forma (ej. Nitrógeno) (40)

h) Las microalgas son capaces de producir 30 veces la cantidad de aceite por unidad de tierra en comparación con el aceite obtenido de cultivos terrestres. (Como la soja, colza, palma, etc.) (31) (Figura 9)

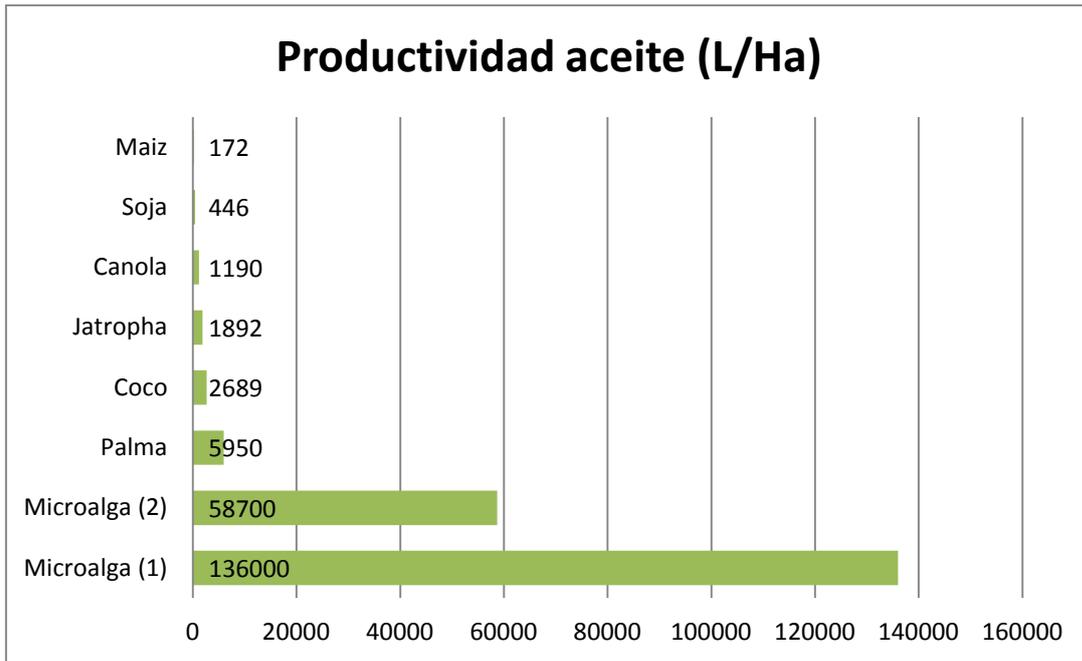


Figura 9 - Productividad de aceite de las microalgas en comparación con los cultivos convencionales (41) - (2) 30% aceite en biomasa (con base a peso seco);(1) 70% de aceite en biomasa (con base a peso seco)

i) La densidad energética del biodiesel es comparable a la del diesel a base de petróleo. Mientras que el poder calórico del diesel a base de petróleo es 42,7 MJ/kg, los valores para el biodiesel varían dependiendo de la fuente de biomasa involucrada. Normalmente el biodiesel derivado de aceites vegetales como la colza o la soja, tiene un poder calórico de 37 MJ/kg, mientras que el biodiesel derivado de las algas alcanza los 41 MJ/kg (45)

j) Aguas Residuales pueden ser utilizadas como medio de cultivo y fuente de nutrientes en la producción algal (36) (40)

k) Adicionalmente a la luz solar, CO₂ es el nutriente más importante lo que representa aproximadamente la mitad del peso seco del alga. Si CO₂ es proveído en exceso, será liberado nuevamente a la atmósfera desde la superficie desde donde se cultivan las

algas. Es por eso que CO₂ debe ser adicionado frecuentemente y de manera controlada.
(40)

l) La provisión de CO₂ al cultivo de microalgas, puede ser realizado utilizando como fuente, el CO₂ liberado en las usinas plantas térmicas (40)

m) Las microalgas se reproducen más rápidamente que cualquier otra forma de vegetales. Se reproducen por división celular (46).

n) Las algas crecen con radiación solar, agua y crecen más rápido si los niveles de CO₂ y nutrientes son elevados en los piletones. (31)

o) El cultivo de algas en piletones, demuestran un costo menor en la producción de biomasa algal que los fotobioreactores (47)

p) Significativas reducciones de costos (más del 50%) se alcanzan si el CO₂, los nutrientes y el agua pueden ser obtenidos a bajo costo. Este es un requerimiento importante pero que restringe geográficamente las ubicaciones disponibles. (47)

q) Es factible la utilización de biorefinerías utilizadas para soja, y otros cultivos. (41)

r) El biodiesel producido a partir de microalgas es de los pocos combustibles bioenergéticos con un valor negativo. Es decir, no se produce CO₂ durante el ciclo de vida de producción y el valor de este parámetro para microalgas (-183 kg CO₂/Mj) es el más negativo respecto a los otros bioenergéticos con valores negativos. En contraste, el diesel a partir de fuentes fósiles produce 83 kgCO₂/Mj y el etanol a partir de maíz produce 81-85 kg kgCO₂/Mj (42). Esto significa que las microalgas son excelentes captadoras de CO₂. Por cada 100 tn.de microalgas producidas, se consumen 183 tn. de CO₂. (41)

Las preocupaciones actuales sobre la sustentabilidad presente y futuro, han generado un foco de atención en el potencial de las microalgas para producir biocombustible. En la actualidad hay más de 50 empresas en el mundo de biocombustibles de algas, pero ninguna, hasta ahora, está produciendo cantidades a escala comercial a precios competitivos y el proceso de producción de combustible a partir de algas parece ser actualmente antieconómico (48). Las investigaciones sugieren que existen importantes dificultades técnicas y de ingeniería que deben ser resueltas antes de esperar alcanzar la producción de biocombustible de algas económicamente viable.

1.4.1.- Consideraciones Ambientales

En el contexto de biocombustibles en base a microalgas, los objetivos de sustentabilidad definidos en Estados Unidos son (49):

- contribuir a la seguridad energética, particularmente la oferta interna de combustible para el transporte.
- Producir combustible que sea económicamente viable.
- Mantener y mejorar la base de recursos naturales y la calidad ambiental
- Mejorar la calidad de vida para la sociedad en su conjunto.

La contribución del biocombustible de algas respecto a la seguridad energética, depende en parte de los recursos disponibles para la producción (por ejemplo, la tierra y el agua), la productividad del cultivo de algas, el rendimiento de la transformación de algas en combustible, y la capacidad para integrar los diversos componentes de la producción de biocombustibles de algas en un sistema funcional a escala. (49)

El costo de producción es un aspecto de sustentabilidad muy importante que se aplica a todos los todos los biocombustibles, incluyendo los biocombustibles de algas. Los combustibles alternativos no son susceptibles de penetrar en los mercados si son mucho más caros para los consumidores que otras alternativas de combustibles. (50). Una amplia gama de tecnologías pueden ser utilizadas en un sistema de producción de biocombustibles de algas que genera diferentes costos. Esta variedad de costos refleja la inmadurez de la producción de biocombustibles de algas y las incertidumbres asociadas a una industria en desarrollo (51). Todavía es muy pronto analizar y sacar conclusiones acerca de la sostenibilidad económica de los biocombustibles de algas, particularmente cuando los costos probablemente disminuirán con los desarrollos tecnológicos en curso. Las mejoras en los métodos de cultivo de algas y los procesos físicos que se utilizan para: la cosecha, la deshidratación, y la conversión de la biomasa de algas en combustibles, son tan importantes para el desarrollo sostenible de los biocombustibles de algas como las mejoras en las cepas. La investigación y el desarrollo en la comprensión de cómo las algas deshidratadas se pueden procesar en un combustible y si las algas pueden producir un hidrocarburo útil directamente sin la necesidad de la cosecha, la deshidratación y con un mínimo de procesamiento, podría ser un importante contribuyente a la reducción de los costos de producción (50). La producción de co-productos de alto valor ha sido sugerido como una estrategia para abordar el reto de hacer biocombustibles de algas económicamente viable (50) (52)

Algunas de las preocupaciones por el uso y la disponibilidad de recursos podrían ser aliviados con el desarrollo de biocombustibles de algas debido a que la producción de biomasa de algas no requiere, como mencionamos en “Algas y Biocombustibles de Algas”, recursos de tierras de alta calidad, como en el caso de la producción de caña de

azúcar o maíz para etanol y soja u otras oleaginosas para biodiesel (25), pueden ser cultivadas en aguas salinas o en aguas residuales (que contienen nutrientes) y que no son utilizables para agricultura o consumo humano (53). Las algas pueden absorber y enriquecerse con el CO₂ proveniente de centrales térmicas a gas, integrando el sistema de cultivo de la biomasa, con las emisiones a la atmosfera. El uso y el mantenimiento de la calidad de recursos naturales necesarios para el desarrollo de biocombustibles de algas juegan un papel importante en el desarrollo sostenible de los biocombustibles de algas.

Aunque la producción de biomasa de las algas no es probable que compita por las tierras de cultivo de alta calidad, podría haber preocupaciones sociales sobre el uso del suelo que deben tenerse en cuenta en el desarrollo del biocombustibles. (50)

El biocombustible de Algas se ha producido a escala pequeña o de laboratorio, suficiente para demostrar que hay posibilidades de producción a través de diferentes caminos; y aunque es técnicamente factible, debe demostrarse que es económica, ambiental y socialmente sostenible, para que se convierta en una alternativa potencial de sustitución de los combustibles de base petróleo (50).

Los criterios ambientales más importantes para evaluar los biocombustibles son: El balance energético y las emisiones de Gases Efecto Invernadero. Estos dos parámetros, deben ser correctamente determinados a través del análisis ciclo vital para obtener resultados confiables. (54)

Los índices de energía para biocombustibles dependen de: a) las entradas de energía durante todo el ciclo vital y b) salidas de energía necesarias para la obtención del combustible (54). En la mayoría de los casos, para los biocombustibles, los

resultados varían acordes a las diferencias en la materia prima utilizada en la producción y la fabricación de un producto, las prácticas agrícolas, la productividad regional de la materia prima y la tecnología utilizada en el proceso (55).

Las dos medidas principales para evaluar el rendimiento energético de la producción de biocombustibles son: el balance energético y la eficiencia energética. (54)

El balance energético computa todos los insumos energéticos puestos en juego durante el proceso de fabricación de un producto y compara el total de los mismos con los contenidos energéticos de este último (56). Normalmente, solo se toman en cuenta los ingresos de energía provenientes de combustibles fósiles mientras que los provenientes de biomasa, inclusive la materia prima en sí misma, no se considera. Un término más adecuado para esta relación es Balance Energético Fósil. Los combustibles fósiles utilizados en transporte tienen un balance energético entre 0,8 y 0,9. Los balances de energía del etanol de trigo, de remolacha azucarera y de maíz están entre 1 y 2,5. El Etanol de caña de azúcar muestra tener un balance energético de aproximadamente 8, o sea que produce mucho más energía por unidad de energía fósil utilizada, representando un impacto mayor en la reducción del consumo de combustibles fósiles. Los balances energéticos de combustibles derivados de lípidos son entre 2,5 y 9. Estos números muestran que el balance energético de los biocombustibles es mejor que el de los combustibles fósiles. (Ver Figura 10). Al considerar las estrategias para frenar el ritmo del cambio climático, el balance energético fósil de diferentes formas de producción de biocombustibles, puede ser una medida útil de su eficacia relativa. Sin embargo, el balance de energía fósil no tiene en cuenta otras

formas en que la producción de biocombustibles contribuye al cambio climático, como el cambio de uso de suelo (57).

Fuel (feedstock)	Fossil Energy Balance (approx.)	Data and Source Information
Cellulosic ethanol	2–36	(2.62) Lorenz and Morris (5+) DOE (10.31) Wang (35.7) Elsayed et al.
Biodiesel (palm oil)	~9	(8.66) Azevedo (~9) Kaltner (9.66) Azevedo
Ethanol (sugar cane)	~8	(2.09) Gehua et al. (8.3) Macedo et al.
Biodiesel (waste vegetable oil)	5–6	(4.85–5.88) Elsayed et al.
Biodiesel (soybeans)	~3	(1.43–3.4) Azevedo et al. (3.2) Sheehan et al.
Biodiesel (rapeseed, EU)	~2.5	(1.2–1.9) Azevedo et al. (2.16–2.41) Elsayed et al. (2–3) Azevedo et al. (2.5–2.9) BABFO (1.82–3.71) Richards; depends on use of straw for energy and cake for fertilizer. (2.7) NTB (2.99) ADEME/DIREM
Ethanol (wheat)	~2	(1.2) Richards (2.05) ADEME/DIREM (2.02–2.31) Elsayad et al. (2.81–4.25) Gehua
Ethanol (sugar beets)	~2	(1.18) NTB (1.85–2.21) Elsayad et al. (2.05) ADEME/DIREM
Ethanol (corn)	~1.5	(1.34) Shapouri 1995 (1.38) Wang 2005 (1.38) Lorenz and Morris (1.3–1.8); Richards
Diesel (crude oil)	0.8–0.9	(0.83) Sheehan et al. (0.83–0.85) Azevedo (0.88) ADEME/DIREM (0.92) ADEME/DIREM
Gasoline (crude oil)	0.80	(0.84) Elsayed et al. (0.8) Andress (0.81) Wang
Gasoline (tar sands)	~0.75	Larsen et al.

Figura 10: Balances Energéticos Fósiles de Combustibles Fuente: (57)

El Análisis del ciclo Vital, en el contexto de biocombustibles de algas, refiere en un aspecto la consideración del proceso energético durante todo el ciclo de vida y en otro, los impactos ambientales generados. (49)

La Figura 11 muestra el retorno de inversión de la energía (EROI) a partir de una selección de los últimos estudios disponibles de los sistemas de cultivo de algas en piletones (49). EROI se define como la relación del total de productos energéticos finales (biocarburantes + co-productos) acorde a las entradas de energía, donde los insumos se suman durante todo el ciclo de la vida (cultivo, adquisición de nutrientes, cosecha, extracción, procesamiento, y cadenas de suministro asociadas) (58)

Source	Nutrients	Harvesting	Extraction/ Processing	Products and Coproducts	EROI
Brentner et al. (2011) reference case	Flue gas	Centrifuge, drying, press	Hexane/ esterification	BD ^b	0.13
Brentner et al. (2011) reference case with coproducts	Flue gas	Centrifuge, drying, press	Hexane/ esterification	BD ^b , electricity, nutrients	0.28
Brentner (2011) best case swap raceways	Flue gas	Chitosan- flocculation	Supercritical methanol	BD ^b , electricity, nutrients	0.96
Clarens et al. (2010)	Industrial CO ₂	Alum flocculation, centrifuge	-	Algal biomass	1.06
Clarens et al. (2011) C-2	CC ^a coal plant	Auto-flocculation, gravity, homogenization	Hexane/ esterification	BD ^b , electricity, nutrients	1.36
Clarens et al. (2011) C-3	Flue gas	Auto-flocculation, gravity, homogenization	Hexane/ esterification	BD ^b , electricity, nutrients	1.99
Clarens et al. (2011) C-4	WW ^c , flue gas	Auto-flocculation, gravity, homogenization	Hexane/ esterification	BD ^b , electricity, nutrients	2.32
GREET baseline pathway	Flue gas	Bio-flocculation, flotation, centrifuge, homogenization	Hexane/ esterification	BD ^b , electricity, nutrients	0.39
Jorquera et al. (2010)	N/A	N/A	N/A	Algal biomass	7.01
Sander and Murthy (2010) filter press	N/A	Filter press, drying	Hexane/ esterification	BD ^b , fermentation stock	3.33
Sander and Murthy (2010) centrifuge	N/A	Centrifuge, drying	Hexane/ esterification	BD ^b , fermentation stock	1.77
Stephenson et al. (2010)	Flue gas	Alum flocculation, centrifuge, homogenization	Hexane/ esterification	BD ^b , electricity, nutrients	1.60
Vasudevan et al. (2012) dry extraction, nominal	Flue gas	Dissolved air flotation, centrifuge	Belt dryer	BD, electricity	0.3
Vasudevan et al. (2012) wet extraction, nominal	Flue gas	Dissolved air flotation centrifuge	Stream lysing, centrifuge, wash	BD, electricity	2.51

^aCC = carbon capture.
^bBD = biodiesel.
^cWW = wastewater.

Figura 11 – EROI (Retorno de Inversión de Energía) – Valores para sistema de cultivo en Piletones -Fuente: (49)

Uno de los temas más polémicos asociados a los biocombustibles producidos a partir de cultivos de tierras ha sido el nivel de EROI requerido para la producción sostenible de cualquier combustible (59). Los biocombustibles de algas tendrían que devolver más energía de lo que se requiere para su producción para ser una fuente sostenible de transporte. Los mismos utilizan insumos de energía de alto valor en forma de electricidad y gas natural, que en una menor utilización afectarían positivamente el retorno de energía y la sostenibilidad del biocombustible de algas. Otra consideración importante es la generación de co-productos, que afectan en forma positiva y significativa los análisis de energía (58). Los Resultados de la Figura 2, muestran un rango amplio de variación. Acorde a lo mencionado anteriormente, un EROI menor a 1 es definitivamente no sustentable, un EROI de valor 1, es insuficiente para ser sustentable (49), sin embargo, el límite exacto de la sostenibilidad no está bien definido. Algunos autores estiman que se necesita un retorno superior a 3 para cualquier combustible que deben considerarse una fuente sostenible (60). Un sistema de producción de biocombustibles de algas dado tendría que tener o al menos mostrar un progreso hacia un valor de retorno que se encuentre dentro de la gama de EROI de otros combustibles para el transporte, ya que los biocombustibles de algas serán comparados con otros combustibles (derivados o no de petróleo). Ver Figura 12.

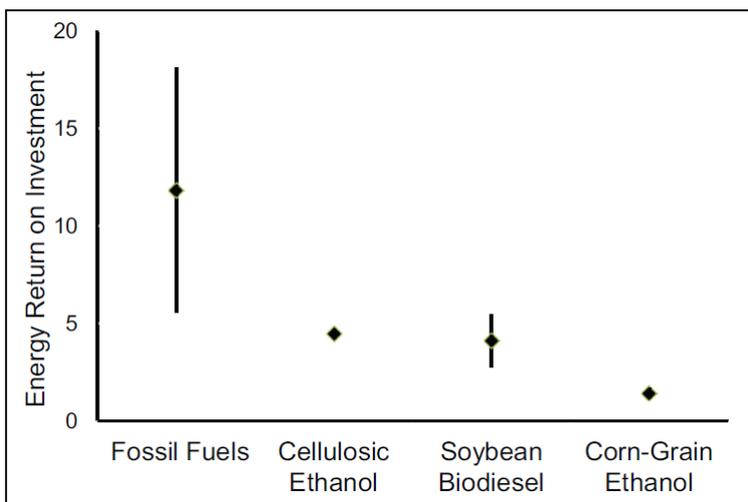


Figura 12 - EROI estimados de diferentes combustibles. Fuente (49)

El principal desafío en la aplicación del análisis del ciclo vital a la producción de biocombustibles de algas es la etapa de desarrollo temprana en la que se encuentra la tecnología. No está claro todavía, a lo largo de la cadena de producción, cual es la tecnología, sus características técnicas y la energía asociada que surgirá como la más viable a nivel comercial. Muchas de las mismas están en fase de laboratorio o planta piloto. Sin embargo, hay una gran cantidad de actividad reciente de investigación para evaluar el ciclo de vida del uso energético de la producción de biocombustibles de algas (49)

El análisis del ciclo vital, como mencionamos anteriormente, es una herramienta analítica empleada para calcular el balance de los gases de efecto invernadero (es el resultado de la comparación entre todas las emisiones de gases efecto invernadero en todas las fases de producción y de uso de un biocombustible y, todos los gases de efecto invernadero emitidos en la producción y uso de una cantidad equivalente de energía del combustible fósil correspondiente) (56). La mayoría de los biocombustibles, emiten menos gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles y esto depende del tipo

de materia prima, métodos de cultivo, técnicas de conversión, y eficiencia energética (61).

Para evaluar la eficiencia ambiental, se considera el resultado del valor obtenido de las emisiones netas de CO₂ durante el ciclo de vida del biocombustible, y se lo divide entre la energía que ofrece el biocombustible, proveniente del balance energético del mismo, comparados con el combustible proveniente de energía fósil. (62) (Ver Figura 13). Para el cálculo de las emisiones de CO₂, cada insumo agrícola, así como la alternativa tecnológica elegida para su cultivo y su procesamiento, representa un ahorro neto distinto en emisiones (62)

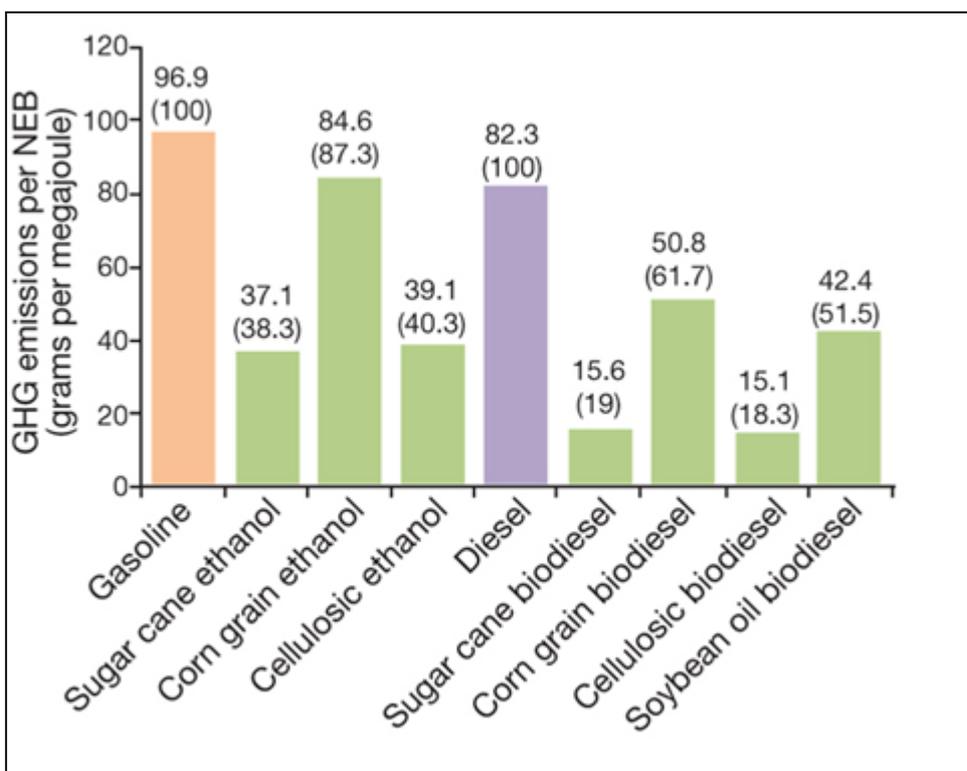


Figura 13: El Balance energético neto (NEB) (egresos de energía – ingresos de energía)/product energy. Emisiones de GEI están expresadas como gramos equivalentes de CO₂ por mega joule de biocombustible en relación al combustible fósil asociado a través del ciclo de producción y uso. Datos en paréntesis reflejan el porcentaje de emisiones de GEI en relación al valor del combustible fósil. Fuente: (63)

Los resultados del análisis del ciclo vital para las emisiones netas de gases de efecto invernadero para la producción de biocombustibles de algas varían de un valor negativo a valores positivos mayores que el del petróleo acorde a los procesos y tecnologías involucradas. Al igual que con el caso de uso de energía, los conductores de la variabilidad en las emisiones de CO₂ son fuente de nutrientes, la productividad y el rendimiento de los procesos, y el crédito asociado con los co-productos (49). En algunos estudios, ver Figura 14, se muestra claramente que el biodiesel de soja y de algas, puede alcanzar significativas reducciones en relación al diesel convencional. Ambos biocombustibles, resultan en negativas emisiones de CO₂ debido a la captura intrínseca del mismo durante la fotosíntesis ocurrida en la producción de la biomasa, el desplazamiento del petróleo y el desplazamiento de coproductos. El biodiesel de microalgas, muestra una variación mayor en términos netos, comparado con el de biodiesel de soja, debido a las menores emisiones en N₂O. Estas menores emisiones, representan una significativa diferencia con otros procesos agrícolas bioenergéticas, que generalmente tienen emisiones de dióxido de nitrógeno como el componente más importante positivo del total de emisiones GEI. (64)

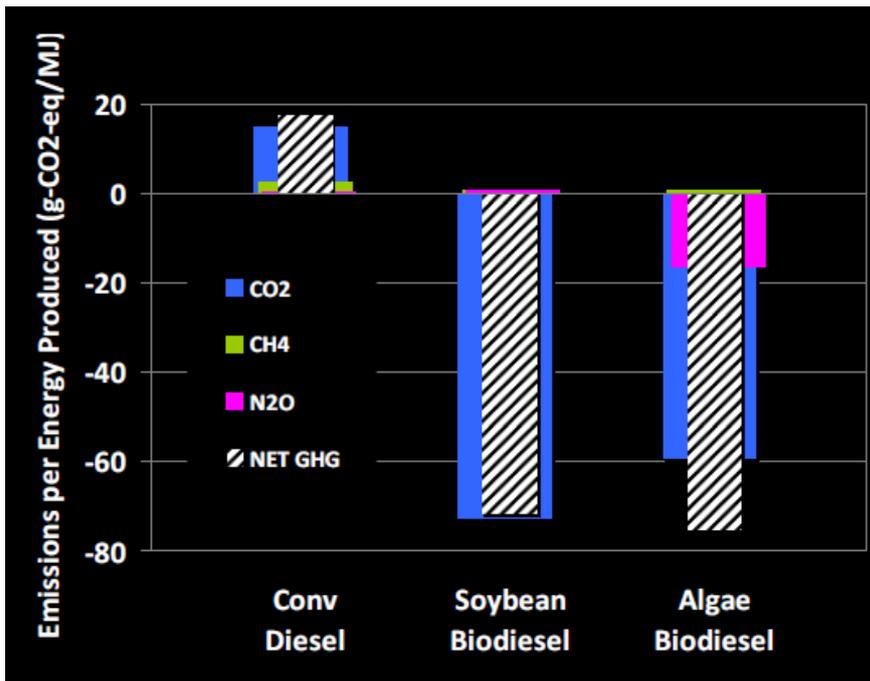


Figura 14 – Comparación emisiones GEI para Diesel convencional, Biodiesel de Soja y Biodiesel de Algas. Fuente: (64)

1.5.- Argentina

La Argentina tiene un importante papel dentro del mercado global de biocombustibles. El país se encuentra entre los principales países productores y procesadores de soja y de sus derivados y la industria de aceites y grasas vegetales, proveedora del principal insumo para la fabricación de biodiesel en la actualidad, se encuentra en desarrollo, a pesar que desde el año 2012, las exportaciones vienen en caída como consecuencia de las controversias con la Unión Europea. Sin embargo, el aprovechamiento integral de la biomasa con fines energéticos (biodiesel a partir de soja, por ejemplo) ejerce una fuerte y creciente presión sobre el recurso tierra, compitiendo con la provisión de alimentos y expandiendo zonas de cultivo hacia áreas de mayor fragilidad medioambiental. Actualmente la totalidad de la producción argentina de

biocombustibles se realiza principalmente sobre la base de aceite de soja (biodiesel) y un mínimo porcentaje sobre la caña de azúcar (bioetanol). (65) (Ver Figura 15)

Período	Biodiesel				Bioetanol	
	Producción	Consumo Interno		Exportaciones	Producción	Consumo interno
		Petroleras	Otros usos			
2008	712.066	274	-	687.645	-	-
2009	1.179.150	499	-	1.148.498	18.439	2.109
2010	1.814.902	503.325	4.951	1.358.454	96.034	93.140
2011	2.426.681	739.487	11.825	1.681.875	134.138	131.394
2012	2.455.138	824.393	50.401	1.557.399	199.454	187.719

Figura 15 – Producción de biocombustibles en Argentina en toneladas – Fuente: (66)

En el mes de mayo del año 2014, el gobierno argentino recorto al 11% el impuesto a las exportaciones de biodiesel desde el 21 % previo, con el objetivo de impulsar a un sector que, antes de la medida de la Unión Europea (UE), llegó a embarcar 1.7 millones de toneladas de biocombustibles en el 2011. De acuerdo con la Cámara Argentina de Biocombustibles, Argentina exportara durante el 2014, 1.4 millones de toneladas de biodiesel, mientras que la producción sería de 2,35 millones de toneladas. Por otro lado, el gobierno formalizó el aumento en el porcentaje de corte obligatorio del gasoil automotor con biodiesel, del 8% actual al 10%, a la vez que estableció la obligatoriedad de la mezcla para las usinas termoeléctricas, en una proporción de 10%. Estos son números aún bajos, si se tiene presente que el país cuenta en biodiesel con una capacidad de producción instalada superior a los 4 millones de toneladas anuales. (67) (68) Esto es como decir que se puede transformar alrededor del

40% de la producción potencial de aceite de soja en la Argentina. En el caso del bioetanol, la capacidad instalada es de 1.250.000 metros cúbicos. (69)

Según explica Claudio Molina, director ejecutivo de la Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno, el gobierno anterior propuso, a través de la Secretaría de Medio Ambiente, una meta incondicional para que en la Argentina se usen cortes de combustibles líquidos con biocombustibles. La norma marca que en la mezcla debe haber un 15% de estos últimos. Además, de modo condicional (concretamente, sujeto entre otras cuestiones a las posibilidades de financiamiento y al desarrollo de la industria), se dispuso un corte de 30%. Ambos parámetros son metas para 2030. (69)

En tanto se colocaron en el mercado interno 800.000 metros cúbicos de etanol. El contenido del mismo en las naftas subió recientemente de 10% a 12,5% y se estima que dentro de un año esa cuota suba a 15%. (69)

Respecto al futuro, en biodiesel, desde el punto de vista del mercado interno, elevar el corte progresivamente hasta un 20%, que es una medida que supera el 15% propuesto por la Argentina a 2030 de manera incondicional. "Para eso es imprescindible una decisión política que lleve a un uso intensivo de biodiesel en el segmento de transporte automotor de carga, pasajeros, agro y generación eléctrica. Además hace falta adecuar la logística". En el frente externo es fundamental que antes de fin de año la Argentina gane el diferendo con Europa y se abra nuevamente el mercado comunitario. Por otra parte, se podría ir hacia la sustitución de importaciones de gasoil. El país importa mucho de ese combustible que se destina fundamentalmente a la generación eléctrica, por lo tanto, la mayor utilización de biodiesel podría sustituir al menos en

parte esas importaciones favoreciendo el tema ambiental, el agregado de valor local y un ahorro de divisas. (69)

Es importante destacar que tanto el marco regulatorio como el Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal (PEA, documento que marca la tendencia a largo plazo en la producción agropecuaria nacional) no hacen mención alguna del impacto ambiental, ni a una diversificación de la producción en búsqueda de diversas fuentes para su generación. (70)

Sin embargo, ante la crisis energética y los frecuentes cuestionamientos a las energías provenientes de los combustibles fósiles, aparecen algunas iniciativas que tienen a la sustentabilidad como punto de partida para el desarrollo de las sociedades y economías. La Secretaría de Energía de La Nación publicó el informe “Energía Biomasa” en donde describe los diversos recursos que pueden utilizarse para producir energía a través de procesos químicos y bioquímicos, destacando, además de los residuos provenientes del sector agrícola, los residuos sólidos urbanos (RSU) por su alto contenido orgánico. Varias empresas están incursionando en la generación de energía a través de la biomasa con el propósito de enfrentar la crisis energética. Tal es el caso de Cervecería Quilmes, en cuyas plantas industriales de Corrientes y Zárate, la utilización de biomasa permitió reducir el consumo anual de energías no renovables en más de 80%. Otro ejemplo es el de Manfrey, ubicada en la provincia de Córdoba. La empresa láctea está evaluando volver a usar biomasa forestal a partir de plantaciones de eucaliptus, incorporando una caldera que demandará una inversión de 1,5 millones de dólares y según indicó su titular, Ercole Felippa, será amortizada en un año y permitirá un importante ahorro económico. Por otro lado, la Facultad Regional de San Rafael de la Universidad Tecnológica realizó un estudio sobre carozos de aceitunas,

transformándolas en briquetas cuyo poder calorífico (4.844 calorías por kg) es superior a la leña en muchos casos. Para este proyecto fueron utilizados residuos agroindustriales, carozos de aceitunas y de frutas, agroforestales, como ramas hojas provenientes de la poda urbana. (71)

La producción de biocombustible a partir de microalgas sin comprometer tierra fértil permitirá su disposición para la producción de alimentos y el aprovechamiento de las zonas marginales (no cultivables e inundables) que abundan en nuestro territorio, permitirá la sustitución de importaciones, contribuyendo a la integración de productos de fabricación nacional y el desarrollo de nuestro país.

La realización de un estudio teórico – económico de una planta piloto de biodiesel de microalgas en Argentina, surge de considerar los puntos anteriores y adicionar consideraciones particulares respecto a la Argentina que tiene territorios adecuados para la producción de microalgas gracias a las siguientes características: se encuentran cercanos a fuentes de CO₂, están comprendidos entre las latitudes 37 grados Norte/Sur (72), tienen temperaturas entre 20 y 30 grados, cuentan con posibilidad de recirculación de nutrientes por cercanías a cierta variedad de aguas residuales. Además, hay antecedentes en el sector privado y en el sistema de Universidades e Investigación que hacen suponer que existe actualmente el capital humano necesario para poder efectuar el esfuerzo de Investigación y Desarrollo que resulte necesario para poner en marcha un proyecto como el que aquí se considera.

1.6.- Objetivos

En este trabajo, se busca evaluar la factibilidad económica de producir en Argentina la producción de biocombustibles de aceite de microalgas.

Para lograr los objetivos de este trabajo, se diseñará conceptualmente el proceso de producción de biocombustible a partir del cultivo de microalgas en sistema abierto, en una planta piloto en una locación determinada de nuestro país.

Objetivo general

El Objetivo general del presente trabajo consiste en realizar un estudio teórico – económico para el proyecto de instalación en Argentina de una planta piloto que utilizaría aceite de microalgas como materia prima para producir biodiesel.

Objetivos específicos

- Realizar una investigación acerca de la producción de biodiesel de microalgas.
- Determinar una posible ubicación para la planta
- Diseñar conceptualmente el proceso que permita cultivar, cosechar y extraer el aceite de ellas.
- Diseñar la dimensión teórica de la planta.
- Realizar los balances de masa y energía de los equipos asociados
- Dimensionar los equipos principales y auxiliares del proceso y determinar el número de equipos.
- Determinar los costos
- Determinar la evaluación económica.
- Determinar si la producción de biocombustibles de microalgas es económicamente viable.

Alcances

- Elaboración de un diseño conceptual de una planta piloto de producción de biodiesel a partir de algas, de manera que sirva para evaluar la factibilidad técnica y económica de la puesta en marcha de una planta en Argentina.
- La evaluación de los aspectos técnicos más importantes para elaborar el biodiesel a partir de algas.
- Determinar y evaluar aquellos factores que podrían hacer especialmente atractiva la producción de biodiesel de microalgas en nuestro país.
- No se profundizará en el proceso de transesterificación de biodiesel.

1.7.- Estructura de la Tesis

En el presente capítulo, se realiza una introducción a los principales conceptos y temas en relación a la producción de energía renovable a partir de microalgas, y se resume los fines y objetivos de la obra.

El Capítulo 2 proporciona un análisis y una revisión crítica de las operaciones y procesos relacionados a la producción de biocombustibles de microalgas.

El Capítulo 3 describe los recursos necesarios para la selección de la ubicación futura de una planta piloto de microalgas para producir biodiesel en Argentina y selecciona dicha ubicación.

En el Capítulo 4, se presenta el balance de masa y energía correspondiente a la planta piloto dimensionada y se relacionan dichos factores de energía con la cantidad de

materia prima procesada y los productos obtenidos de cada etapa del proceso de producción de biodiesel.

El Capítulo 5, presenta una evaluación económica de la planta, con el detalle de los costos operativos y fijos correspondientes.

El Capítulo 6, consiste en una breve conclusión y sugerencias para próximos trabajos.



Capítulo 2

Proceso de Producción de Biodiesel a partir de

Microalgas

2.- Proceso de Producción de Biodiesel a partir de Microalgas

2.1.- Objetivo

El objetivo del presente capítulo es proveer información sobre el proceso de producción de biocombustibles de microalgas, así como también dar a conocer algunos conceptos básicos relacionados con la productividad de las mismas.

Básicamente podemos dividir el proceso productivo en 3 áreas: cultivo, cosecha y extracción de energía (Ver Figura 16).

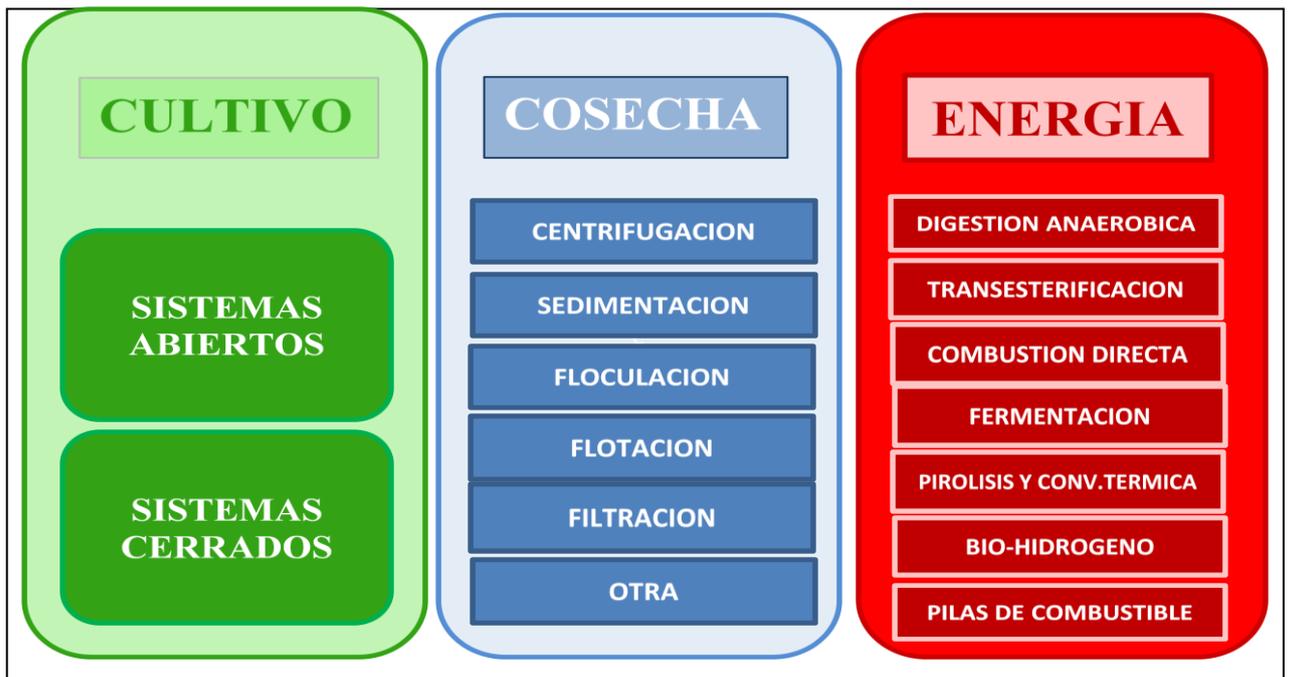


Figura 16: Resumen de Opciones de producción de biocombustibles de Algas – Fuente: (73)

En el presente trabajo, el enfoque principal general es hacia la etapa de producción de la materia prima para producir biodiesel, es decir, el cultivo, la cosecha y

la extracción de los ácidos grasos desde las microalgas (Ver Figura 17). No profundizaremos en el diseño de la transesterificación pues es relativamente estándar.

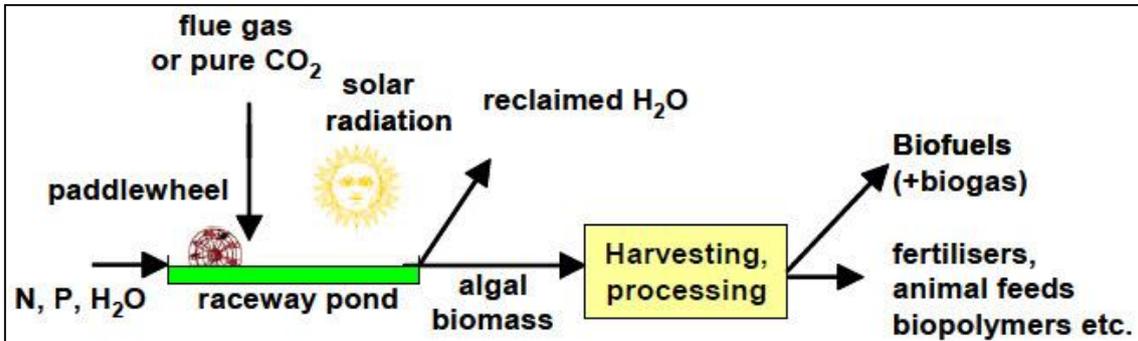


Figura 17: Esquema del Proceso de Producción de Biocombustible de Algas – Fuente: (40)

2.2.- Cultivo de Microalgas

2.2.1.- Sistemas de Cultivo

El cultivo de microalgas, puede realizarse, a grandes rasgos, en piletones (sistemas abiertos) o en sistemas cerrados (41). Actualmente, en la mayoría de los casos, la producción de microalgas ocurre en sistemas abiertos (73) (39) a pesar de que a la fecha, solo tres especies (*Spirulina*, *Dunaliella* y *Chlorella*) crecen a nivel comercial, donde el uso de entornos altamente selectivos hacen posible suprimir el crecimiento de especies competitivas. *Chlorella* crece bien en medios ricos en nutrientes, *Spirulina* requiere PH altos y bicarbonato concentrado, y la *Dunaliella* crece en medios con un nivel alto salino (73). Aunque algunas empresas, especialmente nutricionales y farmacéuticas cosechan las algas desde aguas naturales, la mayoría cree que realizarlo en ambientes controlados, mejora la productividad y la calidad (74)

2.2.1.1- Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos pueden categorizarse en: aguas naturales y estanques artificiales (75). El crecimiento de microalgas en cuerpos de aguas naturales, ha sido explotado alrededor del mundo por años, especialmente en épocas de hambruna, donde estanques simples sin membrana y sin mezcla, todavía se utilizan para el cultivo de microalgas y el tratamiento de aguas residuales (73)

El sistema abierto para el cultivo de microalgas, es (en comparación con los foto-bioreactores) relativamente más simple en la construcción y en su operación (74). Sin embargo, son varias las limitantes a este tipo de sistemas: la célula utiliza poca radiación, hay pérdidas por evaporación, se produce una difusión del Dióxido de Carbono a la atmósfera, y en la producción a escala, se utilizan grandes extensiones de tierra. Adicionalmente, hay potencial contaminación por predadores, y el crecimiento rápido de otros microorganismos que limita la producción comercial sólo a aquellos organismos que pueden crecer bajo condiciones extremas (75).

Dependiendo del tamaño, la forma, el sistema de agitación e inclinación, los podemos subdividir en tres categorías: Raceways, Estanques circulares y Estanques sin mezcla. (74) (Ver Figura 18)

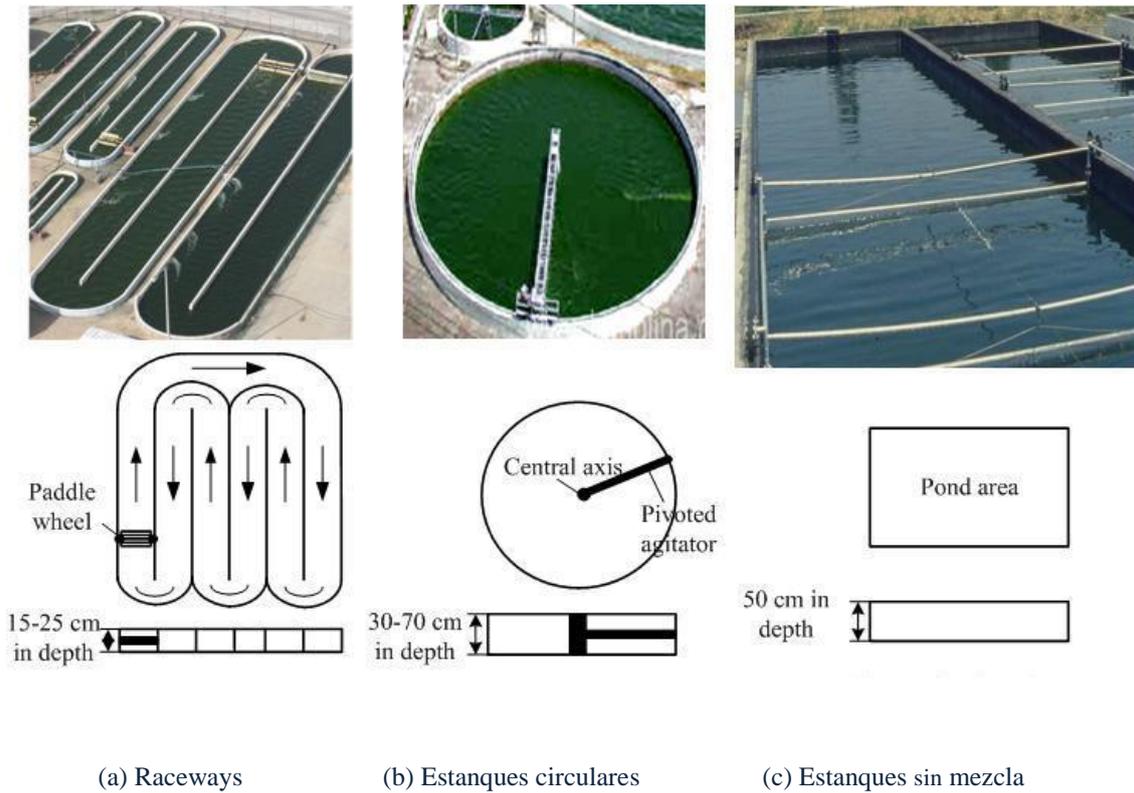


Figura 18 – Tres diferentes diseños de sistemas abiertos: (a) Raceways, (b) Estanques circulares y (c) Estanques sin mezcla. Fuente (74)

2.2.1.1. a- Estanques sin mezcla

Lagunas de Algas y Estanques naturales de poca profundidad tienen el costo de capital más bajo y técnicamente menos complejo de los métodos de cultivo de microalgas. Los mismos han sido usados como un método simple de tratamiento de aguas residuales por miles de años. Algunos de estos sistemas “naturales”, han sido utilizados para la producción de biomasa de algas para consumo humano (76). El dato más antiguo es el cultivo de *Arthrospira (Spirulina)* cosechada en el lago Texcoco, México, por los aztecas. Aunque no había ninguna indicación de que *Spirulina Maxima* fue utilizada en México como un alimento, una búsqueda de la literatura histórica reveló que en los tiempos de la conquista española, la misma fue cosechada en el lago, se secó

y se vendió para el consumo humano (77). Actualmente en Myanmar (Burma), se produce *Arthrospira (Spirulina)* que crece naturalmente en cuatro cráteres volcánicos, se cosecha por filtración simple durante la temporada y luego de sacarle el agua, se seca y se vende localmente (Ver Figura 19)



Figura 19 – Producción de *Spirulina* utilizada como suplemento Nutricional Lago Twin Taung, Región Sagaing. Fuente (78)

Los estanques sin mezcla no están controlados, no puede proveerse eficientemente de CO₂ (Dióxido de Carbono) y tienen una baja productividad. De todas maneras, ninguna de esas limitantes han restado al éxito de las plantas de producción de beta-caroteno en Australia (40) (Ver Figura 20). La *Dunaliella Salina* es cultivada comercialmente en grandes estanques salinos (cada uno de 50 hectáreas aproximadamente) para producir B-caroteno. Este tipo de sistema de cultivo se limita a áreas donde los costos de la tierra son bajos y las condiciones climatológicas favorables, con muy bajas precipitaciones y una radiación solar alta (79), pero la productividad es baja, de solo 1.5 toneladas por hectárea por año (0.4 gramos por metro cuadrado por

día) (73). La mezcla es solamente por las corrientes de viento y de convección así como mediante una cuidadosa gerencia del flujo de agua a través del sistema de estanque. (76)



Figura 20 - *Cognis Dunaliella*, Whyalla, Australia – Fuente (79)

2.2.1.1. b.- Estanques Circulares

Los estanques circulares con un brazo de mezcla central, están siendo utilizados en Taiwán y en Japón para la producción de *Chlorella* (80) (Ver Figura 21). Los estanques tienen una profundidad de 0.3 a 0.7 mts. y hasta 45 mts. de diámetro (73). El máximo diámetro de los estanques es de 50mts. ya que la eficiencia en el mezclador disminuye cuando el brazo rotador es demasiado largo (80). Otras desventajas son: la

baja turbulencia, el mezclado en el sector central del estanque y los altos costos de capital en relación a la construcción. (41)



Figura 21 – *Chlorella* cultivada en estanques redondos de 45 mts. de diámetro – Isla Ishigaki, Japón. Fuente: (78)

2.2.1.1. c.- Sistema Raceway

Este tipo de sistema se ha transformado en el método comúnmente utilizado en los sistemas abiertos (81). Es un canal de recirculación de bucle cerrado de aproximadamente 0.3 mts. de profundidad, donde hay mezcla y circulación constante que se produce a través de unas paletas (Paddlewheel) (ver Figura 18 (a) y Figura 22). El flujo es guiado alrededor de curvas por deflectores colocados en el canal. Los canales están contruidos en hormigón o tierra compactada, y pueden ser revestidos con plástico blanco. Durante el día, las algas se alimentan continuamente frente a la rueda de paletas

donde comienza el flujo. La cosecha se produce detrás de la rueda de paletas en la finalización del bucle de circulación. La rueda de paletas funciona todo el tiempo para evitar la sedimentación (41).

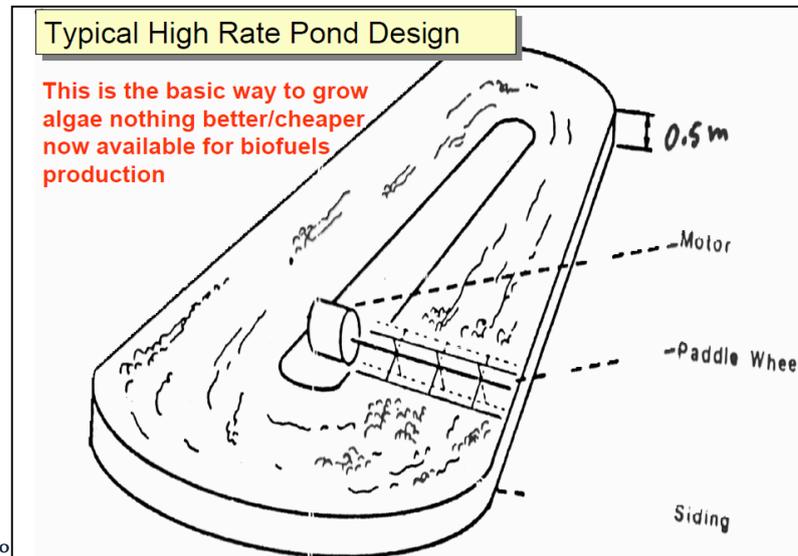


Figura 22 – Diseño típico de un Raceway - Fuente (82)

Los Raceways para la producción de biomasa microalgal vienen utilizándose desde 1950. Las instalaciones de producción más grande actualmente con este tipo de sistema, corresponden a la empresa Earthrise Nutritionals (www.earthrise.com) donde se produce biomasa a partir de cianobacterias para alimento (41) (Ver figura 23)



Raceway Ponds, Earthrise *Spirulina* Production Plant, California

Figura 23 – Granja de Earthrise alga: *Spirulina* Fuente: (83)

En la Figura 24, se muestran imágenes de la planta piloto en Israel de la empresa The Israel Electric Co/Seamiotic Ltd., donde se cultivan microalgas marinas *Nannochloropsis* con un promedio de 20g biomasa/m²/día con un contenido de aproximadamente 30% de lípidos (84).



Figura 24 – Planta Piloto Israel Electric Co.Seamiotic Ltd., Israel –Fuente: (84)

En nuestro país, en la ciudad de Rio Tercero, Córdoba, esta funcionando la planta piloto a escala industrial de Algatec S.A. (Fundacion Universidad de Cuyo, Energy Traders S.A. y Generadora Cordoba S.A.) (Ver Figura 25). Los sistemas de produccion indican que se alcanzarían 150 toneladas por hectárea por año de biomasa, 30 toneladas por hectarea por año de aceite para biodiesel y 300 kg por hectárea por año de betacaroteno, sustancia para pigmentos. (85)



Figura 25 – Planta Piloto a escala industrial en Rio Tercero, Cordoba de Algatec S.A.- Fuente: (85)

2.2.1.2.- Sistemas Cerrados

Un sistema alternativo para el crecimiento de algas es mediante el diseño de estructuras con un efecto invernadero, (Ver Figura 26). Aunque se reduce el área de cultivo, se solucionan muchos problemas que poseen los sistemas abiertos: menor probabilidad de contaminación por especies no deseadas, pueden cultivarse un mayor

número de especies, el periodo de cultivo es 19 veces mayor ya que hay control de la temperatura y puede incrementarse la cantidad de CO₂ en el ambiente, tal que también aumentaría la tasa de crecimiento de las algas. (86, 87, 88). El costo es más alto que el de los estanques abiertos, y considerablemente menor que el de los fotobiorreactores para áreas similares de operación. (75)



Figura 26: Estanques cerrados en granja Miyakojima de Micro Algae Corp. Fuente (86)

Como una variación del sistema de estanques abiertos, la idea es cubrir el estanque o piletón con un invernadero (arcos de tubo largo de los estanques, con una cubierta de plástico barato también en estanques que muchas veces es plexiglás (79)) (89). Si bien esto generalmente resulta en un sistema más pequeño, permite tener bajo control, muchos de los problemas asociados con un sistema abierto. También es posible aumentar la cantidad de dióxido de carbono en estos sistemas cuasi-cerrados, por lo que la tasa de productividad es mayor (40). Los estanques poseen sistemas que permiten a las algas mantenerse en movimiento en el medio, de forma que todas reciban la misma cantidad de luz y nutrientes. Por otro lado se renueva continuamente la cantidad de CO₂ y nutrientes del medio (90) (91). Tales sistemas tienen varios inconvenientes,

incluyendo el sobrecalentamiento en verano y a continuación, necesitan cambios frecuentes en la cubierta de plástico. Además, su cubierta no proporciona una barrera suficiente a la contaminación. Sin embargo, podrían ser considerados como una etapa final en la acumulación del inóculo que probablemente se requiere para la cultura algal a gran escala (92)

Por lo general, los estanques cerrados se utilizan en el cultivo de *Spirulina* con las siguientes características:

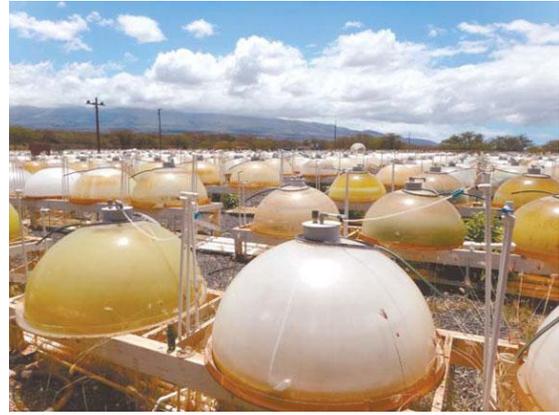
- Raceway (82)
- Mezcla leve (82)
- Utilización de Paddlewheel, waterjet o sistema de bomba de aire (82)
- Dimensión óptima del piletón: 50 m * 5 m * 0.4 m con 100 toneladas de medio líquido (82)
- Dimensiones más grandes, generan más riesgos en algas medio, circulación, contaminación. (82)

Otro tipo de sistemas cerrados de cultivos son los fotobioreactores, los cuales son sistemas flexibles que pueden ser optimizados de acuerdo con las características biológicas y fisiológicas de las algas cultivadas, lo cual permite cultivar algas que no pueden crecer en campos abiertos. Un foto-bioreactor, puede ser definido como un sistema cerrado para el cultivo de microalgas (93), y en el mismo, el medio donde crece el alga, no está expuesto a la atmósfera, pero está contenido en un material transparente que permite el crecimiento autótrofo de las algas, mientras que aísla la cultura de la contaminación potencial. La mayoría de los diseños desarrollados incluyen tubos, placas, bolsas, cúpulas, y algunos han escalado un tamaño considerable (1 hectárea) (73).

Las tres categorías principales para el cultivo a gran escala son: tubulares / horizontal, columna / vertical, y reactores de placa plana o pantalla plana (FP) (94) (Ver Figuras 27 a, b, c y d).



(a)



(b)

Figura 27: (a) Producción en Israel de *Hematococcus pluvialis* en fotobioreactores tubulares Fuente: (2); (b) Producción de *Haematococcus pluvialis* en Fuji Co., Hawaii. Domos tienen 1 metro de diámetro. Fuente (40)



(c)



(d)

Figura 27: c: Fotobioreactor en Columna (d) Fotobioreactor de pantalla plana - Fuentes: (95)

En una presentación, el Dr. John Benemann afirmó que los fotobioreactores, no debieran ser considerados para la producción de biocombustibles a partir de la biomasa algal, debido a sus altos costos y su limitada escala potencial comercial (82) (96) y es por eso que para la presente tesis, serán descriptos brevemente.

Están diseñados como reactores tubulares de lecho empacado (PBR de su sigla en inglés) en los cuales el intercambio directo de gases contaminantes entre el cultivo y la atmósfera es limitado o no es permitido y también una gran proporción de luz no invade directamente sobre la superficie ya que tiene que atravesar las paredes transparentes del reactor. Dependiendo de su forma o diseño este tipo de reactores ofrecen mejor control sobre las condiciones del cultivo y los parámetros de crecimiento (pH, temperatura, mezclado, CO₂ y O₂), previenen la evaporación, reducen las pérdidas de CO₂, permiten obtener una alta densidad de microalgas, y una mayor productividad volumétrica (97).

Pueden ser más productivos y requieren menos tierra que los sistemas abiertos, pero sólo si la temperatura ambiente es inferior a la óptima y / o los reactores están orientados verticalmente, creando cierta dilución de la luz solar (40). Adicionalmente, como ventajas, proveen la facilidad de cosechar la biomasa, hay baja probabilidad de contaminación del cultivo y un mejor control de las condiciones del mismo. (Véase Figura 28) tabla de comparación de ventajas y desventajas típicas de los tres principales tipos de Reactores del Sistema Cerrado.

Tipo de Reactor	Ventajas	Desventajas
FB Pantalla Plana	Recorrido más corto Oxígeno Consumo de Energía bajo	Baja eficiencia fotosintética Daño en la aeración
Tubular	Densidad volumétrica alta de la biomasa microalgal	Acumulación de oxígeno foto inhibición Superficie mayor de tierra utilizada
Vertical	Mayor intercambio de gas Mejor exposición a los ciclos de luz/oscuridad Menor uso de la tierra Alta eficiencia fotosintética	Gastos de soporte Difícil escala potencial comercial

Figura 28: Ventajas y Desventajas típicas de los tres principales tipos de Reactores del Sistema Cerrado - Fuente: (94)

2.2.1.3.- Comparación de Sistemas Abiertos y Cerrados

En la Figura 29, podemos observar una comparación de los dos mecanismos más importantes para ambos sistemas: Abiertos (Raceways) con los Cerrados (Fotobioreactor). Como mencionáramos en el apartado 2.2.1.2. a pesar que los fotobioreactores tienen beneficios tales como el ambiente controlado y menor contaminación, sus altos costos de capital y operacionales prohíben su uso para la producción de biocombustibles (96) (82)

Parámetro	Closed Systems (PBRs)	Open Systems (Raceways)	Comentarios según Dr. J.Benemann (3)	
Control de Contaminación	Fácil	Difícil	Cuestión de tiempo para ambos sistemas	
Riesgo de Contaminación	Reducido	Alto		
Control de Proceso	Fácil	Difícil		
Control de Especies	Fácil	Difícil		
Mezcla	Uniforme	Muy Pobre		
Área/Ratio Volumen	Alto (20-200m-1)	Bajo (3-10 m-1)		
Densidad de la célula del Alga	Alta	Baja		
Inversión	Alta	Baja		
Costos de Operación	Altos	Bajos		No hay diferencias substanciales
Costos de Capital / Costos de Operación en Estanques	Estanques (3-10 veces menor)	PBRs mayor que Estanques		Estanques 10 - 100 veces menor costo
Eficiencia en la utilización de la luz	Alta	Baja	NO hay diferencias substanciales excepto a bajas temperaturas	
Control de Temperatura	Mas Uniforme	Difícil		
Productividad	3-5 x más productiva (*)	Baja (*)		
Stress hidrodinámico en alga	Bajo-Alto	Muy Bajo		
Evaporación del medio de cultivo	Bajo	Alto		
Control Transferencia de gas	Alto	Bajo		
Inhibición de Oxígeno	Problemas importantes en PBRs	PBRs mayor que Estanques		Oxígeno es problema importante en PBRs
Concentración de Biomasa	3-5 veces en PBRs	PBRs mayor que Estanques		
Perdida de agua				Necesario enfriamiento por evaporación

Figura 29 – Comparación de los sistemas abiertos y cerrados para cultivo de microalgas - Elaboración propia a partir de Fuente: (73), (40) y (82)

2.2.2- Producción de Biomasa Microalgal

2.2.2.1. Eficiencia Máxima Teórica de Conversión Solar

Para todos los procesos de producción de biocombustibles, la productividad es un parámetro muy importante.

En todas las algas y las plantas superiores, el proceso de la fotosíntesis implica los mismos procesos fundamentales de agua y fijación de CO₂. Cuando se producen variaciones pequeñas en el proceso fundamental, la productividad cambia. (40)

La teoría actual de la fotosíntesis requiere de dos fotones para actuar en serie y transferir un electrón desde el agua al CO₂, o un total de ocho fotones por CO₂. Unos pocos fotones se requieren para la biosíntesis de proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, otros componentes celulares y para el mantenimiento de la función celular (respiración o "energía de mantenimiento"). El resultado es una eficiencia teórica máxima de conversión de energía solar total en biomasa de aproximadamente 10 % (9-11 %) (95). La incertidumbre se debe a pequeñas diferencias con respecto a la captura de la luz y la precisión de algunas mediciones. Sin embargo, este tipo de eficiencias sólo se observaron con poca intensidad de luz en el laboratorio. Lo que se observa en cultivos externos, a pleno sol es diferente: la mejor conversión de energía solar en biomasa es de solo 1-3% comparado con el teórico de 10%. Esta importante pérdida en eficiencia es un problema central de la fotosíntesis en la producción de biomasa pero es un problema particular en la producción de microalgas, donde el efecto de la saturación de la luz es un factor aun mayor. (40)

2.2.2.2. Límites Prácticos a la eficiencia de Conversión Solar

El mayor limitante a la eficiencia en la conversión de energía solar durante la fotosíntesis tanto en microalgas, como en menor medida en las plantas superiores es el llamado efecto de saturación de la luz. (41) Las plantas necesitan luz para hacer comida. Aunque puede parecer que esto les asegura una infinita provisión de alimento, existe un límite para la cantidad que pueden producir. Cuando una planta está expuesta a un gran volumen de luz, se dice que está saturada y ya no puede convertir la luz que le llega en alimento.

La Figura 30 muestra la respuesta de un cultivo de algas a la creciente intensidad de la luz: a bajas intensidades de luz hay un aumento lineal en la tasa de fotosíntesis por unidad de algas, con la pendiente, alfa, como una medida de la eficiencia del proceso. Cuando la intensidad de la luz aumenta, la tasa se hace más lenta, a una tasa máxima, P_{MAX} , a una intensidad de luz extrapolada (I) que es la intensidad de la luz de saturación. A muy altas intensidades (correspondiente a la luz solar real), se establece la foto inhibición. Por lo tanto son evidentes tres fases: (i) la limitación de luz; (ii) la saturación de la luz; y (iii) la inhibición de la luz. (93)

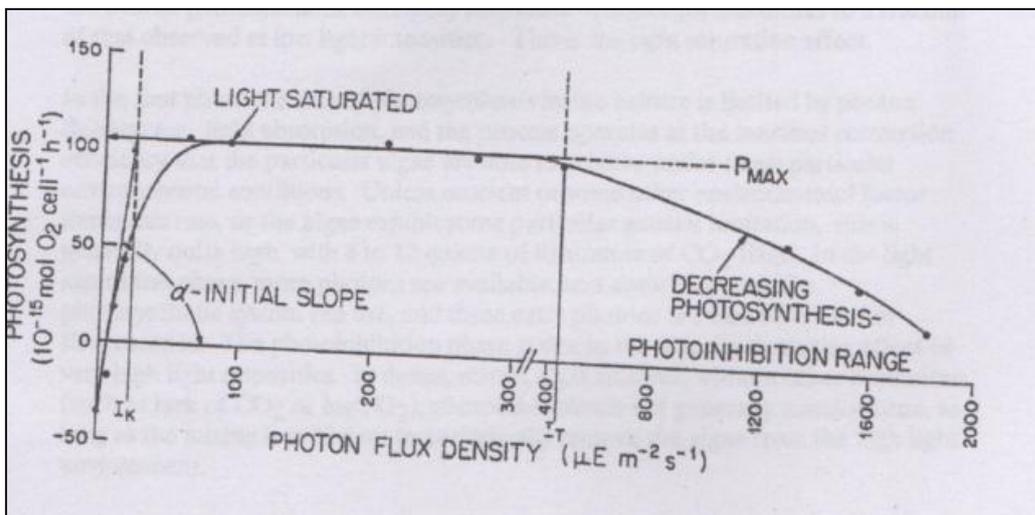


Figura 30 – Relación entre la fotosíntesis y la intensidad de la luz Fuente: (89)

El aparato fotosintético recoge los fotones con una serie de clorofila y otras moléculas de pigmentos que absorben la luz, que están dispuestas en la llamada "antena" . Los pigmentos de las antenas transfieren la energía del fotón capturado (excitations) a los centros donde se genera la reacción. Una típica antena de cosecha de luz en las algas verdes consta de 200 -300 moléculas de clorofila, que a plena intensidad de luz solar captura un fotón cada 0,5 ms (milisegundos). Sin embargo, los centros de reacción pueden procesar solamente un excitación cada 5 ms. El exceso de fotones, el 90%, sigue siendo absorbido pero no puede ser utilizado. Ellos se desperdician en forma de calor o de fluorescencia. De hecho, estos adicionales fotones pueden incluso dañar el aparato fotosintético, resultando en una disminución de la fotosíntesis a intensidades de plena luz del sol (foto inhibición). (92)(40)

Diversos métodos han tratado de mejorar en los últimos 50 años las eficiencias: el primero es mover las células dentro y fuera de la zona alta de luz a una frecuencia alta. Idealmente, serían expuestos a la luz alta sólo los 0,5 ms requeridos para capturar un fotón por centro de reacción. Ellos entonces deberían ser mantenidos en la oscuridad durante los 5 milisegundos necesarios para completar las reacciones oscuras. Aunque las constantes de tiempo algo más largos aún pueden lograr un cierto aumento en la eficiencia fotosintética, estos intervalos de milisegundos son demasiado cortos para aplicaciones prácticas. Si el ciclo luz-oscuridad se alcanza mezclando las células bajo las superficies a la sombra de otras células, entonces esta mezcla rápida implica insumos de alta energía y pérdidas parásitas. El enfoque más simple a la dilución de luz solar en los fotobioreactores es orientarlos verticalmente, en lugar de horizontalmente, para atrapar la luz del sol sobre una superficie más grande. Sin embargo, este enfoque no es práctico tampoco. En conclusión, la solución al problema de cómo superar la

saturación de luz y la foto inhibición no puede venir de estos enfoques de ingeniería.

(92) (40) (51)

Las limitaciones inherentes hacen que solo sea probable un enfoque de ingeniería genética en la elaboración de cepas resistentes de algas que tengan las propiedades deseadas de alta eficiencia a la luz del sol. (40)

2.2.2.3. Límites Teóricos y Prácticos a la Productividad de la Biomasa de Microalgas

Con una eficiencia en la conversión de energía solar entre 1-3 %, los métodos de producción de algas actuales tienen mayor eficiencia de conversión que la mayoría de las plantas agrícolas de cultivo. Sin embargo, es necesario lograr aún mayor productividades en las algas para una industria de biocombustibles de algas viable, debido a la alta inversión requerida de capital y los costos de operación (Ver Figura 31) (40).

Crop	Maximum biomass yield/tonnes dry weight ha ⁻¹ a ⁻¹	Source
Higher plants		
Theoretical* (C3 plants) $\psi_{\%} = 4.6\%$	Low 210, mid 170, high 140**	54
Theoretical* (C4 plants) $\psi_{\%} = 6.0\%$	Low 270, mid 220, high 190**	54
Sugar cane	74-95	67-68
Switchgrass	8-20	19,67
Corn (grain)	8-34	66
Poplar wood chips	11	69
Soya	4.6-5.5	66
Rape seed	4.5-6	66
Oil palm	8.7	66
Microalgae		
Theoretical $\psi_{\%} = 12\%$ (Table 5)	Low 410, mid 330, high 280***	Present account
Projected raceway, algae unspecified	110-220	16
Bioreactor raceway, algae unspecified	175	4
Projected raceway, algae unspecified	127	4
Best case raceway, algae unspecified	120-153	9
Achieved bioreactor (<i>Phaeodactylum</i>)	182	70
Achieved raceway (<i>Pleurochrysis</i>) over 10 months	60	71

Figura 31 – Rendimientos observados y proyectados para cultivos y microalgas – Fuente: (40)

La máxima productividad de aceite de microalgas puede ser estimada. Como se mencionara anteriormente, el límite teórico de fotosíntesis estimado por varios expertos, es alrededor del 10% (9-11%), sería la conversión de energía solar en energía de biomasa. La radiación solar, promedio al norte del río Colorado (2 millones de km²), es de 4,58 kWh/m² día, promedio anual (98) (99) esto serían 1.671,7 KWh/m²/año, iguales a 6.018,12 MJ/m²/año. Al 10% de eficiencia, 602MJ/m²-año que podrían ser capturados en biomasa. Si la biomasa tiene un 40% de contenido de aceite (Triglicéridos LHV de 37.5 MJ/kg) y 60% carbohidratos y proteínas (combinados LHV 18MJ/kg), el LVH de la biomasa microalgal es de 25.8 MJ/kg (37.5 MJ/Kg*0.4+18 MJ/kg*0.6). Utilizando la información, el rendimiento teórico de la biomasa es de aproximadamente 233 toneladas por hectárea por año (6.020.000MJ/25.8MJ*0.001tn) (Aproximadamente 64g/m²-día promedio anual). Con un 40% de contenido lípido, 93 mts. serían producidas. Sin embargo, el cálculo anterior ignora pérdidas inevitables: absorción inactiva de fotones (aproximadamente 10 %), reflexión (aproximadamente 10 %), y la respiración (probable aproximadamente 20 %), todos los cuales reducen la productividad teórica. Considerando las pérdidas adicionales por saturación y foto inhibición, la eficiencia en la conversión solar, disminuye a 1.62%, que genera una biomasa de 13gramos/m²/día con este contenido de aceite. (100) a partir de (40).

Un criterio más convencional para calcular el rendimiento de la biomasa de microalgas sería un contenido de 20% aceite y un calor de combustión de solo 22 MJ/kg, debería tener un promedio anual de productividad de 12g/m²/día. (40)

Una productividad de aproximadamente 15g/m²/día con un nivel normal de aceite contenido en la biomasa, coincide con lo documentado en estudios de estanques abiertos en locaciones favorables (40)

2.2.2.4.-Contenido de Lípidos y productividad en cultivos de Algas

Los lípidos son una clase de moléculas que junto con las proteínas y los hidratos de carbono, definen ampliamente la composición celular en general. Químicamente son sustancias de origen biológico que, siendo escasamente solubles en agua, pueden ser extraídas con solventes orgánicos de baja polaridad. Los lípidos pueden por tanto ser clasificados como polares y no polares. Los lípidos polares se componen de los fosfolípidos y los glicolípidos y están funcionalmente asociados con estructuras de membrana y fluidez. Los lípidos no polares son principalmente mono-, di- y triglicéridos, pero también incluyen ciertos pigmentos, vitaminas, wax'esters, esteroides, e hidrocarburos cíclicos y acíclicos. En el estudio de los lípidos para realizar biodiesel, nos interesan particularmente los triglicéridos (debido a su prevalencia y la similitud con los aceites vegetales) y algunos hidrocarburos (92).

Los triglicéridos se han considerado una reserva de almacenamiento de energía debido a su alto valor calórico específico, pudiendo llegar a constituir hasta el 80% del total de la fracción lipídica (80), y se acumulan principalmente en forma de gotitas de aceite en el interior del citoplasma (35). Los triglicéridos son claramente una reserva de energía en organismos superiores, e incluso en las algas donde hay evidencia de ruptura de triglicéridos durante los períodos de limitación de energía (92).

Dependiendo de las especies, las microalgas producen diferentes tipos de lípidos, hidrocarburos y otros aceites complejos, de los cuales, no todos son adecuados para hacer biodiesel (35). El contenido de aceite en microalgas, puede exceder el 80% de peso de biomasa seca (39), y los niveles del 20 al 50% son bastantes comunes como puede verse en Figuras 32, 33 y 34.

	Name of microalgae	(% dry wt)
1	<i>Botryococcus braunii</i>	25 – 75
2	<i>Chlorella</i> sp.	28 – 32
3	<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
4	<i>Cylindrotheca</i> sp.	16 – 37
5	<i>Dunaliella primolecta</i>	23
6	<i>Isochrysis</i> sp.	25 – 33
7	<i>Monallanthus salina</i>	20
8	<i>Nannochloris</i> sp.	20 – 35
9	<i>Nannochloropsis</i> sp.	31 – 68
10	<i>Neochloris oleoabundans</i>	35 – 54
11	<i>Nitzschia</i> sp.	45 – 47
12	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20 - 30
13	<i>Schizochytrium</i> sp.	50 - 77
14	<i>Tetraselmis sueica</i>	15 - 23

Figura 32 – Contenido de Aceite en las Algas – Fuente: (11)

Where grown	Name of microalgae species	(% dry wt)
Fresh Water Algae	1 <i>Botryococcus</i> sp.	25 - 75
	2 <i>Chaetoceros muelleri</i>	34
	3 <i>Chaetoceros calcitrans</i>	15 - 40
	4 <i>Chlorella emersonii</i>	25 - 63
	5 <i>Chlorella protothecoides</i>	15 - 58
	6 <i>Chlorella sorokiniana</i>	19 - 22
	7 <i>Chlorella vulgaris</i>	5 - 58
	8 <i>Chlorella</i> sp.	10 - 48
	9 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2
	10 <i>Chlorella</i> sp.	18 - 57
	11 <i>Chlorococcum</i> sp.	20
	12 <i>Ellipsoidion</i> sp.	28
	13 <i>Haematococcus pluvialis</i>	25
	14 <i>Scenedesmus obliquus</i>	11 - 55
	15 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	2 - 19
	16 <i>Scenedesmus</i> sp.	20 - 21

Figura 33: Contenido de Aceite en Algas de Agua Dulce – Fuente: (11)

Where grown	Name of microalgae species	(% dry wt)
Marine Water Algae	1 Dunaliella salina	6 - 25
	2 Dunaliella primolecta	23
	3 Dunaliella tertiolecta	18 - 71
	4 Dunaliella sp.	18 - 67
	5 Isochrysis galbana	7 - 40
	6 Isochrysis sp.	7 - 33
	7 Nannochloris sp.	20 - 56
	8 Nannochloropsis oculata	23 - 30
	9 Nannochloropsis sp.	12 - 53
	10 Neochloris oleoabundans	29 - 65
	11 Pavlova salina	31
	12 Pavlova lutheri	36
	13 Phaeodactylum tricornutum	18 - 57
	14 Spirulina platensis	4 - 17

Figura 34: Contenido de Aceite en Algas de Agua Salina – Fuente (11)

Bajo ciertas condiciones, su producción puede ser estimulada y los mismos almacenados en mayores concentraciones. Pero cuando sucede esto, el contenido de los lípidos aumenta y por ende, el porcentaje de la suma de los otros componentes debe bajar. (96)

Normalmente esto ocurre cuando las células son expuestas a condiciones de stress, como condiciones anoxias, bajas densidades de nutrientes como el nitrógeno o el fósforo (Ver figura 35), o temperaturas o niveles de incidencia de luz extremos. Aunque la fijación de dióxido de carbono no es detenida, las células aumentan considerablemente el almacenaje de lípidos, como mecanismo de supervivencia (51).

El método artificial más común para inducir el almacenaje de lípidos es disminuir el suministro de nitrógeno, lo cual produce que las células detengan su división y comiencen a almacenar su energía en forma de lípidos. Hay reportes que muestran que este método permitiría duplicar el contenido de lípidos en varias especies de Algas como *Botryococcus braunii* (41).

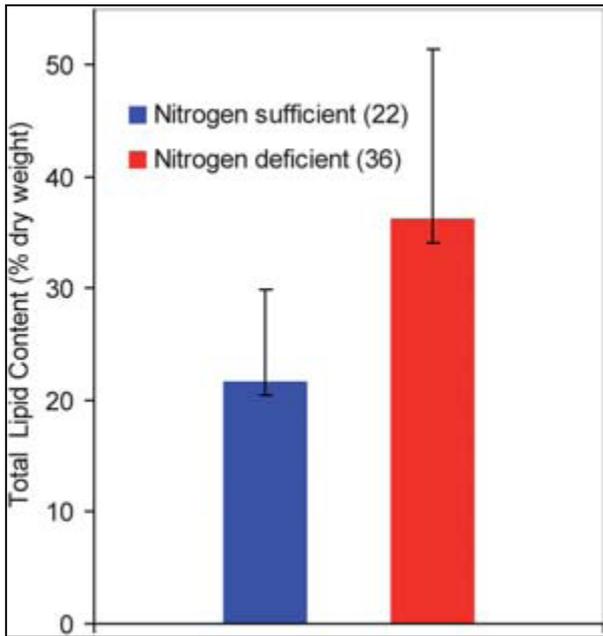


Figura 35: Efecto de Limitación de Nitrógeno en el contenido de lípidos de Algas Eucariotas. Los valores entre paréntesis es el número de observaciones de la que se derivó la media. La barra de error superior es la desviación estándar, la menor es el error estándar. Fuente: (51)

2.2.2.5.- Suplemento de Dióxido de Carbono y Nutrientes

El crecimiento de las algas requiere el suministro de nutrientes y CO₂, además de la luz. Cuando se provee de los mismos, de una fuente fabricada a propósito, esto no sólo aumenta el costo operativo sino que también reduce el beneficio ambiental en el ciclo de vida del sistema de algas (generando lo contrario, debido a la energía y las materias primas consumidas) y de los GEI (gases de efecto invernadero). Para evitar estos problemas, una idea popular ha sido realizar el cultivo de algas en las aguas residuales ricas en nutrientes y con el CO₂, utilizar gas de combustión generado en procesos de combustión. Un sistema de este tipo poseerá funciones de tratamiento de aguas residuales y eliminación de CO₂ a partir de las emisiones industriales, además de la producción de biomasa de algas (102)

El carbono representa aproximadamente la mitad del peso seco del alga. Generalmente, debe ser suministrado como CO₂, pero el almacenamiento de CO₂ disuelto en el medio de crecimiento es limitado, siendo dependiente de la alcalinidad. Si el CO₂ se proporciona en exceso, será lanzado de nuevo a la atmósfera desde la superficie del estanque. Desde que el bombeo de CO₂ a los sistemas de cultivo representa una pérdida de energía, se desea el uso eficiente del mismo. Es por eso que debe ser agregado frecuentemente y en cantidades controladas (40).

Utilizar los gases provenientes de una central térmica, acarrea el problema de traer gases adicionales al CO₂. Recientemente se ha confirmado que los gases de combustión pueden ser utilizados para cultivar algas sin efectos nocivos y al menos un cultivador de algas comerciales en Hawaii está utilizando CO₂ a partir de una pequeña planta de energía (103).

EL cultivo de microalgas, también requiere otros nutrientes. Nitrato, es una forma de nitrógeno muy cara, en términos económicos, así como también en términos de la energía metabólica requerida para reducirlo al nivel de amoníaco. Se requerirá entonces, cepas de algas que pueden utilizar el amoníaco o la urea para la óptima productividad. El amoníaco debe añadirse al medio de cultivo en el mismo tiempo que se inyecta el CO₂. El pH inferior causado por el CO₂ reducirá la volatilización del amoníaco. También se requiere gran cantidad de otros nutrientes (P, K, Fe, Mn, Mg, etc.). Las algas tienen un alto contenido de nutrientes (5 % - 12 % de N y 0,3 % - 0,5 % P) en comparación con la mayoría de los cultivos, y el reciclaje de los mismos de la biomasa residual después de la extracción de aceite es un tema clave. La digestión anaeróbica de la biomasa residual, con el efluente descargado en el digestor del estanque de algas permitiría el reciclaje de los nutrientes, incluyendo el carbono

residual. El momento de el reciclaje, se coordina con otras operaciones del proceso para obtener la máxima eficacia, tales como el control de los herbívoros, contaminantes y los niveles de oxígeno (efluentes del digestor tener una alta demanda biológica de oxígeno). Una variable sobre la que se necesita investigación es la eficiencia alcanzada en el reciclaje de nutrientes, fundamentalmente debe ser alta (aproximadamente 90 %). Un reciclado eficiente sería minimizar la necesidad de comprar fertilizantes. (40)(104)

2.2.2.6.- La Temperatura como límite a la productividad

El principal factor ambiental que limita la productividad de las algas es la Temperatura. El régimen de temperaturas óptimas para las cepas de algas usadas en el cultivo muestra que la productividad disminuye debajo de los 20°C y sobre los 35°C (2). En el informe de Harmelen and Oonk, regiones con temperaturas por debajo de los 15°C, no deben ser consideradas para el cultivo en masa de microalgas. Sin embargo, esta afirmación es muy simplista. (72)

Para mejorar el rendimiento de la biomasa parece importante mantener la cultura algal a una temperatura lo más cercana al óptimo de la especie considerada. (105) La temperatura ideal a mantener en los cultivos debe ser lo más cercana posible a la temperatura del hábitat natural de los organismos (o temperatura de recolección) (105); los estudios muestran que una productividad alta de biomasa no puede conseguirse en estanques abiertos debido principalmente a las dificultades en el mantenimiento de la temperatura óptima durante todo el día y durante todo el año (106). Sin embargo, las operaciones de estanques normales podrían moderar los cambios de temperatura durante el día. Por ejemplo, durante el verano, al final del día, se transferirían a los estanques de sedimentación de algas, hasta la mitad del cultivo en

estanques. Antes de la mañana, el estanque de sedimentación sobrenadante se recicla de vuelta al estanque de crecimiento. La pérdida de calor a partir de los estanques de sedimentación es alrededor de un " décimo de la que se sufre en los estanques de crecimiento (que son diez veces más profundos). Así, en la mañana los estanques recuperarían rápidamente la temperatura, a tiempo para recomenzar la fotosíntesis (40)

2.3.- Cosecha

Se conoce ampliamente que uno de los cuellos de botella y retos a vencer más importantes respecto a la producción de la biomasa microalgal y de metabolitos en particular, consiste en los procesos de cosecha y extracción. Incluso, en procesos de tratamientos de aguas con microalgas, el costo de la cosecha, determina la viabilidad económica de todo el proceso (107). El costo efectivo de la cosecha es considerada el área más problemática de la producción de biocombustibles de algas (27)

Todo el procesamiento posterior al cultivo de microalgas implica una o varias etapas de separación sólido-líquido. La biomasa puede requerir separarse del medio de cultivo, o excluir los restos celulares tras la disrupción celular para la liberación de los metabolitos de interés (95). Se considera que los problemas básicos son: 1) el tamaño de las microalgas (entre 3 y 30 μm); b) el que los cultivos tienen una densidad celular relativamente baja, especialmente en las lagunas abiertas (menor a $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ de biomasa seca) y se requiere cosechar grandes volúmenes de líquido, las concentraciones de microalgas permanecen siempre bajas durante su crecimiento, por lo general de un 0,02% a un 0,05% de materia seca en Raceways y entre un 0,1% y 0,5% de materia seca en los reactores tubulares (una tonelada de biomasa seca tiene que ser recuperada de

entre 200 m³ a 5000 m³ de agua)y c) que el costo de la cosecha contribuye de una manera muy importante , al costo total de la producción de la biomasa. (27)

En general, la recolección de microalgas es un proceso de dos fases, que incluye: a) la cosecha en masa (bulk harvesting), destinada a la separación de la biomasa de la suspensión; los factores de concentración para esta operación son generalmente 100 a 800 veces para llegar a 2,7% de materia sólida total, dependiendo de la concentración inicial de biomasa y las tecnologías empleadas, como la floculación, flotación o sedimentación por gravedad; y b) el espesamiento (thickening), cuyo objetivo es concentrar la mezcla a través de técnicas como la centrifugación, filtrado y ultrasonido, por lo tanto, es generalmente una etapa de consumo de energía más intenso que la cosecha en masa. La recolección de las células de microalgas representa al menos el 20-30% del coste total de producción; entonces, con el fin de producir energía a partir de algas de la forma más económica posible, es esencial utilizar la forma más económica de concentrar la biomasa de algas con un contenido de agua que sea lo suficientemente bajo para la extracción del aceite; así mismo cualquier método adecuado de cosecha debe ser capaz de procesar grandes volúmenes, propios de los procesos de producción de biomasa de algas (108).

Las algas pueden ser cosechadas por un número diferente de métodos: sedimentación, floculación, flotación, centrifugación y filtración o una combinación de cualquiera de estas. A continuación, revisaremos brevemente cada una de los mismos:

2.3.1.- Floculación

Esta es la primera etapa en el proceso de recolección en masa que pretende agregar las células de microalgas con el fin de aumentar el tamaño efectivo de las

partículas'. La agregación como resultado del ajuste del pH o la adición de electrolitos es considerada como coagulación, mientras que la acumulación como resultado de la adición de un polímero se denomina floculación. Este es un paso previo antes de otros métodos de recolección, tales como filtración, flotación o sedimentación por gravedad (73).

La recolección de células de algas por floculación es más conveniente que por métodos convencionales como la centrifugación o filtración, porque permite tratar grandes cantidades de cultivo. La floculación química se ha convertido en el método de elección para remover las algas de los estanques de tratamiento de residuos y otras aplicaciones residuales. Los productos químicos (Sales de metales polivalentes como el cloruro férrico (FeCl_3), sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) son floculantes adecuados) y el proceso de floculación, sin embargo, es costoso, siendo sólo ligeramente más barato que la centrifugación. Para aplicaciones de productos químicos finos, la floculación se considera como un tratamiento previo a otras operaciones (108). A pesar de que la floculación es considerada como el método más adecuado para la cosecha de biomasa de microalgas, este método implica desventajas económicas o técnicas, tales como un elevado coste energético, la adición de impurezas a la biomasa cosechada, la toxicidad floculante o la no viabilidad de la ampliación (109).

La biofloculación puede ser producida por bacterias que pueden causar la floculación de las microalgas. En tratamiento de aguas residuales, se produce una separación efectiva de las algas por sedimentación debido a su incorporación en flóculos de biomasa. El uso de bacterias cultivadas en desechos o aguas residuales podría tener la posibilidad de ser un método de separación de microalgas baja entrada de

combustible fósil, especialmente si la energía dentro de la biomasa bacteriana podría ser recuperada con la de la microalgas. El floc bacteriano de las microalga en el tratamiento secundario de las aguas residuales complementado por gas de combustión de una central térmica, ha demostrado recientemente su eficiencia, quitando el 97,5% de la biomasa del medio de crecimiento dentro de los 30 minutos y produciendo sedimentos del 2% de la biomasa seca bacteriana / microalgas (73)

2.3.2.- Sedimentación por gravedad y centrífuga

En la sedimentación por gravedad, fuerzas causan que las partículas líquidas o sólidas se separen del líquido de diferente densidad, pero este proceso puede ser extremadamente lento, especialmente si la diferencia de densidad o el tamaño de las partículas es muy pequeño. Esta técnica es la más común de cosecha de biomasa de algas en el tratamiento de aguas residuales debido a los grandes volúmenes tratados y al bajo valor de la biomasa generada (bajo rendimiento). Sin embargo, el método sólo es adecuado para microalgas grandes (aproximadamente de 70 μm) como la *Spirulina* (108). La mayoría de las microalgas se pueden separar del medio de cultivo por centrifugación. Una centrífuga es básicamente un tanque de sedimentación con mayor fuerza gravitatoria para aumentar la tasa de sedimentación. La cosecha en centrífuga de células de algas es el método de recuperación preferido por su rapidez, aunque consume mucha energía. Esta forma de recolección de la biomasa depende de las características de sedimentación de las células (tasa de sedimentación), el tiempo de permanencia de la biomasa en la centrífuga y la profundidad de asentamiento. La profundidad de asentamiento, se puede reducir mediante el diseño de la centrífuga y el tiempo de permanencia de la suspensión en la centrífuga se puede controlar mediante la

modulación de la velocidad de flujo, mejorando así la recuperación de la biomasa. (108) Es quizás el método más popular, ampliamente usado y confiable. Es ideal para grandes volúmenes de biomasa donde se logra una tasa de alto rendimiento. La demanda de energía varía de 0.3 a 8 kw/h/m² dependiendo del modo de operación. La eficacia de esta técnica es del 95% (108)

Dentro del Programa de especies acuáticas, los costos de centrifugación se estiman en 40% del costo de producción y 50% del costo de inversión; no obstante, la aplicación de la centrifugación como un método de cosecha secundaria, para concentrar de 1 a 5 por ciento de materia seca a 15% -20%, reduciría los costos de centrifugación por lo menos 50 veces (92). El Dr. Benemann recomienda en su informe elaborado en el 2006 usar la centrifugación después de los estanques de asentamiento, y se menciona una centrífuga específica con un consumo de energía aceptable. Las condiciones operativas de la centrifugación también determinan la eficiencia del proceso; Un estudio revela la influencia del proceso de centrifugación en la eficiencia de la cosecha y la viabilidad celular, en diferentes condiciones de centrifugación, de nueve diferentes cepas de microalgas. La fuerza de centrifugación varió de 1300 a 13000 g, la eficiencia de la cosecha fue superior al 95% sólo en la máxima fuerza de centrifugación, 13000 g, disminuyendo a 60% en 6000 g, y a 40% en 1300 g. La viabilidad celular varió significativamente con respecto a las especies, los métodos de centrifugación y la interacción de los dos factores. (110)

2.3.3.- Filtración

Esta es una de las técnicas más sencillas. Existen tres métodos de filtración: vacío, presión y gravedad. Cuando se utiliza una bomba (vacío, presión) la filtración es

eficiente, laboriosa y de alta demanda energética. Cuando se realiza a gravedad, es un proceso barato, lento y con mano de obra intensiva, no obstante la tasa de rendimiento puede incrementarse mediante la elección de los materiales para el filtro de porosidad adecuada. (108)

Las revisiones sobre este tipo de técnica, exponen que la misma, es adecuada para microalgas con células grandes, pero inadecuada para aquellas especies con diámetros menores a 10 μm . Coadyuvantes de filtración y floculantes parecerían asistir la filtración y reducir los requerimientos operativos de energía pero los materiales adicionales incrementan el costo y necesitan ser removidos de la biomasa microalgal y del medio donde crecen las algas. (73)

Existe una amplia variedad de diseños de filtros, pero las membranas pueden ser clasificadas por el tamaño de los poros: Macro filtración: $\gg 10\mu\text{m}$, micro filtración 0.1 a $10\mu\text{m}$, ultrafiltración 0.02 a $0.2\mu\text{m}$ y osmosis inversa $\ll 0.001\mu\text{m}$. (73)

La presión para forzar el fluido a través de una membrana, y por lo tanto la energía operativa requerida, generalmente aumenta con la reducción del tamaño del poro de la membrana. Las microalgas tienen un tamaño típicamente entre 2 y $30\mu\text{m}$... (73)

2.3.3.1.- Micro-filtración

La micro filtración ha sido utilizada para recuperar células de microalgas, pero la membrana de filtración no ha sido utilizada para producir biomasa a gran escala y podría ser menos beneficiosa en términos económicos que la centrifugación a un nivel comercial (111)

2.3.3.2.- Ultra-filtración

Esta técnica, es una alternativa viable para recuperar células frágiles aunque no está siendo utilizada para microalgas. Los costos operativos y de mantenimiento son altos. La ultra-filtración como la ósmosis inversa, serán desarrolladas para desalinización de agua marina y la energía necesaria para un cálculo óptimo sería de 3kW/h/ m^3 , equivalente a la menor energía utilizada actualmente en la desalinización con ósmosis inversa. Una membrana de ultrafiltración con $0.03\mu\text{m}$ de tamaño de poro, ha sido utilizada para cosechar microalgas cultivadas con las emisiones de dióxido de carbono de una planta de fabricación de semiconductores en el norte de Taiwan (73) (112).

2.3.3.3.- Macro-filtración

Existe una amplia variedad de unidades disponibles para macro filtración y que son usadas principalmente para tratamiento de aguas residuales. También se utilizan en la cosecha de algas donde pudieron recuperarse células de algas grandes pero con bajo rendimiento y obstrucción rápida. (73)

Uno de los filtros que se utilizan son los filtros-prensa, que son placas de filtro perforadas, ensambladas con marcos con huecos que se comprimen para formar una serie de cámaras con filtros donde el líquido filtrado pasa a través del medio filtrante y los sólidos son retenidos en el filtro prensa. Se ha encontrado una amplia aplicación en la industria debido al diseño simple, la flexibilidad y la capacidad de manejar una amplia gama de materias. Aunque el equipo es relativamente barato, los costos laborales pueden ser altos y el lavado de la pasta no siempre es eficaz (73). Como experiencia empírica, podemos mencionar la utilización de un filtro prensa modificado

para la cosecha de *Scenedesmus* pero los costos de capital fueron 1/3 mas altos que los de los filtros prensa convencionales y también hubo problemas en la operación (113)

Otros tipos de filtro es el de tambor rotativo o de vacío. Los filtros rotatorios, que consisten en un marco de tambor cubierto con filtro de tela (lienzo, nylon, dacrón, metal o fibra de vidrio), están disponibles para la operación de succión o vacío. Estos filtros tienen la ventaja de la operación continua y son útiles cuando la esterilidad y la contención no son factores determinantes (95). Las especies más grandes de microalgas como *Spirulina* y *Micractinium* han sido cosechadas con un filtro de vacío rotativo con un diámetro de poro 12 μm produciendo un peso en seco de microalgas 1-3 % (113)

2.3.4.- Secado

Previamente al proceso de extracción de Energía, puede ser requerido el secado. La eliminación de agua de la biomasa de algas por evaporación puede tener un uso de energía muy intenso. Para calentar y vaporizar agua a presión atmosférica desde una temperatura de 20 ° C, requiere una entrada de energía de aproximadamente 2,6 MJ/kg-1 o más de 700 kW/h/m-3. (73)

El paso final en el procesamiento es por lo general el secado, a un contenido de humedad de 12-15% o menor. Por secado o deshidratación, la biomasa de algas se convierte a un producto almacenable estable. La selección del método de secado depende de la escala de operación y también el uso para el que el producto seco es previsto. (114)

Una variedad de métodos se han utilizado para secar micro-algas: el secado solar, el secado a rodillo, el secado por aspersión y el secado en frío. (73)

El secado solar no requiere energía de combustibles fósiles, pero es tiempo-dependiente y puede causar considerable desnaturalización de compuestos orgánicos. Es la opción menos costosa de secado, requieren de grandes áreas, ya que sólo alrededor de 100 g de materia seca puede ser producida a partir de cada metro cuadrado de superficie expuesta a secado de sol (73).

Por otro lado, el secado por aspersión se utiliza comúnmente para la extracción de productos de alto valor (mayor a US\$ 1000/tonelada), es relativamente costoso y puede causar un deterioro significativo en algunos componentes de las algas, como los pigmentos, es un método antieconómico para la producción de biocombustibles microalgas. El secado por congelación o liofilización, ha sido ampliamente utilizado en los laboratorios de investigación para el secado de las microalgas, sin embargo, es demasiado costoso para su uso en la recuperación comercial a gran escala de productos de microalgas. Los elementos intracelulares tales como aceites pueden ser difíciles de extraer con solvente a partir de biomasa húmeda sin disrupción celular, pero se extraen fácilmente si la biomasa ha sido liofilizada. (95)

La deshidratación durante la cosecha utiliza menos energía que la evaporación para eliminar agua y parece preferible minimizar el contenido de agua de las microalgas cosechadas antes del secado, y seleccionar los métodos de extracción de energía que no requieren el secado de las mismas (73).

2.3.5.- Comparación y Conclusión sobre los sistemas de Cosecha de Microalgas

A pesar de la importancia de la cosecha en la economía y el balance energético de los biocombustibles de algas, no hay un método universal de cosecha (28). La elección de la técnica de cosecha depende de las características de las microalgas, por

ejemplo, el tamaño, la densidad, y el valor de los productos de destino. La selección de la cepa, requiere una atención especial, ya que algunas especies son mucho más fáciles de cosechar, otra consideración es el nivel aceptable de humedad en el producto, la pasta de la sedimentación por gravedad es generalmente más diluida que la biomasa recuperada por centrifugación, ya que demasiada humedad en la biomasa cosechada pueden influir sustancialmente en la economía de la recuperación del producto en las siguientes etapas del proceso (95), si se requiere la deshidratación de la biomasa después de la cosecha. Debido a que el secado térmico es más costoso que la deshidratación mecánica, el secado térmico debe estar precedido por un paso de deshidratación mecánica, tales como la filtración o la centrifugación. En la Figura 36, podemos ver el resumen de las ventajas y desventajas de las principales técnicas.

METODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CONCENTRACION DE SOLIDOS
CENTRIFUGACION	Puede procesar la mayoría de las especies de algas con eficiencia en la velocidad de la cosecha	Inversión de Capital y Costos operativos Altos	10-22%
FILTRACION	Amplia variedad de filtros y tipos de membranas disponibles	Depende mucho de las especies de algas que se utilice. Más adecuado para células grandes de algas. La obstrucción y el ensuciamiento un problema	2-27%
ULTRAFILTRACION	Puede procesar células delicadas	Inversión de Capital y Costos operativos Altos	1,5-4%
SEDIMENTACION	Bajo Costo. Potencial para el uso como una primera etapa para reducir la entrada de energía y el costo de las etapas subsiguientes	La separación puede ser lenta Especies específicas de algas, más adecuado para células no móviles densas. Concentración final baja.	0,5-3%
FLOCULACION QUIMICA	Amplia gama de floculantes disponibles , el precio varía , aunque puede ser de bajo costo	Remoción de floculantes y contaminación química	3-8%
FLOTACION	Puede ser más rápido que la sedimentación. Posibilidades de combinar con transferencia gaseosa	Especies específicas de algas. Inversión de Capital y Costos operativos altos	mayor al 7%

Figura 36: Comparación de Métodos de Cosecha. Fuente: (115) (111) (116)

La sedimentación y la floculación ofrecen potencialmente la necesidad más baja de energía para la recolección de microalgas, pero no parece haber ningún método o combinación de métodos de cosecha adecuados para todas las microalgas. La concentración de las microalgas de los diversos métodos de recolección pueden variar de 0,5% a 27% en peso seco, y la deshidratación o el secado pueden ser necesarios antes

de la extracción de energía de la microalga. El grado de concentración requerida variará según el método utilizado para producir energía utilizable. El método más eficiente en términos de la energía de la cosecha o de producción de energía utilizable de microalgas no debe ser parte de la energía más eficiente global del proceso global de producción de biocombustibles a partir de microalgas. El proceso de producción de biocombustibles de microalgas más eficiente en términos de energía podría consistir en un sistema de crecimiento que no tenga el máximo rendimiento, pero donde la biomasa de microalgas sea cosechada fácilmente, y donde el proceso de extracción de energía requiera la mínima concentración según el método de recolección de microalgas. (113)

Es probable que la cosecha de algas siga siendo un área de investigación muy activa. La experiencia ha demostrado que para todas las especies de algas es posible desarrollar un adecuado sistema de cosecha. Por otra parte, cada sistema de producción requiere un proceso de recolección óptimamente adaptado a las exigencias tanto del organismo, como a los pasos de procesamiento que sigan a la cosecha (95)

2.4.- Energía

Los métodos para extraer la energía de las microalgas, son los siguientes:

- Combustión Directa
- Pirolisis
- Gasificación
- Licuefacción
- Producción de hidrógeno por procesos bioquímicos en ciertas algas
- Celdas o pilas de combustible

- Fermentación a bioetanol
- Transesterificación a biodiesel
- Digestión Anaeróbica

La figura 37, es un resumen del tipo de energía que puede obtenerse, según los diversos métodos extracción de energía, junto con la necesidad de secado de la biomasa después de la cosecha y la capacidad para explotar toda la biomasa.

	UTILIZACION BIOMASA ORGANICA ENTERA	REQUIERE SECADO POSTERIOR A COSECHA	PRODUCCION PRIMARIA DE ENERGIA
COMBUSTION DIRECTA	SI	SI	Calor
PIROLISIS	SI	SI	Principalmente líquido por el flash pirólisis
GASIFICACION	SI	SI	Principalmente Gas
LICUEFACCION	SI	NO	Principalmente Líquido
BIO-HIDROGENO	SI	NO	Gas
CELDA O PILAS DE COMBUSTIBLES	SI	NO	Electricidad
BIOETANOL	NO	NO	Líquido
BIODIESEL	NO	SI (a)	Líquido
DIGESTION ANAEROBICA	SI	NO	Gas

(a) Ningún proceso comercial actual para el mojado transesterificación de biomasa de micro- algas mojada

Figura 37 – Métodos de extracción de energía de la Biomasa de algas – Fuente (73)

En el esquema de la figura 38, se muestran los procesos más relevantes para la transformación energética de la biomasa, las materias primas más importantes utilizadas en cada proceso y sus aplicaciones. Básicamente existen cuatro procesos básicos mediante los cuales la biomasa puede transformarse en calor y electricidad: combustión, gasificación, pirólisis y digestión anaeróbica. Los tres primeros, denominados genéricamente procesos termoquímicos, implican una descomposición térmica de los componentes de la biomasa, con oxidación de los mismos y liberación asociada de

energía en forma de calor en el caso de la combustión, o, la obtención de combustibles intermedios, como ocurre en la gasificación y en la pirólisis (117).

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico. La producción de biocombustibles líquidos para el transporte (biocarburantes) está asociada actualmente a procesos biológicos (fermentación alcohólica) y químicos (transesterificación).

Todas las tecnologías mencionadas para la conversión energética de la biomasa están siendo utilizadas a escala comercial, excepto la gasificación, la pirólisis rápida para obtención de aceites de pirólisis y la transformación a etanol de materiales lignocelulósicos. Describiremos brevemente cada uno de los procesos:

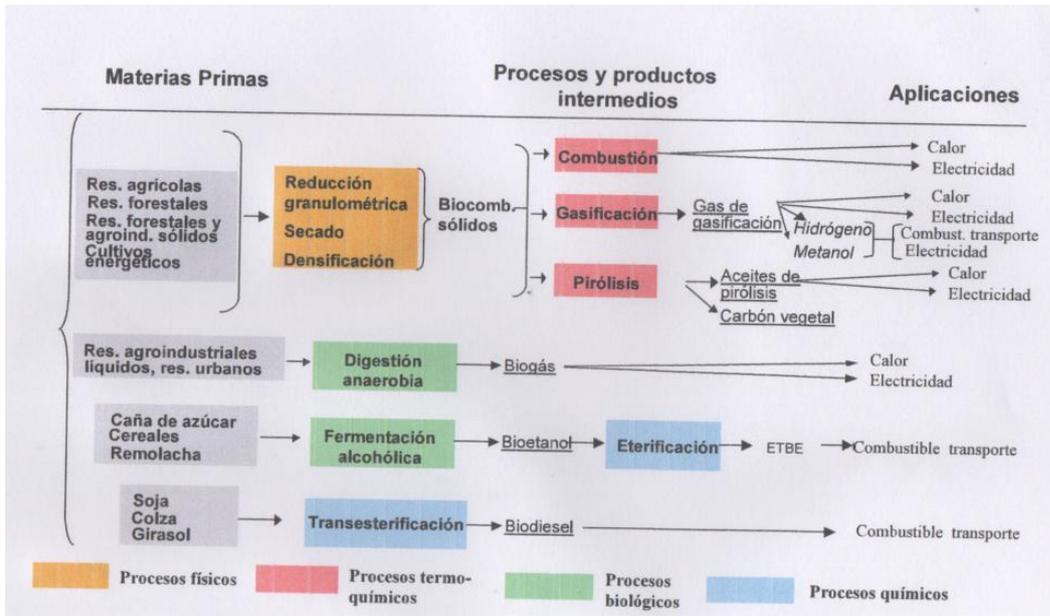


Figura 38: Procesos de conversión energética de la biomasa. Materias primas utilizadas y aplicaciones. Fuente: (117)

2.4.1.- Combustión Directa

La combustión es un proceso por el que la biomasa directamente o sus biocombustibles derivados son oxidados hasta dióxido de carbono y agua. La ecuación global de la reacción de combustión es la inversa de la fotosíntesis. El proceso se realiza

a altas temperaturas (800°-1000°), utilizado aire como agente oxidante e involucra una etapa instantánea inicial de pirólisis y otra de gasificación de la biomasa previa a la de la combustión propiamente dicha. (117)

La combustión de la biomasa transcurre con liberación de energía en forma de calor y los productos principales resultantes, como se ha mencionado, son el dióxido de carbono, agua (en forma de vapor a la salida de equipo de combustión) y las sales minerales contenidas en la biomasa empleada como combustible, además de relativamente pequeñas cantidades de óxido de nitrógeno y de azufre, así como de monóxido de carbono, partículas de carbono y otros productos orgánicos (hidrocarburos) resultantes de la combustión incompleta de la biomasa, denominados genéricamente “inquemados”. Las sales minerales junto con otros inquemados en muy pequeñas cantidades constituyen las cenizas del proceso que, bajo determinadas condiciones, pueden ser, en general, restituidas al suelo como fertilizantes. El resto de los productos secundarios mencionados, constituyen las emisiones gaseosas del proceso cuya minimización es necesaria a fin de disminuir el impacto ambiental producido por este proceso (117).

La eficiencia de la combustión directa para la producción de energía eléctrica es entre 20% a 40%, con eficiencias mayores en plantas de 100 MW y en la co-combustion de biomasa y carbón (118).

El contenido de humedad de la biomasa puede reducir el calor disponible en comparación con el que se obtiene a partir de biomasa seca en un 20%, y la combustión directa de la biomasa es factible sólo para la biomasa con un contenido de humedad de menos del 50 % (73). Plantas de biomasa grandes pueden ser tan eficientes como plantas de combustibles fósiles, pero el mayor contenido de humedad genera costos

adicionales (117). La biomasa de microalgas necesitará un considerable secado adicional después de la recolección antes de que pueda ser utilizada para la combustión directa. (117)

El contenido de cenizas puede ser un problema considerable en la combustión directa de la biomasa, debido a las incrustaciones en las calderas que restringen la biomasa utilizada de alto contenido de cenizas. La madera tiene un contenido de cenizas típica de 0,5 a 2%, pero el contenido de cenizas de microalgas puede ser alto: *Spirulina* tiene un contenido de ceniza de 7-10%, *Chlorella* aproximadamente 6%, *Isochrysis* 16%, (73) (119).

Este proceso, históricamente es el método principal de extracción de energía de la biomasa (118), no parece ser utilizado para la producción de energía en las microalgas. Utilizando este método de combustión directa en las microalgas, es posible producir calor y energía eléctrica. Sin embargo, el problema del secado de las microalgas junto con los desafíos de control de emisión de cenizas, puede hacer que la combustión directa en las microalgas sea poco práctica a escala comercial. (73)

2.4.2.- Pirólisis

La pirólisis es el proceso de degradación térmica que se realiza en condiciones de temperaturas relativamente bajas (entre 773 y 1073 K) (120), dando lugar a la formación de un residuo sólido rico en carbono (carbón) y una fracción volátil compuesta de gases y vapores orgánicos condensables (licor piroleñoso). La proporción de estos compuestos depende del método de pirólisis empleado, de los parámetros de proceso y de las características de la materia prima. La pirólisis de la madera ya fue también muy utilizada para la producción de carbón vegetal y posteriormente pasó a ser

usada a gran escala para la transformación de carbón en coque metalúrgico, aplicado principalmente en la fabricación de acero (121) La pirólisis produce combustibles con una alta relación combustible/alimento, convirtiéndolo por tal razón en el proceso más eficiente para la conversión de biomasa y en el método más capacitado de competir y reemplazar de forma eventual los combustibles fósiles no renovables. El bioaceite producido puede transportarse o almacenarse fácilmente y puede tener contenidos bajos de nitrógeno y azufre (dependiendo de la fuente). En este sentido, las microalgas parecen ser una materia prima particularmente prometedora debido a sus altas eficiencias fotosintéticas, producción de biomasa y tasas de crecimiento mayor que otras fuentes. (120)

2.4.2.1.- Métodos de pirólisis

Los procesos de pirólisis pueden ser clasificados de acuerdo a los tiempos y las temperaturas como se realizan: lenta, rápida y flash. El resultado de la pirólisis lenta es: mayores rendimientos de carbón que el producto líquido o gaseoso. El resultado de la pirolisis rápida está considerado como un proceso mejor que el de la pirolisis lenta, con temperaturas más altas y la capacidad de alcanzar mejor producto líquido y rendimientos de gas de aprox. 70%-80%, en comparación con 15%-65% alcanzado en el proceso lento. Las propiedades del bioaceite proveniente de la pirólisis rápida, parecen ser más adecuadas para refinar los combustibles líquidos. La pirólisis flash cubre una gama de nuevas tecnologías con temperaturas superiores a 500°C y tiempos de residencia cortos de unos pocos segundos o menos. El rango óptimo de reacción de la microalga *Chlorella* está cerca de las condiciones de una pirólisis flash. (73)

2.4.2.2.- La pirólisis en las microalgas

Hasta la fecha se han utilizado muchas variedades de biomasa para obtener biocombustibles líquidos mediante pirólisis, sin embargo, apenas se ha aplicado esta técnica a las microalgas. Actualmente, en la Universidad de Minnesota (EE.UU.) y en las Universidades de Nanchang y Fuzhou (China) están investigando la producción de bioaceite a partir de la microalga *Chlorella sp.* utilizando la pirólisis asistida por microondas. Esta presenta un fácil control y cuenta con la ventaja de que se produce un calentamiento interno uniforme de las partículas de la biomasa. Además, se caracteriza porque el bioaceite obtenido presenta un menor contenido de ceniza. En el estudio, con 750 W de potencia de microondas, se obtuvo un rendimiento máximo de bioaceite del 28.6%. Debido a ciertas propiedades físico-químicas, este bioaceite muestra mejor calidad que el bioaceite lignocelulósico y contiene un 22.18% de hidrocarburos alifáticos, aromáticos, fenoles, ácidos grasos de cadena larga y compuestos nitrogenados (122). El máximo rendimiento de bioaceite por pirólisis de *Chlorella* es de 50.8-57.9% del peso de la original biomasa seca (59). Los valores más altos de calor obtenidos de *Chlorella* y del bioaceite microalgal fueron de 23.6 MJ.kg y 39.7 Mj.kg (118).

La energía requerida para producir bioaceite por pirólisis de microalgas, sería similar a la estrecha gama de 200-400 kj.kg reportado en la literatura publicada para una amplia gama de materias primas de biomasa seca. El índice que muestra la relación de consumo de energía para la producción de bioaceite de microalgas por tratamiento termoquímico es de 0.44 a 0.63 para licuefacción hidrotérmica y 0.92 a 1.24 por pirólisis debido al requisito de evaporar la humedad antes de la pirólisis, indicando de nuevo que la pirólisis puede utilizar igual o más de la energía que es generada como biocombustibles. (73)

En Argentina, se ha realizado un estudio utilizando la técnica de pirólisis rápida, con una especie de microalga (algas diatomeas de la especie *Melosira varians* C. *Agardh*) para la generación de biolíquido que pueda ser utilizado como combustible o como fuente de compuestos químicos de interés. El material pirolizado fue el biolíquido obtenido a partir de la pirólisis de microalgas, con un upgrading previo, que posee un gran potencial para ser utilizado como mejorador de octanaje en naftas y como biocombustible obtenido a partir de fuentes renovables. (123).

2.4.3. Gasificación

Se denomina gasificación a un conjunto de reacciones termoquímicas que se produce en un ambiente pobre en oxígeno, a altas temperaturas (800°-1000°C) y que da como resultado la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles de ser utilizados en una caldera, en una turbina o en un motor, tras ser debidamente acondicionados. En el proceso de gasificación, la celulosa se transforma en hidrocarburos más ligeros, incluso en monóxido de carbono e hidrógeno (124) (125). Esta mezcla de gases llamada gas de síntesis o “syngas”, tiene un poder calorífico inferior (PCI) (4-6Mj m³) equivalente a la mitad del poder calorífico inferior del gas natural, y es una mezcla de hidrogeno (30-40%), monóxido de carbono (20-30%), metano (10-15%), etileno (1%), nitrógeno y vapor de agua (118). El agente gasificante es un gas, o mezcla de ellos, que aporta calor para iniciar las reacciones, y oxígeno (124) (66).

Los procesos de gasificación de biomasa convencionales requieren materia prima seca, pero el proceso de la gasificación en agua supercrítica es una tecnología de

gasificación alternativa para la conversión de la biomasa de alta humedad y se sugiere que puede ser de energía neta positiva en un sistema bien diseñado. (73)

2.4.3.1.- Gasificación de microalgas

Estudios de laboratorio sobre el proceso de gasificación en *Chlorella* seca, macro-algas y biomasa de musgo encontraron rendimientos del “syngas” (gas de síntesis) mayores para las microalgas que para la biomasa musgo y macro-algas, con los rendimientos de gas de síntesis de 40,6% del peso de la biomasa original y un contenido de hidrógeno de hasta el 48,7% en volumen (118). El rendimiento de gas de síntesis aumentó con el aumento de temperatura desde 302 hasta 652 ° C, de acuerdo con un reciente modelo de la cinética de gasificación de agua supercrítica que indica que temperaturas más altas favorecen la producción de compuestos intermedios. Desafortunadamente los datos presentados son insuficientes para calcular el rendimiento energético del gas de síntesis y los insumos de energía involucrados en el proceso. (126)

Una revisión reciente ha concluido que hay pocos datos disponibles sobre la gasificación de microalgas y en particular sobre el balance de energía y el necesario secado de las microalgas antes de la gasificación. Este trabajo respalda esta conclusión. Si la gasificación en microalgas se puede lograr con la biomasa húmeda, sería posiblemente más económica y energéticamente atractiva. (127)

La economía y el balance energético de la gasificación también podrían mejorarse reciclando los nutrientes en la biomasa de microalgas para el crecimiento de nuevas microalgas. Se ha encontrado que el nitrógeno recuperado de la fase acuosa después de la gasificación puede ser usado como parte del medio para que crezcan con éxito microalgas (73)

2.4.4.- Licuefacción y licuefacción hidrotermal

La licuefacción termoquímica es un proceso que puede utilizarse para convertir la biomasa de microalgas húmeda en biocombustible líquido, sin necesidad de realizar un secado previo de la biomasa. Es un proceso a bajas temperaturas (300-350°C) y elevada presión (5-20MPa) que necesita un catalizador en presencia de hidrógeno para producir bioaceites. Los resultados de las pocas investigaciones realizadas hasta la fecha, indican que podría ser una ruta susceptible de emplearse a nivel comercial para la conversión de microalgas en biocombustibles. (117). En la práctica parece que los términos licuefacción, hidrolícuación y licuefacción hidrotermal se utilizan para los procesos donde la biomasa húmeda se convierte en bioaceite por la temperatura y la presión en presencia de un catalizador, con y sin la presencia de hidrógeno gaseoso. El resultado de distintos estudios muestra que el bajo interés en la licuefacción es debido a los sistemas de alimentación más complejos y los costos más altos que en la pirólisis y la gasificación (117). Sin embargo, la licuefacción hidrotermal tiene la ventaja que realiza la conversión en un medio acuoso y el secado de la biomasa post cosecha no es necesario antes de la licuefacción y la licuefacción hidrotermal. La habilidad de los procesos hidrotérmicos para manejar biomasa húmeda hace de este método uno de los más interesantes en la producción de biocombustibles a partir de microalgas (73)

Dunaliella con un contenido de humedad de más del 78% ha sido tratada por licuefacción hidrotérmica a escala de laboratorio (20 gramos alga húmeda) produciendo aceite de 37 % basado en el contenido de sólidos volátiles de la microalgas biomasa, pero la licuefacción hidrotermal de la biomasa con un contenido de humedad por encima del 90 % muestra un balance de energía desfavorable (73).

Resumiendo los trabajos publicados sobre Licuefacción hidrotermal, (ver Figura 39) se muestra un alto rendimiento obtenido de bioaceite (~ 35 wt.%), que es un aceite altamente viscoso con relativamente alto contenido de nitrógeno (~ 5% en peso) y un HHV de alrededor de 35 MJ / kg (HHV igual al Valor de calentamiento es la cantidad de calor producido por una combustión completa del combustible y se mide como una unidad de energía por unidad de masa o volumen de la sustancia. Parece que las condiciones de funcionamiento óptimas para un máximo rendimiento son temperaturas entre 300 a 350 ° C y tiempos de 15 min. Sin embargo, las condiciones operativas son específicas del sistema. (128)

Reference	Algae Species	Temp. (°C)	Time (min)	Biomass conc. (%wt)	Max Bio-crude Yield (%)	Comments
Biller & Ross [76-77]	<i>Chlorella</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Nanno.</i> , <i>Proph.</i> , <i>CX68</i> , <i>Scene.</i>	300, 350	60	10	35	Effect of biochemical composition on bio-crude is discussed. High lipid >protein>carbohydrate favourable.
Brown et al. [72]	<i>Nannochloropsis</i> sp.	200- 500	60	5.5	43	Max oil yield at 350°C, 75% C in bio-crude and 90% total energy recovery.
Jena et al. [48]	<i>Spirulina platensis</i>	100- 380	0-120	10-50	40	Highest yields at 350°C and 60 min holding time
Vardon et al. [75, 78]	<i>Spirulina</i> , <i>Scenedesmus</i>	300	30	20	45	Focus on composition of bio-crude, compared to sewage sludge, swine manure and defatted algae. Algae found to be the favourable feedstock.
Yu et al. [58, 69]	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	200- 300	0-120	20	39	Max bio-crude yield at 280°C for 120 min
Anastasakis and Ross [59]	<i>Laminaria</i> <i>Saccharina</i>	250- 375	15-120	2-20	19	Max bio-crude yield at 350°C and 15 min
Zhou et al. [70]	<i>Enteromorpha prolifera</i>	220- 320	5-60	13	20	Max bio-crude yield at 300°C 30 min
Minowa et al. [63-66]	<i>Botryococcus braunii</i> , <i>Dunaliella tertiolecta</i>	250- 340	5-60	20	57	Yields of 57% for <i>B. braunii</i> and 37% for <i>D. tertiolecta</i>
Yang et al. [79]	<i>Microcystis viridis</i>	300- 340	30-60	5	28	30 min and 340°C suggested optimum operating conditions
Li et al. [80]	<i>Sargassum patens</i>	320- 380	5-90	3-17	32	Max yield at 340°C and 15 min, HHV of 27 MJ/kg
Yu et al. [58, 69]	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	200- 300	0-120	20	39	Max yield at 280°C and 120 min
Garcia Alba et al. [37, 71]	<i>Desmodesmus</i> sp	175-	5-60	7-8	49	375°C, 5 min max yield.
		450				Detailed analysis and discussion on cell wall ruptures, bio-refinery concept and oil characterization
Zou et al. [81]	<i>D. tertiolecta</i>	280- 380	10-90	10	25	Most severe conditions gave highest yield
Miao et al. [73-74]	<i>Chlorella sorokiniana</i>	220- 300	5-60	8-33	31	Two step sequential HTL with extraction of polysaccharides was investigated and gave promising results.

Figura 39 – Estudios en microalgas utilizando licuefacción sin catalítico: fuente: (128)

La capacidad de licuefacción de usar biomasa húmeda y de convertir la gran mayoría de la energía química en combustibles líquidos refinados, hace que sea un método digno de más estudio, pero la energía térmica necesaria para el proceso es el principal desafío. (73)

La licuefacción y la licuefacción hidrotermal pueden manejar biomasa húmeda eliminando la necesidad del secado después de la cosecha, pero el proceso es más complejo y tiene costos más altos que la pirólisis y la gasificación. Se necesitan grandes cantidades de energía para calentar y comprimir la biomasa húmeda y los procesos que requieren temperaturas más bajas como la digestión anaeróbica tendrán un menor consumo de energía y potencialmente mayor retorno de la inversión en energía. (73)

2.4.5.- Bio-Hidrógeno

El hidrógeno se considera un reemplazo particularmente atractivo de los combustibles fósiles, ya que su combustión produce vapor de agua en lugar de gases de efecto invernadero. Las pilas de combustible y otras tecnologías están disponibles comercialmente para explotar hidrógeno, y los vehículos que utilizan hidrógeno como combustible ya están en funcionamiento (por ejemplo Honda FCX). Aunque se cree que el hidrógeno comienza a pasar de ser un "combustible del futuro para ser un portador de energía del presente " el principal desafío sigue siendo la producción de hidrógeno renovable a un precio asequible y a un costo competitivo. (129)

La producción biológica de hidrógeno tiene varias ventajas sobre la producción de hidrógeno por procesos fotoelectroquímicos o termoquímicos. La producción biológica de hidrógeno por microorganismos fotosintéticos por ejemplo, requiere el uso de un reactor solar sencillo tal como una caja cerrada transparente, con

bajos requerimientos de energía. Para la producción de hidrógeno electroquímico, se requiere el uso de baterías solares con altas necesidades de energía. Ver Figura 40 (130)

Las eficiencias de conversión bajas de los sistemas biológicos se pueden compensar con los bajos requerimiento de energía y una reducción de los costos iniciales de inversión. Además, en experimentos de laboratorio, la eficiencia energética de conversión de luz solar fue de hasta el 7% y ha sido obtenida mediante un proceso fotoheterotrópico. La literatura muestra un esfuerzo sustancial de investigación dirigido a la modificación genética de microalgas, pero aunque esto puede superar los retos de los rendimientos en la producción y la inhibición de oxígeno, se pueden producir problemas en la contención y la percepción pública. (130)

Bajo ciertas condiciones, algunos grupos de microalgas y cianobacterias consumen energía bioquímica para producir hidrógeno molecular. Gaffron y Rubin informaron que un alga verde, *Scenedesmus*, produce hidrógeno molecular bajo condiciones de luz después de ser mantenido bajo condiciones anaeróbicas y a oscuras. Hydrogenase y nitrogenase son las dos enzimas capaces de producir hidrógeno. (130)

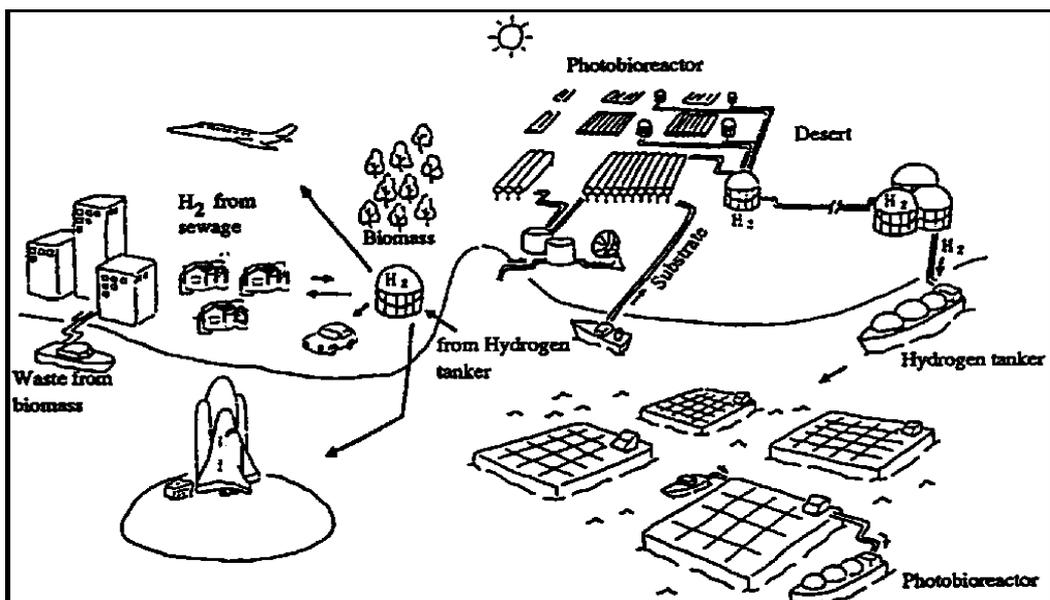


Figura 40 – Componentes de un sistema de producción de hidrógeno – Fuente: (130)

2.4.6.- Celdas o Pilas de Combustibles

La tecnología se conoce como **celdas de combustible microbianas** y está siendo perfeccionada en varios laboratorios alrededor del mundo. En el Reino Unido, se trabaja en el desarrollo de esta innovadora tecnología para obtener bioelectricidad a partir de **algas marinas**. Las celdas de combustible microbianas funcionan de modo muy semejante a como lo hacen las baterías que utilizamos en nuestra vida cotidiana, por ejemplo, para dar energía a nuestros celulares. En las pilas se produce un flujo de **electrones** que viaja a través de un agente químico. Estas reacciones electroquímicas son las que permiten que se proporcione energía a un dispositivo en forma de corriente. Existen **baterías alcalinas**, de ácido y de litio, entre muchas otras. (73) (131)

En el caso de las celdas de combustible microbianas, igual que en una pila tradicional, se producen electrones y se hacen pasar por un sistema de corriente. La ventaja en estos sistemas es que la corriente se puede producir continuamente, siempre y cuando el sistema se alimente con **biomasa**. En cambio, en las pilas tradicionales, una vez que la sustancia química se agota, las pilas tienen que ser desechadas. (73)

Una celda de combustible microbiana está compuesta por un ánodo, una membrana de intercambio de protones en medio, y un cátodo en el otro extremo. Por lo general, se tienen bacterias en condiciones anaeróbicas en el ánodo. Al añadir **glucosa** al sistema, los microorganismos, en este caso las algas, empiezan a consumirla y llevan a cabo sus actividades metabólicas como duplicarse y generar energía para sus propias funciones, ahí se generan electrones, protones y productos biológicos de desecho. (131)

Para la producción de bioelectricidad, la clave son los electrones que se producen. Normalmente los organismos los usarían para sus funciones vitales, pero en

estos sistemas, se capturan mediante un electrodo y se hacen pasar por un circuito que proporciona electricidad. Los únicos productos de desecho en este tipo de celdas son CO₂ y agua. (73) (131)

Las microalgas han sido utilizadas como fuente orgánica para la oxidación de las bacterias en el ánodo. Con plancton marino como sustrato, el 80% del carbono orgánico fue removido en la celda microbiana. Utilizando *Chlorella* como sustrato, fue removido el 60% de la demanda química de oxígeno, pero la conversión de energía química a energía eléctrica fue baja, entre 10 a 25%. La potencia máxima generada de células de combustible microbianas con oxidación de biomasa es actualmente sólo hasta 1 W.m² y sólo pudo producir la potencia equivalente a 3,8 toneladas. ha, considerablemente por debajo de la esperada de crecimiento de microalgas para la producción de biodiesel.

La energía proveniente de las células de combustible microbianas es baja y actualmente muchas veces menor cuando se utilizan microalgas, ya sea como un donante o receptor de electrones. Está claro que hay una necesidad de una mejora considerable en las eficiencias de las células de combustible de microalgas antes de que pueda ser considerado como una opción comercial para la explotación de microalgas para biocombustibles. Las pilas de combustible de microalgas, si tienen un futuro en la producción de biocombustibles de microalgas, puede limitarse a la explotación de oportunidades de producción de energía generados por su uso en conjunción con otros métodos de producción de biocombustibles microalgas, principalmente la digestión anaeróbica y la fermentación, donde las células de combustible de microalgas pueden tener la capacidad de dar aumentos adicionales en la producción de energía. (73)

2.4.7.- Bioetanol

El etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentran en la parte fibrosa la planta.(132)

El bioetanol mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión. El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5 o el 10 %, E5 y E10 que no requieren modificaciones en los motores actuales. Las principales fuentes actuales de producción de bioetanol a nivel mundial son: la Caña de azúcar, el Maíz, la Remolacha, el Sorgo dulce, y la Yuca. El etanol a base de caña de azúcar se clasifica como un biocombustible avanzado, mientras que el etanol a base de maíz no. (132)

Después de una caída significativa en 2012, la producción mundial de etanol en 2013 aumentó, sobrepasando los niveles de 2011 debido a los bajos precios de los cereales secundarios y el azúcar. Se supone que esta tendencia creciente prevalecerá durante el periodo de las perspectivas: la oferta de etanol mundial debe alcanzar cerca de 158 Mml para 2023 (Figura 41). Se prevé que los tres principales productores de etanol sigan siendo Estados Unidos de América, Brasil y la Unión Europea. (Figura 42) (132). Se espera que la producción de etanol en los países en desarrollo aumente de 45 Mml en 2013 a 71 Mml en 2023, con Brasil como principal causante de tal aumento en

la oferta. El creciente uso de etanol en Brasil está vinculado al requisito obligatorio de 25% de etanol en la gasolina, el desarrollo de la industria de combustible flexible y la demanda de importación de Estados Unidos de América para cumplir con el requisito avanzado de biocombustible.(132)

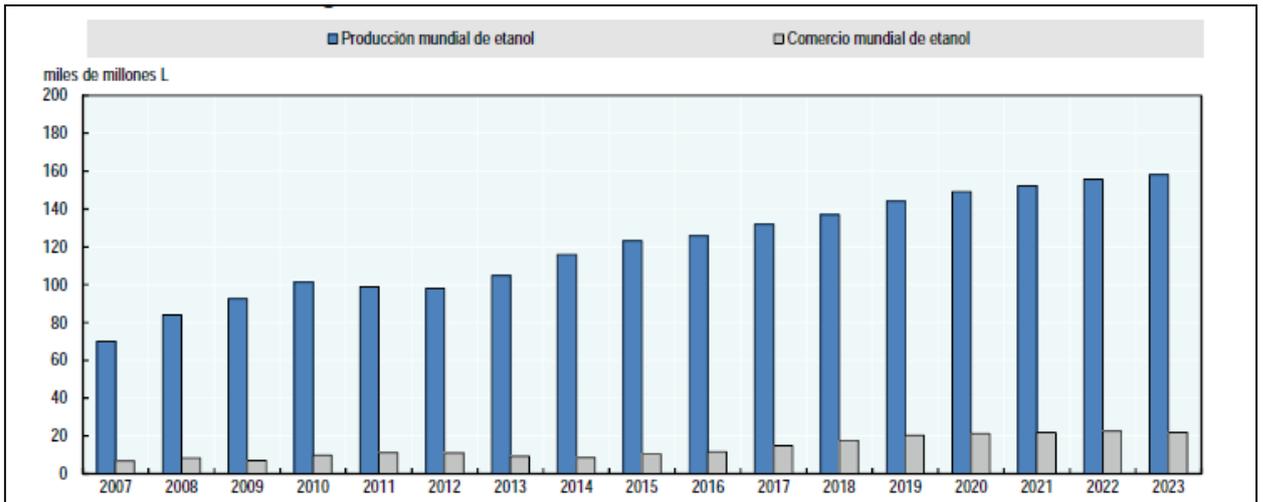


Figura 41 - Desarrollo del mercado mundial de etanol: Fuente: (133)

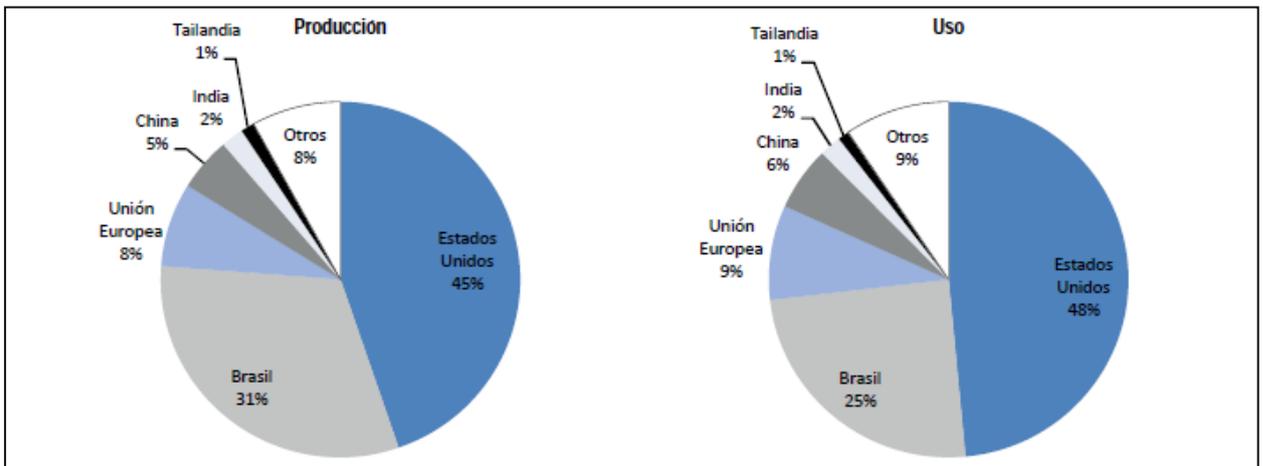


Figura 42: Distribuciones regionales y consumo proyectado al 2023. Fuente: (133)

El bioetanol parece tener un mejor desarrollo potencial que el biodiesel convencional. Sin embargo, presenta algunas desventajas: densidad de energía menor

que la gasolina, corrosividad, baja luminosidad de la llama, la presión de vapor más baja (haciendo el arranque en frío difícil), miscibilidad con agua, y la toxicidad de los ecosistemas. El balance de energía del etanol de maíz es probablemente marginal y en la actualidad, el bioetanol producido a partir de caña de azúcar en Brasil es el único ejemplo creíble de un biocombustible que exhibe una ganancia neta de energía significativa (73).

2.4.7.1.- Bioetanol de Microalgas

La fermentación alcohólica es la conversión biológica de materiales que contienen azúcares, amida o celulosa en etanol. Hay especies de algas con contenido de amida en más de un 50% en la materia seca. Adicionalmente, con las tecnologías de hidrólisis de celulosa y hemicelulosa esos componentes, también existentes en las algas, podrían aumentar aún más el contenido de sustancias fermentables. Las ventajas de las algas para esa finalidad, comparándose con otras biomásas, es que ellas no poseen lignina, haciendo el proceso hidrolítico más simple. Además de eso, la composición de las algas es generalmente más uniforme y consistente que de las plantas terrestres, por el hecho de no poseer raíces y hojas. La microalga *C. vulgaris*, por ejemplo, posee cerca de un 35% de su peso seco en amida y hay trabajos que registran una eficiencia por encima de un 65% de conversión en etanol. Adicionalmente, se podría usar el residuo de la producción del biodiesel como materia prima en esos procesos, el uso de algas como *Chlorella vulgaris* e *Chlamydomonas perigranulata*, que son capaces de producir etanol y otros alcoholes por la fermentación heterotrófica de la amida. Ese proceso es realizado por la producción y almacenamiento de la amida en el alga vía fotosíntesis, o por la nutrición del alga directamente con azúcar y subsecuentemente fermentación anaeróbica de esas fuentes de carbono para la producción de etanol en ausencia de luz. Por un lado,

como ventaja, ese proceso elimina las caras etapas de cosecha y post-cosecha de las algas. Por otro lado, la concentración de alcohol formado es baja, y por tanto, ese proceso solamente será viabilizado en caso de que se desarrollen técnicas de extracción directa de los alcoholes formados del medio de cultivo. Finalmente, se debe destacar que esa tecnología es un proceso fermentativo usando algas para la producción de etanol en sustratos como azúcar o amida. Por tanto, cuando se trata de cuestiones como competencia de Alimentos vs. Energía, no hay ninguna ventaja en relación a los procesos de 1ra generación utilizados actualmente. (134)

Parece que hay menos investigación sobre la producción de bioetanol que de biodiesel, pero se ha sugerido al bioetanol como uno de los tres principales objetivos para la futura producción de biocombustibles de microalgas. La fermentación de microalgas tiene la ventaja potencial de la explotación de toda la biomasa, si se encuentra un método económico que permita producir azúcares fermentables a partir de material orgánico complejo. Sin embargo, hay cantidades considerables de residuos de materia orgánica compleja procedentes de la agricultura que podrían potencialmente proporcionar un material de alimentación de menor coste para la fermentación de microalgas. (73)

2.4.8.- Biodiesel y Transesterificación

El biodiesel es una mezcla de esteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de recursos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales (ASTM 6751-09) (135). Esta definición también es aceptada por las especificaciones de la Unión Europea. Puede usarse en su forma pura o en mezclas con

diesel fósil. Las propiedades del biodiesel varían de acuerdo a la materia prima y entre las más sobresalientes y atractivas están su biodegradabilidad y no toxicidad, comparado con el diesel fósil. (27)

A partir de la biomasa cosechada, se extraen los aceites mediante diferentes procedimientos. Durante la extracción de lípidos, la biomasa de microalgas pre tratada, que puede estar en los siguientes estados físicos: concentrada o, concentrado perturbado o, como polvo seco, se expone a un solvente que extrae el lípido de la matriz celular. Excepto que se encuentre como polvo seco, en los otros estados contendrá cierta cantidad de agua residual. (136)

La extracción de los aceites de las microalgas, generalmente utiliza como solvente de extracción, un solvente orgánico o fluido super crítico (tal como CO₂ supercrítico) (118). Sin embargo, cada tecnología tiene sus ventajas y limitaciones (Ver Figura 43). A pesar de tener baja reactividad con los lípidos y siendo directamente aplicable a relativamente húmedo de materia prima, la extracción de disolvente orgánico es lento y utiliza una gran cantidad de disolventes caros / tóxicos. Por otro lado, la extracción de dióxido de carbono supercrítico es una tecnología “verde” que potencialmente se puede utilizar para la extracción de lípidos a gran escala de las microalgas. Es rápido, no tóxico, tiene una alta selectividad hacia acilgliceroles, y produce lípidos libres de solventes. Sus principales desventajas están asociadas con el alto costo de capital y la alta energía necesaria para la compresión de fluido supercrítico. Varios estudios han demostrado que la interrupción de las células de microalgas antes de la etapa de extracción de lípidos mejora la eficiencia de la extracción (137).

	Kates, 1986b (method for microorganisms)	Kates, 1986b (method for microalgae)	Guckert et al., 1988	Nagle and Lemke, 1990	Molina Grima et al., 1994	Lee et al., 1998	Fajardo et al., 2007	Halim et al., 2011
Microalgal species	N/A	Any	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Chaetoceros muelleri</i> and <i>Monoraphidium minutum</i>	<i>Isochrysis galbana</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	<i>Chlorococcum</i> sp.
State of microalgal biomass at the start of extraction	Concentrate (residual water content = 90 wt.%)	Concentrate	Dried powder by lyophilization	Concentrate (residual water content = 85 wt.%)	Dried powder by lyophilization	Concentrate	Dried powder by lyophilization	Concentrate (residual water content = 70 wt.%) or dried powder by thermal drying
Mass of dried microalgal biomass (g)	5 to 6	Not specified. Mass of wet paste = 1.5 g.	0.1	60	5	0.12	10	4
Organic solvents or organic solvent mixtures	Water/methanol/ chloroform (0.8:2:1 v/v/v)	Water/ isopropanol (1:5 v/v)	For Soxhlet: methylene chloride/ methanol (2:1 v/v). For batch extraction 1: chloroform/ methanol/50 mM phosphate buffer (35:70:28 v/v/v). For batch extraction 2, n-hexane/IPA/ distilled water (70:47.7:3 v/v/v).	1-butanol, ethanol, hexane/2-propanol (2/3 v/v), water/ methanol/chloroform as a control system	Chloroform/methanol/water (1:2:0.8 v/v/v), hexane/ethanol (1:2.5 v/v), hexane/ethanol (1:0.9 v/v), butanol, ethanol, EtOH/water (1:1 v/v), hexane/ isopropanol (1:1.5 v/v)	Chloroform/methanol (2:1 v/v), Ethanol hexane/isopropanol (3:2 v/v), dichloroethane/methanol (1:1 v/v), dichloroethane/ ethanol (1:1 v/v), acetone/ dichloromethane (1:1 v/v)	Hexane, hexane/ isopropanol (3:2 v/v)	
Amounts of organic solvent or organic solvent mixture added	76 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass	16 ml organic solvent mixture/ g concentrate	For Soxhlet: 1000 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass. For batch extraction 1: 1330 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass. For batch extraction 2: 1207 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass.	20 g organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass	76 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass	250 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass	5 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass	75 ml organic solvent mixture/ g dried microalgal biomass
Duration (min)	60	3	For Soxhlet: 180. For batch extraction 1: 2160. For batch extraction 2: overnight.	90	60	50	14-40	450
Degree of agitation (rpm)	Not specified	Not specified	For Soxhlet: N/A. For batch extraction 1: not specified. For batch extraction 2: not specified.	High (not specified)	Not specified, but stated to be constant	High (not specified)	500	800
Extraction temperature (°C)	25	50-60	For Soxhlet: not specified. For batch extraction 1: not specified. For batch extraction 2: room.	Near boiling point of each solvent (not specified)	25	Not specified	25	25
Maximum final total lipid yield (wt.% of dried microalgal biomass); the organic solvent or the organic solvent mixture to achieve it	N/A	N/A	11.9; Soxhlet with methylene chloride/methanol (2:1 v/v)	Not specified as results are expressed as efficiencies to a control system (assigned at 100%). 2nd Highest efficiency with 1-butanol at 94%	8.9; chloroform/methanol/water (1:2:0.8 v/v/v). 2nd Highest efficiency with ethanol at 8.0 wt.% of dried microalgal biomass	28.6; chloroform/ methanol (2:1 v/v)	6.3; ethanol	6.8; hexane/ isopropanol (3:2 v/v)

Figura 43: Métodos y Resumen de los estudios recientes sobre investigaciones sobre uso de solventes para la extracción de lípidos de las microalgas Fuente: (137)

Tras la extracción de lípidos, la mezcla resultante, que consiste en el solvente de extracción, el agua residual (sólo cuando la extracción se realiza en un estado físico distinto al de polvo seco), lípidos y restos de células, es sometido a un método de separación sólido -líquido, tal como filtración, para eliminar los restos celulares. Para eliminar el disolvente orgánico y el agua residual de los lípidos, se emplea un método de separación líquido – líquido, tal como la destilación, evaporación al vacío, o fase sólida adsorción disolvente. Cuando se utiliza una mezcla de disolvente orgánico no polar / polar, el agua residual se retira del disolvente de extracción y los lípidos a través de un método bifásico de separación y decantación. La separación líquido-líquido entonces remueve el solvente de extracción de los lípidos. Por otra parte, si se utiliza para la extracción fluido supercrítico la presión y la descompresión devuelven al solvente de extracción y el agua residual a su estado gaseoso y esto genera la precipitación forzada de lípidos, como tal, no se necesita ningún paso adicional para la eliminación del disolvente de extracción y el agua residual.(137)

Los lípidos aislados conforman el Total de lípidos (lípidos crudos) y generalmente contiene lípidos polares y lípidos neutrales no-acilglicerol (ácidos grasos libres, hidrocarburos, esteroides, cetonas, carotenos y clorofilas). Desde la perspectiva de la producción de biodiesel, cualquier porción bioquímica de non-acilglicerol es un contaminante y debe ser removido, (los apropiados para el biodiesel son los ácidos grasos libres y unidos covalentemente al glicerol y sus derivados) y es por eso que los lípidos crudos de las microalgas están a menudo sujetos a una etapa de fraccionamiento previa a la transesterificación. Para esto, se utilizan métodos tales como cromatografía líquida, precipitación con ácido, y cristalizaciones de urea. (137)

Durante la transesterificación (Ver Figura 44), las fracciones de lípidos que contiene ácidos grasos en los lípidos de crudo se hacen reaccionar con alcohol (metanol, etanol, propano, butano) y se convierte en ésteres de alquilo de ácidos grasos (Glicerol y alquil éster de ácidos grasos), conocido como biodiesel. Cuando se utiliza metanol, la reacción produce éster metílico del ácido graso (FAME) o biodiesel. Los catalizadores utilizados en la reacción pueden ser tanto un ácido (H₂SO₄ Acido Sulfúrico) como un álcali (NaOH Hidróxido de Sodio o KOH Hidróxido de Potasio). En la actualidad, la mayoría del biodiesel, es producido mediante transesterificación alcalina, a causa de su rapidez (estimados en 4.000 x más rápido) (55) (56) y condiciones moderadas que la caracterizan (137).

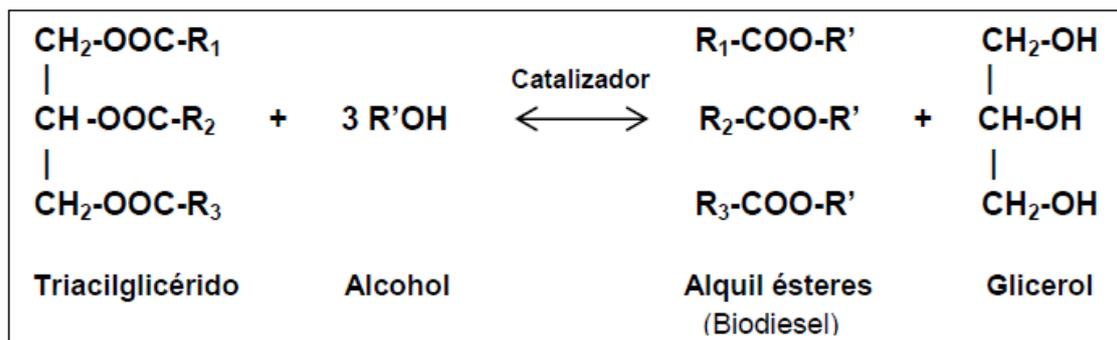


Figura 44 – Reacción General de transesterificación. R₁, R₂, R₃ son radicales alquilo. Los catalizadores pueden ser álcalis, ácidos o enzimas (lipasas) Fuente: (136)

Una vez que se ha completado la transesterificación, la mezcla de reacción que contiene: biodiesel, glicerina, catalizador alcalino reformado, el exceso de metanol, y los lípidos no-transesterificados, se someten a una purificación posttransesterificación para eliminar los subproductos contaminantes (Glicerol, catalizador alcalino, y el exceso de metanol). A escala de laboratorio, el método de purificación después de la transesterificación consiste típicamente en 2 pasos: Primero la mezcla de reacción se deja sedimentar por gravedad para inducir a un particionamiento bifásico (fase superior

de biodiesel / lípidos no-transesterificados y fase inferior de glicerol). Segundo, una vez que el biodiesel/lípidos no-transesterificados se separa por decantación, se lava repetidamente con agua para eliminar cualquier catalizador alcalino y el exceso de metanol. (136) (137).

El biodiesel obtenido a partir de microalgas necesita cumplir con estándares existentes según el país. En los Estados Unidos, el estándar relevante es el ASTM Biodiesel D estándar 6751. Y en la Unión Europea, existen estándares separados para el biodiesel destinado al uso del vehículo (EN estándar 14214) y para el uso como aceite de calefacción (EN estándar 14213). Por su composición, varios aceites de microalgas tendrían dificultad para cumplir con los estándares europeos de biodiesel. Se diferencian de la mayoría de los aceites vegetales en ser bastante ricos en ácidos grasos poli insaturados con cuatro más dobles enlaces. Pero este grado de insaturación y su contenido de ácidos grasos con más de 4 dobles enlaces se puede reducir por la hidrogenación catalítica parcial del aceite, que es la misma tecnología que se usa comúnmente en la fabricación de margarina a partir de aceites vegetales (35)

La extracción de energía de las algas en forma de biodiesel no parece ser energéticamente o comercialmente viable por sí misma y la digestión anaeróbica parece vital para cualquier proceso eficiente y económico para la producción de biodiesel a partir de algas (73). Se sugiere este proceso, posterior a la eliminación de lípidos para producir biogás con el fin de reducir el costo de producción de biodiesel en más del 40 %, (debido a la utilización de biogás para partes eléctricas del proceso de biocombustible de microalgas) (73)

2.4.9.- Digestión Anaeróbica

El proceso de formación del biogás consiste en la descomposición anaeróbica de la biomasa por la acción de bacterias (microorganismos acidogénicos y metanogénicos), formando el biogás, que es compuesto mayoritariamente por metano (50% - 70%) y CO₂. Ese gas puede ser colectado de los sistemas de degradación anaeróbica y utilizado como combustible (generación de calor o energía). Ese proceso es apropiado para materiales orgánicos con alto grado de humedad (80% - 90%), lo que lo volvería interesante para la biomasa de alga húmeda. El uso de esa tecnología de conversión elimina diversos obstáculos clave en los sistemas de producción, que son responsables por los altos costos asociados a los biocombustibles de algas, a saber: secado, extracción y conversión al biocombustible, pudiendo, de esa manera, ser económicamente viable. (134)

Las posibilidades de la digestión anaeróbica aplicada a la biomasa de microalgas se central en dos opciones:

- El uso de la digestión anaeróbica como ruta principal para la conversión de la biomasa de microalgas en biogas, cultivando y cosechando las microalgas para ser introducidas directamente en un digestor anaeróbico,
- El aprovechamiento de los residuos de microalgas, generados tras la extracción y aprovechamiento de los múltiples compuestos de alto valor añadido que estos microorganismos atesoran en su interior, para la producción de biogas.

En ambos casos, se produciría energía renovable y existiría la posibilidad de reutilizar el digerido como fuente de nutrientes para el cultivo de la nueva biomasa. Las primeras investigaciones sobre el aprovechamiento de la biomasa de microalgas para la producción de biogas mediante digestión anaeróbica se realizan a finales de los años 50,

por Golueke y Oswald. En su primera investigación, Golueke advirtió sobre las dificultades que podía entrañar la aplicación de este método en el régimen mesófilo y termófilo. De hecho, sobre una masa formada por las especies *Scenedesmus* y *Chlorella* observaron una baja biodegradabilidad y productividad de biogas en régimen mesófilo (35°), consecuencias de una baja actividad microbiana en los digestores. Sugirieron que esta baja biodegradabilidad podría deberse a: baja relación C/N de la biomasa, con la consiguiente producción excesiva de amonio que resulta tóxico para las bacterias responsables del proceso; inmunidad de las células de microalgas vivas al ataque y destrucción de las bacterias, impidiendo su degradación y conversión final a biogas; resistencia del alga en sí, aún estando muerta, al ataque bacteriano debido a su resistente pared celular. (138)

Posteriores estudios confirmaron que la pared celular de la microalga es un factor determinante en la resistencia de esta a la degradación. En varias especies de microalgas (*Staurastrum sp.*, *Pediastrum dúplex* y *Fischerella musciola*) encontraron que los compuestos responsables de la resistencia del alga en sí, eran hidratos de carbono complejos presentes en sus paredes celulares (138). Otro gran número de trabajos teniendo en cuenta la baja relación C/N de la biomasa de microalgas, combinan la biomasa de microalgas con sustratos de elevado contenido en carbono para equilibrar los nutrientes, reducir los problemas por toxicidad de amonio y aumentar la producción de biogas y metano. Finalmente, otras investigaciones tratan sobre la digestión de los residuos generados en procesos de extracción de compuestos de alto valor añadido como paso final en un concepto que se acerca a una biorefinería. (138) (73)

Una de las ventajas de cultivar microalgas para biocombustibles es que muchas especies se pueden cultivar en agua salada. Las bajas concentraciones de sal

pueden estimular el crecimiento microbiano, pero las altas concentraciones de sal (≥ 10 g/l) inhiben los sistemas anaeróbicos a través de un aumento de la presión osmótica o deshidratación de microorganismos metanogénicas. La toxicidad de la sal se determina predominantemente por el catión sodio y otros iones de metales ligeros, como el potasio, que también se ha encontrado que son tóxicos para los metanógenos en niveles altos. La actividad mesófila metanogénica se reduce a la mitad en 14 g Na l., nivel aproximado de sodio que se encuentra en agua de mar. Los digestores anaeróbicos pueden ser aclimatados a mayores niveles de sal si están expuestos continuamente a un aumento gradual de la concentración de sal, en lugar de golpes de sal. Se puede lograr la producción de biogás a partir de microalgas cultivadas en agua de mar. La investigación está siendo llevada a cabo en la Universidad de Southampton sobre el efecto de la concentración de sal en la digestión anaeróbica de varias microalgas. (73)

La digestión anaeróbica de microalgas, es relativamente simple, tiene el potencial para explotar todo el contenido orgánico de carbono de las microalgas y puede utilizar incluso biomasa húmeda. Es probable que desempeñe un papel principal en combinación con otros métodos y podría ser el mayor método para la producción de biocombustibles a partir de microalgas.

2.5.- Conclusión

Un reciente estudio sobre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), utilizando un enfoque para estimar los rangos de valores esperados encontró que casi la mitad de todos los resultados del ACV tenía una EROI (Tasa de Retorno Energético) de menos de uno (Figura 45). El estudio también mostró que es necesario utilizar la obtención de

metano proveniente de la digestión anaeróbica de algas desgrasada para las obtención de ganancias netas de energía y esto debe ser una parte integral del proceso de producción de biodiesel de algas para generar valores de EROI que sean mayores que uno (1), y de esta manera al menos acercarse a los retornos de los otros combustibles para el transporte. (Ver Capítulo 1 -1.2. - Recursos Renovables – Bioenergía)

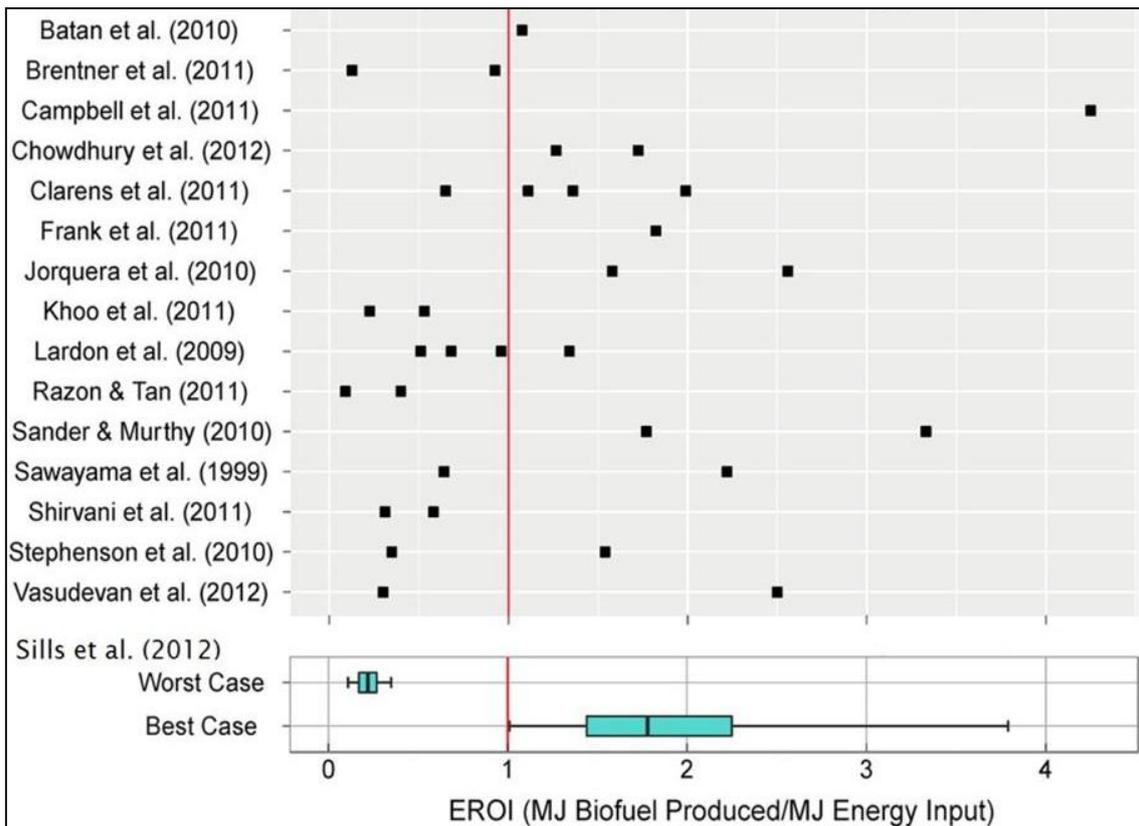


Figura 45 – EROI (Tasas de Retorno Energético) según diferentes estudios - Fuente: (139)

La producción de biodiesel de microalgas ha demostrado, en muchos estudios, una salida neta de energía negativa y donde hay una salida positiva, la misma depende de la disponibilidad de esa tecnología a nivel de escala industrial y / o a la explotación de la biomasa desgrasada para producir biogás a partir de la digestión anaeróbica. (73)

En relación al aumento de la biomasa y la productividad, varios informes indican que la principal oportunidad es en la investigación biológica, a través de la selección de cepas, la mejora genética y modificaciones en las algas. (40) (73)

Las tecnologías necesarias para la producción a escala industrial de biodiesel de microalgas se encuentran todavía en las primeras etapas de desarrollo. Hay una cantidad amplia de combinaciones de cultivo, cosecha y extracción de energía con las que puede obtenerse biocombustible de microalgas pero todavía no hay ningún sistema económicamente viable exitoso que lo produzca a nivel comercial.

Las investigaciones futuras sobre el biodiesel de microalgas deben centrarse en el desarrollo de un proceso de cosecha y extracción de lípidos efectiva y energéticamente eficiente (139).



Capítulo 3

Localización

3.- Localización

3.1.- Objetivo

El objetivo del presente capítulo es:

- Describir los recursos necesarios para la selección de la ubicación futura de una planta piloto de microalgas para producir biodiesel en Argentina.
- Seleccionar la ubicación para la instalación de una planta piloto de microalgas que produzca biodiesel en nuestro país.

3.2.- Recursos

El cultivo de algas es técnicamente viable en muchas regiones y para que esto pueda ser logrado en nuestro país, la ubicación real de la futura producción de biocombustibles de algas en Argentina, estará influenciada por numerosos factores económicos, jurídicos, políticos, físicos, y sociales (140).

Los sitios donde se pueden instalar sistemas de cultivo de algas se verán limitados por el costo de la tierra, la actividad agrícola, el valor ambiental y el valor cultural intrínseco del lugar considerado. También, el cambio de uso de la tierra podría crear un impacto ambiental significativo y preocupaciones de sostenibilidad. (140)

Los factores más importantes a considerar a la hora de seleccionar la localización para la producción de biodiesel de algas son: El clima óptimo, el terreno llano de baja altitud, la fuente de agua sustancial, y la proximidad a una fuente generadora de carbono (141). Las Figuras 46 y 47, muestran un resumen de los

parámetros que necesitan ser evaluados, si esperamos que sirva de base para realizar la producción a escala comercial.

Clima Local	Agua	Tierra
Radiación Solar	Localización	Topografía
Temperatura	Demanda y Oferta	Uso de la Tierra
Tasa de Evaporación	Salinidad	Propiedad de la Tierra
Clima Severo	Alocución	Tipo de Suelo y geología

Figura 46: Recursos de Tierra, Clima y Agua a considerar para la producción a escala de biodiesel de microalgas. Fuente: (49)

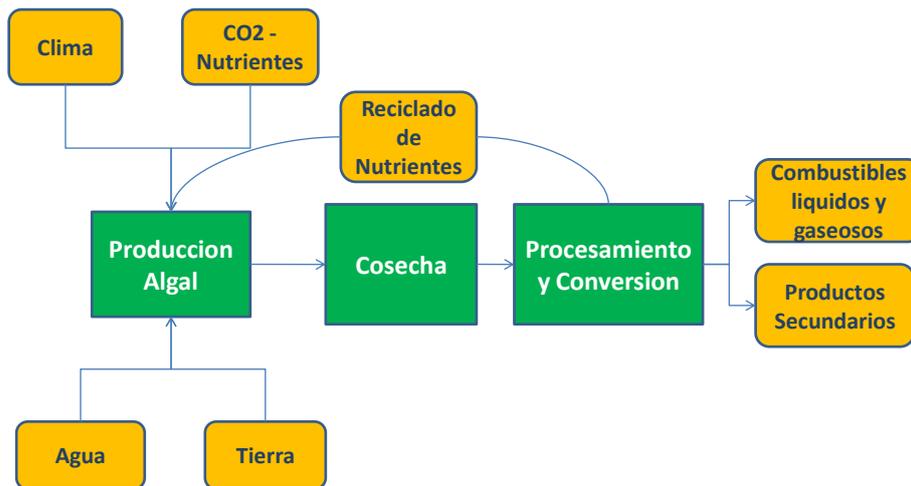


Figura 47: Recursos a considerar para la producción a escala de biodiesel de microalgas. Fuente: (142)

Para lograr el éxito de la producción de biomasa de algas a escala, el conjunto diverso de factores específicos del lugar (las tierras aptas, el clima, el abastecimiento de

agua y los suministros de nutrientes ambos de manera sostenibles) debe estar alineado en relación a su ubicación geográfica (31).

3.2.1.- Clima

Uno de los factores climáticos que afectan la producción de biomasa algal, es la radiación solar. Las algas, como las plantas terrestres, dependen de la luz solar para crecer. Sin embargo, las algas evolucionaron y son capaces de prosperar en un entorno con poca luz y en consecuencia han maximizado su aparato fotosintético. Mientras que las plantas de cultivo crecen óptimamente en plena luz del sol, la radiación solar alta puede inhibir el crecimiento de algas e incluso causar la muerte de la célula (140). Las Figuras 48 y 49 ilustran la suma anual de los promedios globales de irradiación solar durante el período de 1991 a 2010 a nivel mundial y 1999-2013 de Argentina. La radiación solar de 1.500 kWh/m²*y se considera adecuada para la producción de algas, lo que significa que la mayoría de la superficie terrestre parece ser potencialmente adecuada para la producción de algas (40). En el caso de la radiación solar, la relación entre insolación y productividad es todavía incierta. En la mayoría de los casos está determinado que las áreas con el promedio de las más altas insolaciones solares corresponden a aquellas áreas de temperaturas más altas, sin embargo, esta relación no está totalmente determinada (40).

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI)

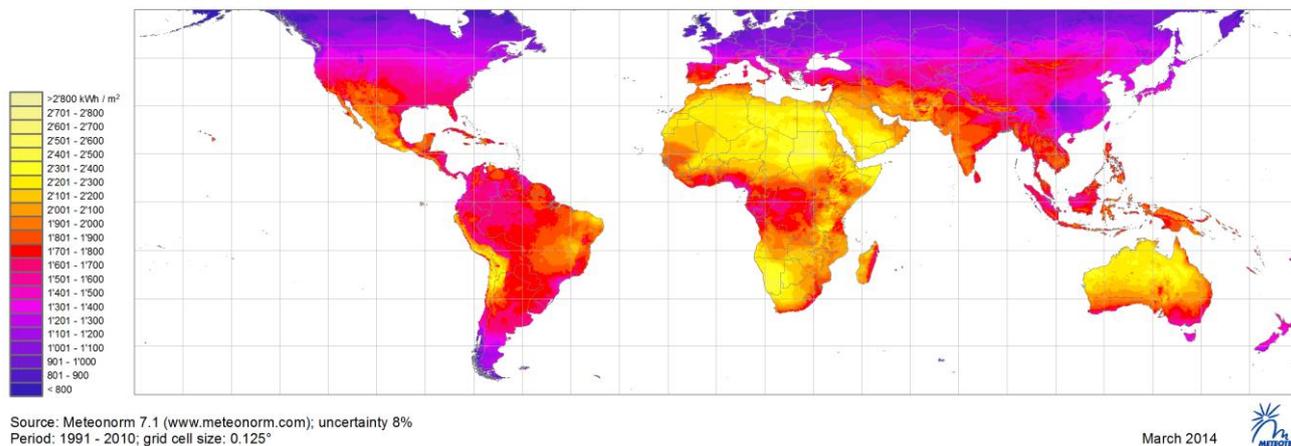


Figura 48: Radiación Solar Global Anual: Fuente: (143)



Figura 49: Radiación Solar Anual Argentina kWh/m² Periodos: 1999 – 2013- Fuente: (144)

Una mejor relación con la productividad de la biomasa microalgal es tener en cuenta los siguientes parámetros climatológicos: la Heliofanía (total de horas de brillo

solar por día), la temperatura media anual y los días anuales libres de heladas. Acorde a varios estudios, se recomienda utilizar como parámetro óptimo, la temperatura medio anual de 55 ° F (12.8 ° C) y un promedio de 200 días anuales libres de heladas (72). De todas maneras, el objetivo más importante de la producción de biomasa microalgal, es alcanzar la mayor eficiencia de conversión solar, que solo es alcanzada superando el efecto de saturación de la luz, que es un objetivo de investigación en curso (72).

Generalmente, todas las especies de plantas crecen bien cuando están expuestas a un rango estrecho de temperaturas, definido por la adaptación al ecosistema de la que derivan. Debido a las diferencias en la capacidad del calor, la conductividad térmica del aire y del agua, variaciones ligeras en la temperatura ambiente tienen diferentes efectos en las algas y en las plantas terrestres. Las plantas terrestres que crecen en el aire son inmediatamente sensibles a las fluctuaciones en la temperatura del aire y por eso, a veces se producen consecuencias desastrosas para la agricultura (por ejemplo, la intolerancia de la caña de azúcar a las heladas). Las algas suspendidas en el agua son menos sensibles a las fluctuaciones de la temperatura del aire, debido a que la temperatura del agua es una función del calor solar, las pérdidas por evaporación y otros factores del proceso en estanques abiertos. Sin embargo, una vez que las condiciones climáticas dirijan la temperatura del agua en estanques abiertos fuera del rango fisiológico necesario para el crecimiento, la productividad decaerá, o se generarán especies de algas invasoras. En consecuencia, mientras que la temperatura tiene un efecto directo sobre la tasa de crecimiento, rangos de temperaturas ambiente o el clima, define la estación de crecimiento efectivo para un sistema de producción de algas. (140)

Aunque las algas sobreviven en un amplio intervalo de temperaturas, cada cepa tiene un rango de temperatura especial para una máxima productividad. La gama de

temperaturas que generan la máxima productividad es en la actualidad incierta (40). Sin embargo, diversos estudios arrojan que la temperatura ambiente promedio por debajo de 15 ° C tiende a ser desfavorable para el logro de alta productividad (31) (72). Por ende, las zonas climáticas favorables se encuentran en su mayoría entre los 37 ° latitud norte y sur e incluyen muchos de los países en desarrollo en el centro de África, las Américas y Asia del Sur. (Ver Figura 50 – zonas incluidas en recuadro azul)

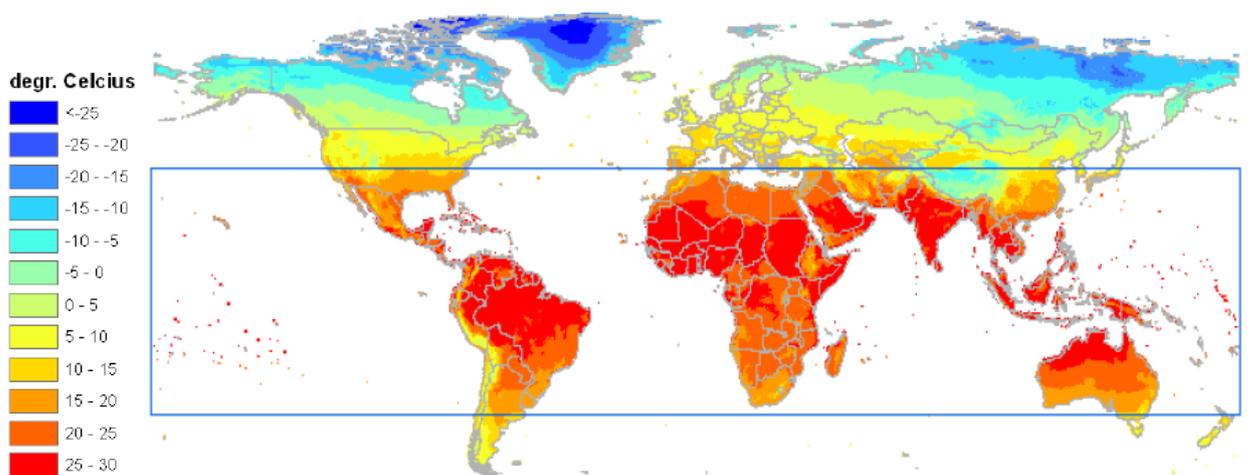


Figura 50: Zonas de temperatura proyectadas para ser aptas para la producción de biocombustibles de algas como materia prima correspondiente a una temperatura promedio anual de 15 ° C. Fuente: (49)

Acorde a lo mencionado en el párrafo anterior, varias de las zonas del centro y norte de nuestro país, cuentan con temperaturas óptimas para la producción de biomasa microalgal (Ver Figura 51) aunque debemos realizar consideraciones adicionales: las altas temperaturas también son una preocupación en determinadas áreas donde la productividad de las algas disminuye con temperaturas superiores a los 35 - 40° C (40).

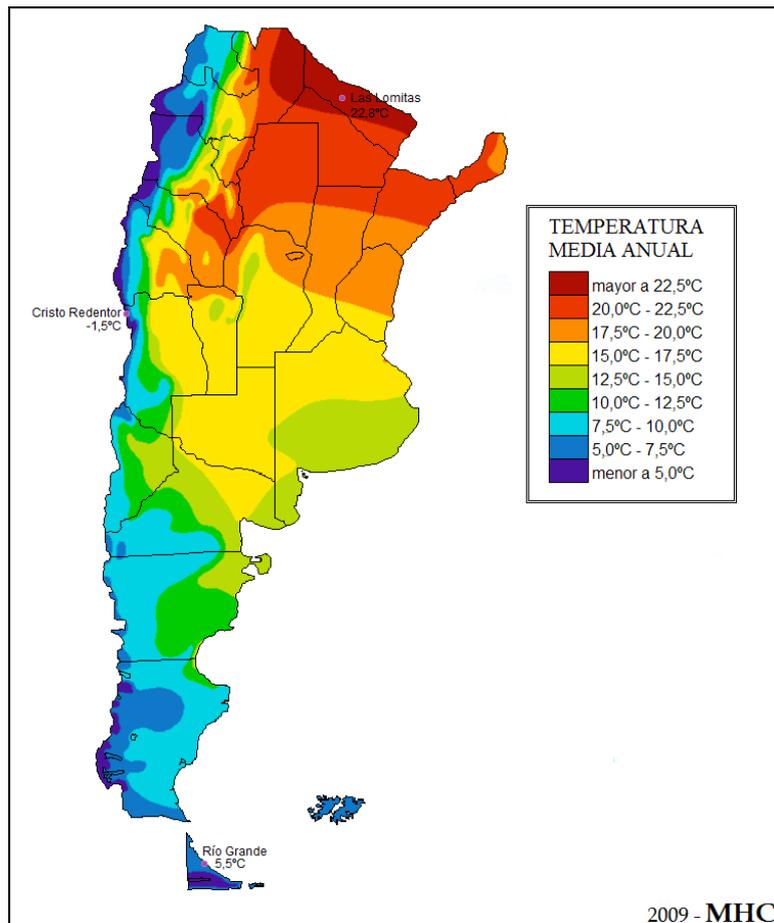


Figura 51: Temperatura Media Anual – República Argentina – Fuente: (145)

Los parámetros considerados para un primer nivel de análisis en este proyecto son: las temperaturas medias anuales, la heliofanía y los días libres de heladas.

Las graves condiciones climáticas, tales como granizo, tornados y tormentas ciclónicas dañan la infraestructura. A nivel mundial, los ambientes secos tropicales, con baja probabilidad de este tipo de fenómenos meteorológicos de mal tiempo, son los más adecuados para la producción de algas anual. Tal requisito climático pone más limitaciones en el área de la tierra más adecuada para el año si queremos utilizar los sistemas de producción a gran escala de estanques abiertos. (140).

La evaporación es otro factor importante a considerar, y más aún en la producción de biomasa microalgal en estanques al aire libre, como será en el caso en estudio. La misma, es producto de sobre todo, la temperatura del aire, el viento y la humedad relativa. Representa la cantidad de metros de agua que se pierden en el suelo. Es importante para calcular la cantidad de agua que debe ser reincorporada diariamente. Una tasa diaria de evaporación en el rango de 0.08pulgadas-1pulgadas (2.032mm – 25.4mm) se considera razonable (146). La evaporación de los piletones se estima a partir de la evaporación estándar a la cual se le deben aplicar algunos factores de corrección (por ejemplo, para la humedad, velocidad del viento, etc.). Sin embargo, los estanques de algas no son depósitos, son mucho menos profundos y son mezclados mecánicamente, y por lo tanto se espera que tengan tasas más altas de evaporación. (72). Sin embargo, en estudios recientes, se ha demostrado que el análisis y el manejo de la salinidad a nivel laboratorio, se puede llevar a nivel de producción industrial a gran escala a través de la fotosíntesis de microalgas en áreas con fuertes desequilibrios atmosféricos de agua, permitiendo la explotación de zonas áridas y el uso de agua de mar como el principal componente de medio de crecimiento. Según estos estudios a nivel laboratorio, y con apropiados cambios en la tasa de evaporación, se aplicará a cualquier forma de estanque abierto con mezcla forzada (147). Respecto a nuestra tesis, y teniendo lo mencionado anteriormente, una vez seleccionadas las principales locaciones que concuerdan con las mayorías de los parámetros, se requerirá al INTA las tasas de evaporación de las mismas.

3.2.2.- Agua y nutrientes

Para la producción de biocombustible de algas, el suministro fiable, continuo y económico de agua, es crítico. El agua es necesaria para el crecimiento de las algas, para

compensar la pérdida de agua por evaporación y por la purga (40). Actúa como regulador térmico y provee el medio para los nutrientes esenciales: Dióxido de Carbono (CO₂), Nitrógeno (N), Fósforo (P) y otros nutrientes menores (49). Para la producción de algas desde el punto de disponibilidad y la sostenibilidad a largo plazo del suministro de agua soporte, es preferible un promedio de precipitación media anual de más de 40 pulgadas o sea 1016 milímetros anuales (81)

Uno de los factores importantes que establecen las algas en sus mecanismos biológicos en relación a otros cultivos terrestres, es la capacidad para utilizar el agua de mala calidad, no apta para la producción agrícola, lo que generalmente significa aguas salobres (que es posible requieran un pre-tratamiento si alguno de sus constituyentes químicos inhiben el crecimiento del alga), aguas residuales municipales, industriales y agrícolas que permiten desarrollar un sistema de producción de microalgas a bajo costo. (40)

La producción de biomasa de algas, puede generar ingresos provenientes del tratamiento de aguas residuales, mejorando el tratamiento de efluentes convencionales, fijando CO₂, siendo medio para el cultivo de algas para la producción de biocombustibles, por ser organismos unicelulares fotosintéticos que captan luz solar, CO₂ y nutrientes del medio para producir biomasa. Las microalgas consumen los nutrientes inorgánicos (principalmente P y N) y desplazan microorganismos patógenos mediante competencia entre especies por los recursos. Estos nutrientes, necesarios para la generación de biomasa, son provistos en una proporción mayor o en un todo por el medio (agua) y en una proporción menor por medio de una fuente exógena (81). La cantidad de nitrógeno en las aguas residuales humanas es de aproximadamente 3 kg de

nitrógeno por año en el área geográfica seleccionada. Aunque esta cifra está un poco afectada por la composición de los alimentos y por lo tanto es específica de cada región, es un valor globalmente válido e incluso conservador. Se traduce a un potencial de 30 kg de biomasa de algas per cápita por año o por aproximadamente 3.000 personas por hectárea de estanques de tratamiento, asumiendo 100 toneladas de productividad / ha / año, basado en el hecho de que los niveles medios de nitrógeno en la biomasa sería de alrededor 9%. Esto es generalmente similar a las tasas de carga (personas / ha) de estanques de aguas residuales actuales (lagunas facultativas), que sin embargo sólo reducen DBO pero no logran remoción de nutrientes. En general, hay suficiente fosforo presente para hacer que el Nitrógeno sea el nutriente limitante. Para una escala mínima de 10 hectáreas de estanques de algas, los sistemas de alcantarillado de aguas residuales tendrían que recoger los desechos de una población de cerca de 30.000 personas. (72).

Las ventajas del aprovechamiento de aguas residuales como recurso en la producción de biocombustibles de algas son (40) (148):

- El agua es producida en cantidades sustanciales y se colecta en un solo lugar
- Contiene suficiente Nitrógeno (N) (30 a 40 mg/L), Fosforo (P) (5 a 10 mg/L) y otros micronutrientes para producir grandes cantidades de biomasa.
- Contiene cantidades suficientes de Carbono (C) necesarias para el crecimiento de las algas.
- Hay un pequeño ingreso adicional por el tratamiento indirecto de aguas residuales

- Los beneficios obtenidos de la reducción de los gases de efecto invernadero son varias veces las de los biocombustibles, debido a la reducción en el uso de energía en comparación con los procesos convencionales de tratamiento.

3.2.3.- Dióxido de Carbono

La biomasa de microalgas contiene aproximadamente 50% de carbono en peso seco (149). Todo este carbono se deriva típicamente de dióxido de carbono. La producción de 100 toneladas de biomasa de algas fija aproximadamente 183 toneladas de dióxido de carbono. El mismo, debe ser alimentado continuamente durante las horas del día (150). Una variedad de fuentes de CO₂ industriales pueden ser proveedoras de fertilizante a las algas. Instalaciones de conversión de biomasa a gran escala, como las biorefinerías de etanol, también generan emisiones con un alto contenido de CO₂ y podrían ser adecuadas para la captura del mismo (140). Sin embargo, las diversas fuentes antropogénicas tales como Plantas industriales, Químicas, Refinerías, Plantas procesadoras de Petróleo y Gas Natural así como Cementeras (81) difieren en sus concentraciones de CO₂ y de otras moléculas contaminantes, y estos atributos, así como la temperatura del gas y el volumen de producción, influirán en el diseño de los sistemas de entrega de CO₂ a los estanques. Los gases provenientes de las centrales de combustibles fósiles por lo general tienen una alta concentración de CO₂, que va desde 10% a 20%, pero contienen también cantidades biológicamente significativas de nitrógeno y óxidos de azufre (NO_x y SO_x) (151). Estudios recientes han demostrado que la inyección directa de los gases de combustión en estanques aumenta la productividad de la biomasa en un 30% en comparación con la inyección directa de una concentración equivalente de CO₂ puro (152).

Localizar los piletones cerca las fuentes de CO₂ provee ventajas en el ahorro de costos y energía. Esta integración de la planta de microalgas con la planta generadora de Dióxido de carbono, también reduciría los costos de transporte del gas, produciría calor residual proveniente de la planta generadora de CO₂, que se podría utilizar para darles calor a los piletones en invierno, y generar créditos por carbono. Asimismo como desventajas, podemos decir que situar cerca la planta de microalgas y la fuente de CO₂ puede ser problemático, dependiendo de la disponibilidad de tierra y el clima del lugar (151). Adicionalmente, la captación de CO₂ por la biomasa, no es factible en la oscuridad. (151)

La utilización parcial del dióxido de carbono que se libera en las plantas de energía por la quema de combustibles fósiles generará una disponibilidad a un costo muy bajo o se obtiene sin costo alguno. (150)

El la Figura 52 se detalla la potencia instalada nominal unificada al SADI en nuestro país por equipos de generación y regiones eléctricas al 31 de diciembre de 2013; y en la Figura 53 se presenta la distribución porcentual de esa potencia instalada para igual fecha, notar el porcentaje de energía proveniente de tecnologías instaladas en las centrales térmico-fósil (153) .

Área	TV	TG	CC	DI	TER	NU	FT	EO	HID	TOTAL
CENTRO	200,0	510,8	547,3	71,8	1.329,9	648,0	-	-	917,6	2.895,5
COMAHUE	-	207,9	1.282,5	73,3	1.563,7	-	-	-	4.680,7	6.244,4
CUYO	120,0	89,6	374,2	-	583,8	-	6,2	-	1.070,7	1.660,7
GBA-BA-LIT	3.820,2	2.045,5	5.984,0	423,6	12.273,3	363,0	-	0,3	945,0	13.581,6
NEA	-	59,0	-	242,3	301,0	-	-	-	2.745,0	3.046,0
NOA	301,0	1.001,0	829,2	262,6	2.393,8	-	2,0	25,2	217,2	2.638,2
PATAGONIA	-	160,0	188,1	-	348,1	-	-	139,3	518,8	1.006,2
G. MÓVIL	-	-	-	330,0	330,0	-	-	-	-	330,0
TOTAL MWe	4.441,0	4.073,8	9.205,3	1.403,6	19.123,9	1.011,0	8,2	164,8	11.095,0	31.402,6
TOTAL %	14,1	13,0	29,3	4,5	60,9	3,2	<0,1	0,5	35,3	100,0
Variación Porcentual 2013-2012					1,8	0,6	n/a	47,1	-0,5	1,1
Variación Porcentual 2013-2003					44,5	0,6	n/a	n/a	16,3	32,1

Figura 52: Potencia instalada nominal unificada al SADI por equipos de generación al 31 de diciembre de 2013 y variación porcentual respecto a los años 2012 y 2013 (en MW instalados y %) TER: Turbinas de gas (TG), turbinas de vapor (TV), ciclos combinados (CC) y motores diesel (DI). También participan centrales nucleares (UN), equipos eólicos (EO), solar fotovoltaicos (FT) y represas hidroeléctricas (HID). G. Móvil significa Generación Móvil de equipo DI. Fuente: (153)

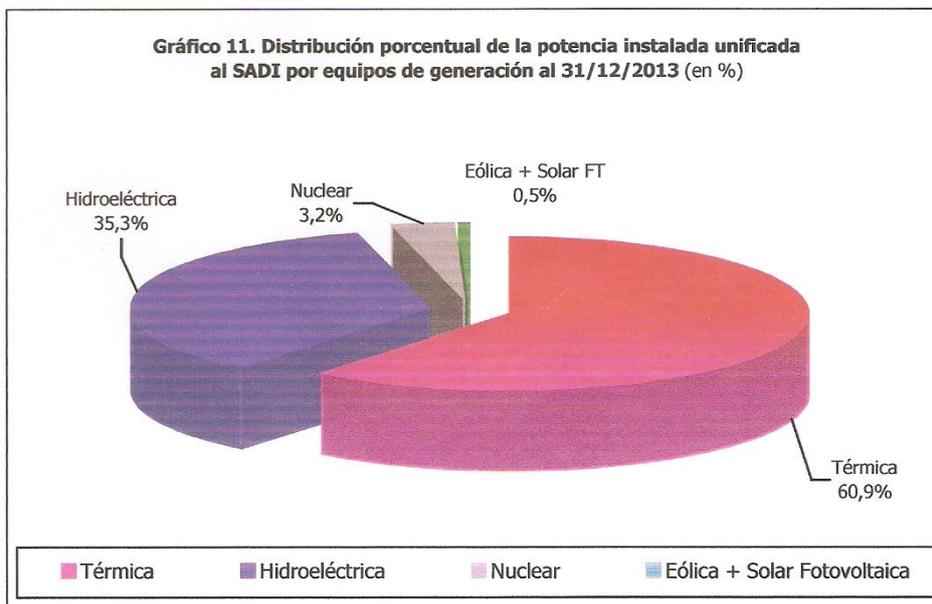


Figura 53: Distribución porcentual de la potencia instalada unificada al SADI por equipos de generación al 31/12/2013(en %) (153)

La figura 54 informa los parámetros necesarios de a Agua y Nutrientes para una instalación de producción de biomasa de algas, sobre la base de una composición de la biomasa en base a carbono, nitrógeno, y fósforo, así como productividades en el proceso de producción a corto y largo plazo.

Parámetro	Biomasa seca	Observaciones/Referencias
Composición de Biomasa de Algas	45-50% C, 4-10% N, y 0,3-1,2 % P	El contenido de C y N depende del contenido de aceite del Alga. Contenido de P en el suministro
Agua, Agua de tratamientos industriales/cloacales	2,5 m ³ agua de tratamiento residual por kg de biomasa seca de algas	Asumiendo 40 g m ⁻³ N, típicamente en aguas residuales cloacales/industriales
Utilización de CO₂	2,0 kg CO ₂ per kg de biomasa seca de algas 0,7kg CO ₂ m ³ aguas residuales	Utilización global 90 % CO ₂ (captación en la biomasa de algas / alimentado al sistema)
Productividad de la biomasa Algal	Productividad anual 50-100 Mg ha ⁻¹ , 20-40 % contenido de aceite	Actualmente alcanzable en productividades futuras proyectadas
Energía y Productos	240 kg CH ₄ /mt de residuos de algas por digestión anaeróbica (660 m ³ biogás) 10 kg P y 100 kg N por tonelada de residuo de algas por digestión anaeróbica de residuos	Asumiendo 70 % asimilación de material orgánico en digestor anaeróbico Obtenida como solución reciclada de nuevo a los estanques de crecimiento
Mitigación CO₂ por la utilización	1,35 kg CO ₂ per kg biomasa de algas procesada en digestión anaeróbica	Incluye 3,5 kg de CO ₂ /kg de N reciclado en la biomasa de Algas

Figura 54 cont. – Recursos típicos necesarios para una Planta de producción de biomasa de algas. Fuente (40)

3.2.4.- Recurso Tierra

La disponibilidad de la tierra para la producción de biomasa microalgal, está influenciada por factores físicos, sociales, económicos, legales y políticos (142). Ver Figura 55

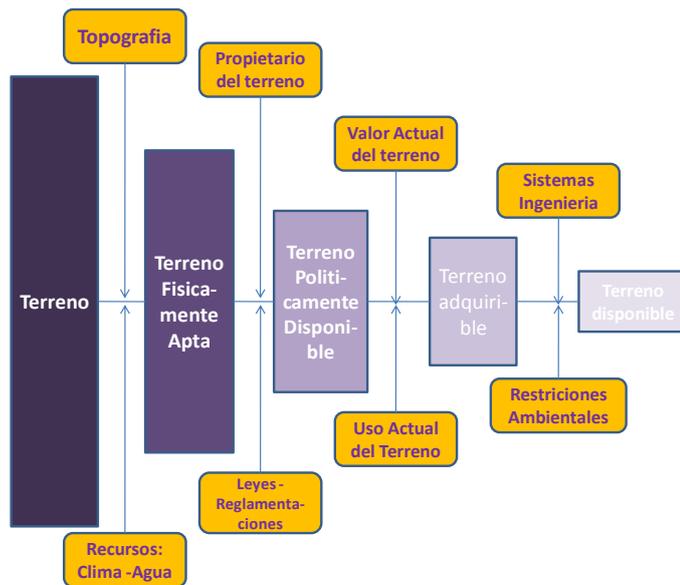


Figura 55: Factores y pasos del proceso para evaluar la tierra disponible y adecuada para la producción de algas. Fuente (142)

En cuanto a la superficie, la producción potencial de biomasa de algas requiere mucha menos tierra que la necesaria para producir biocombustibles a partir de otros cultivos de materias primas. Las necesidades de tierra para la producción potencial de biocombustibles de algas son potencialmente de 1-2 órdenes de magnitud menor que cualquier biocombustible basados en cultivos, ya sea basados en el rendimiento volumétrico o en el rendimiento energético por unidad de superficie (28) (49)

Plant Source	Seed Oil Content (% oil by weight in biomass)	Oil Yield (L oil/ha year)	Land Use (m ² year/kg biodiesel)	Biodiesel Productivity (kg biodiesel/ha year)
Soybean (<i>Glycine max</i> L.)	18	636	18	562
Camelina (<i>Camelina sativa</i> L.)	42	915	12	809
Canola/rapeseed (<i>Brassica napus</i> L.)	41	974	12	862
Sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.)	40	1,070	11	946
Microalgae (low oil content)	30	58,700	0.2	51,927
Microalgae (medium oil content)	50	97,800	0.1	86,515
Microalgae (high oil content)	70	136,900	0.1	121,104

Figura 56: Comparación de los rendimientos de Aceite y requerimientos de uso de la Tierra de microalgas con otros cultivos agrícolas utilizados para realizar biodiesel. Fuente: (28) (49)

Futuros descubrimientos acerca del contenido de aceite de algas y la productividad por área (kg / ha por año) del cultivo de algas permitirán disminuir aún más la cantidad de tierra necesaria para producir una cantidad dada de biocombustible líquido (154)

Respecto a los requisitos físicos, los mismos están relacionados, con el tipo de tierra y la pendiente. Considerando que el lugar a seleccionar podría ser a futuro un lugar de producción a escala, los terrenos deben ser casi planos, con arcillas o similar suelos de baja permeabilidad (40). Los sitios candidatos deben estar al mismo nivel o casi nivelado (menos del 5% de pendiente (155)) ya que seleccionar un suelo con terrazas implicaría necesitar gastos importantes para el movimiento de tierra para la construcción de los estanques. Una gran pendiente haría también requerir costos de bombeo adicionales para el abastecimiento de agua y el reciclaje. (40)

La información correspondiente a quien es el propietario de la tierra, proporciona datos valiosos sobre la manera en que las partes interesadas y las leyes/reglamentaciones podrían afectar el desarrollo del proyecto. Tierras de propiedad pública y privada están sujetas a un uso variable, contratos de arrendamientos, y

requisitos de compra. La propiedad de la tierra puede representar e imponer restricciones políticas y reglamentarias sobre la disponibilidad de tierras (155) (156).

El costo de la tierra es otro factor a considerar. El mismo está relacionado a la ubicación, los usos alternativos y la propiedad. En las grandes compañías de Estados Unidos, las instalaciones se encuentran en zonas áridas y con menor densidad de áreas pobladas, tierras de baja fertilidad, los recursos limitados de agua y generalmente pobre acceso e infraestructura (fuentes de alimentación, carreteras, etc.) (40)

El uso de la tierra y el valor de la misma afectan la capacidad de adquirirla. Mediante la revisión de los análisis económicos más recientes para la biomasa de algas y la producción de petróleo proyectada, el costo de la tierra a menudo no se considera o es relativamente pequeño en comparación con otros costos de capital. La tierra que es muy conveniente para el desarrollo y otros contratos reservados por razones públicamente beneficiosos no puede ser vista como adecuada para la producción de algas. Lo mismo se aplica a la tierra de mayor valor adecuada para uso agrícola. (40)

Las restricciones de tipo ambiental o cultural también reducirán la disponibilidad de tierras general (156). Ejemplos de este tipo de restricción incluyen parques, monumentos, áreas de vida silvestre, sitios arqueológicos y otros sitios históricos. Por otra parte, algunas de las características de cobertura del suelo podrían presentar oportunidades excelentes para el cultivo de algas. (155)

En resumen, los costos de la tierra van a ser un factor importante en muchos de los casos, junto con otros factores de localización, tales como el acceso a las carreteras, y lo más importante el CO₂ y el agua, pero un alto costo de la tierra, reduciría el potencial global de biocombustibles de algas. (40)

La disponibilidad potencial de tierras adecuadas a nivel global se ilustra en la Figura 57, que muestra masas de tierra ubicadas en elevaciones de menos de 500 mts. (1500 pies). Esto se supone que es una indicación de la topografía favorable, aunque, por supuesto, eso es sólo una guía general. Los factores climatológicos y la disponibilidad de CO₂ también estarían a favor de este tipo de lugares. (40)

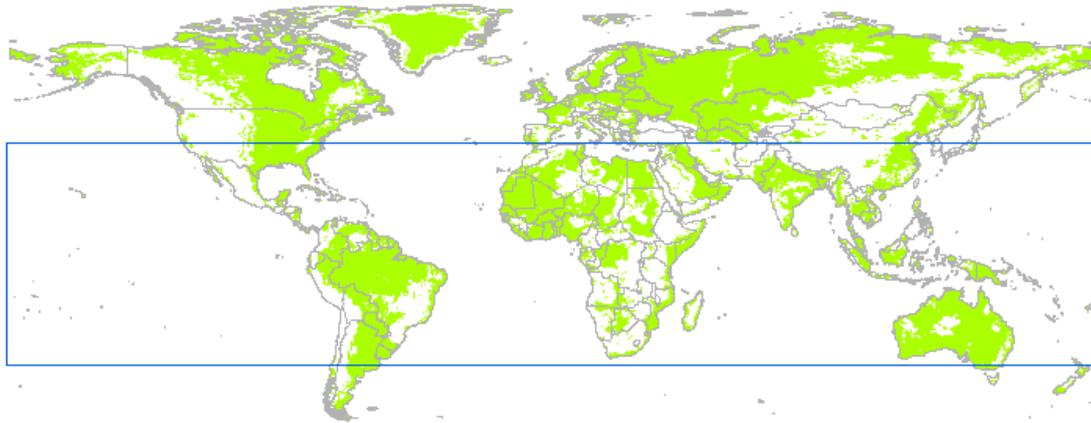


Figura 57: Áreas terrestres (verde) localizadas a altitudes menores que 500 mts. (72)

3.3.- Localización Potencial en Argentina

El proceso de selección de la localización geográfica donde se propone la instalación de la planta piloto de producción de biodiesel a partir de microalgas ha sido desarrollado a través de los siguientes pasos:

Paso 1.- Recolección general de datos

Paso 2.- Elaboración de planilla a partir de las localidades que reúnen la mayor cantidad de recursos necesarios para la implementación del proyecto.

Paso 3.- confección de la Matriz General de Decisión

Paso 4.- Análisis de las 5 localizaciones con mayor aptitud, resultado de la Matriz General de Decisión.

Paso 5. – Resultado final e informe de la localización más apta para la implementación del Proyecto.

Durante el Paso 1 se procedió a obtener la mayor cantidad de información correspondiente a las localidades ubicadas al Norte de Latitud 37 (40) (72) y en relación a los siguientes recursos:

1.- Dióxido de Carbono:

Centrales térmicas de nuestro país (Ver Anexo 1) Fuente: (157) – (Ver Anexo II Mapa Geosadi) – Fuente (158)

2.- Plantas de Tratamiento de Efluentes: (Ver Anexo III) Fuente: (159)

3.- Parámetros climatológicos:

Heliofanía efectiva (99) (145)

Temperatura Media Anual (160)

Temperatura Mínima/Máxima Promedio (160)

Días libres de heladas (161)

Precipitaciones (160)

4.- Parámetros Sociales

Densidad de población

Mano de obra calificada (nivel educativo)

5.- Terreno

Parque industrial (162)

6.- Otros

Rutas y accesos

Durante el Paso 2, se confeccionó una planilla (Ver Anexo IV) donde se volcaron parte de los datos, considerando que las localidades que nos interesan son aquellas donde:

- a) Hay presencia de una central térmica o fuente generadora de CO₂,
- b) Hay presencia de una planta de tratamiento de efluentes o un punto de generador de nutrientes,
- c) Los parámetros climáticos se encuentran aproximados a:
 - Temperatura media anual superior a los 12°.8 C°
 - 200 días anuales libres de heladas
 - Heliofanía: 7 horas de sol por día equivalentes a 2800 horas acumuladas anuales medias
 - Precipitaciones aprox. 1016 milímetros anuales
- d) Parámetros Sociales:
 - Densidad de Población superior a 25hab*km²
 - Relevamiento capacidad de mano de obra accesible
- e) Terrenos
 - Terrenos con una elevación no superior a 500m
 - Parque industrial
- f) Otros
 - Relevamiento Rutas y Accesos

En el Paso 3, se elaboró la Matriz General de Decisión para la elección de la localidad donde se emplazará la planta piloto de microalgas para producir biodiesel (Ver Anexo V). Consideraciones:

3.1.- Se seleccionaron criterios de evaluación.

3.2.- Se seleccionaron criterios de análisis.

3.3.- Se asignó una ponderación a cada criterio de análisis o recurso seleccionado.

3.4.- Se obtuvieron las localidades con mayor ponderación.

Paso 3.1.- Criterios de evaluación seleccionados:

Criterio de Evaluación	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento mínimo
2	Cumplimiento medio
3	Cumplimiento alto o Cumple la condición en su totalidad pero hay presencia de algún factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

En el caso de la evaluación de las centrales térmicas, el valor asignado está ligado al factor de carga o utilización de las mismas del año 2012 (la justificación se debe a que las algas necesitan la provisión adicional de CO₂ durante el día, y por eso es importante conocer los tiempos de funcionamiento/utilización). (Ver Anexo VI), donde se obtiene factor de carga o porcentaje de utilización.

Criterio de Evaluación para las Centrales Térmicas	
Valor	Significado
0	C.T Sin utilización
1	% de utilización hasta 12,5%
2	% de utilización entre 12,5%-25%
3	% de utilización entre 25% - 37.5%
4	% de utilización entre 37.5 - 50%

Paso 3.2: Criterios de análisis seleccionados, basados en diferentes estudios y acorde a lo mencionado en el presente capítulo:

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS
1		Fuente Generación CO ₂
2		Planta Tratamiento Cloacal
3		Factores Climatológicos
	3,1	Distribución promedio Heliofanía efectiva (2800 anuales)
	3,2	Temperatura media anual
	3,3	Dias libres de heladas
	3,4	Precipitaciones
4		Acceso al Agua
5		Transporte
6		Recursos Humanos
7		Disponibilidad de Superficie para implantación del proyecto

Paso 3.3: La ponderación asignada, fue elegida arbitrariamente y en función a la importancia que consideramos para cada factor:

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA
1		Fuente Generación CO ₂	18%
2		Planta Tratamiento Cloacal	16%
3		Factores Climatológicos	16%
	3,1	Distribución promedio Heliofanía efectiva	5%
	3,2	Temperatura media anual	5%
	3,3	Dias libres de heladas	3%
	3,4	Precipitaciones	3%
4		Acceso al Agua	18%
5		Transporte	7%
6		Recursos Humanos	8%
7		Disponibilidad de Superficie para implantación del proyecto	17%
TOTALES			100%

Paso 3.4.- Localidades con mayor ponderación (Ver Anexo VII) y Figura 58

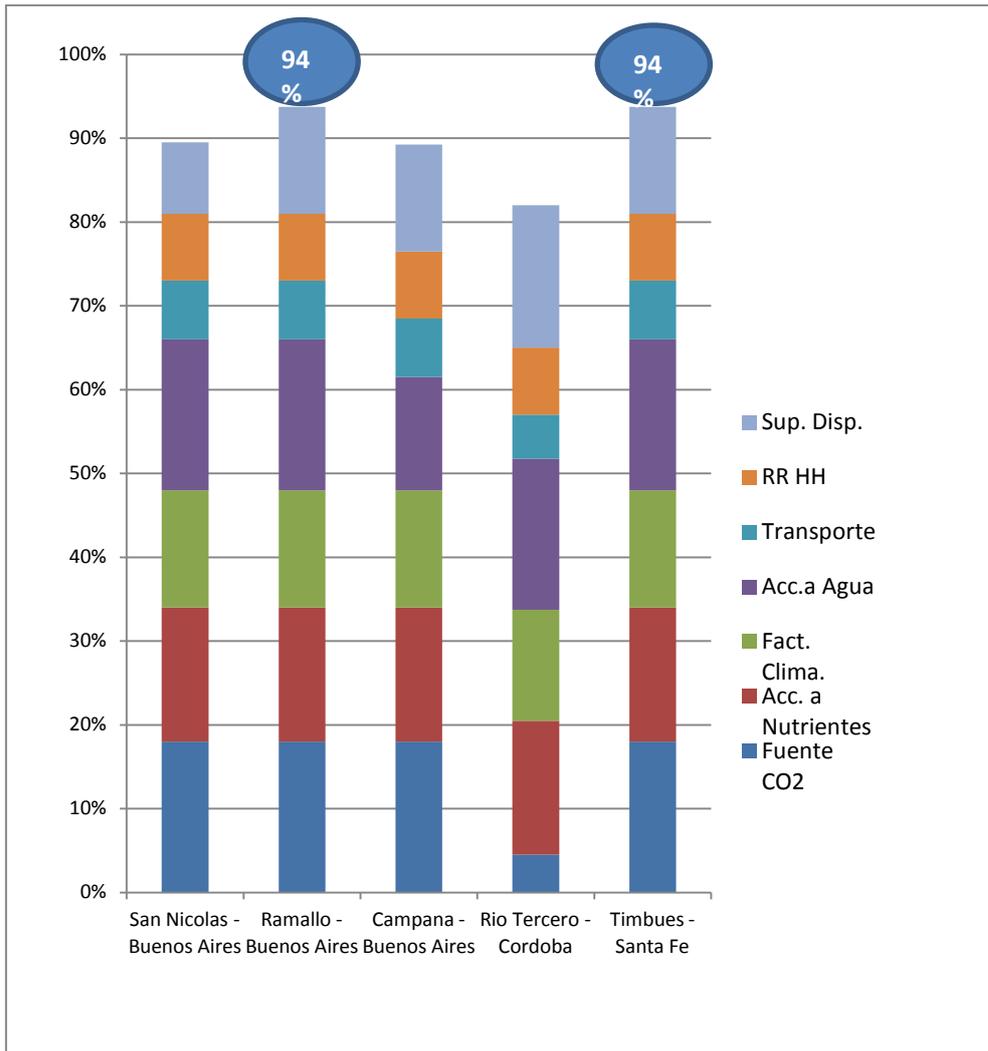


Figura 58 – Gráfico Comparativo de localidades potenciales para la realización del proyecto - Fuente: (100)

Paso 4.- Análisis sobre las Principales Localizaciones

El Gráfico Comparativo de Localidades Potenciales para la Implantación del Proyecto se genera a partir del siguiente resumen de datos (Fig.59)

Nro.	CRITERIOS DE ANALISIS	Localización				
		San Nicolás - Buenos Aires	Ramallo - Buenos Aires	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Córdoba	Timbúes - Santa Fe
1	Fuente CO ₂	18%	18%	18%	5%	18%
2	Acc. a Nutrientes	16%	16%	16%	16%	16%
3	Fact. Clima.	14%	14%	14%	13%	14%
4	Acc.a Agua	18%	18%	14%	18%	18%
5	Transporte	7%	7%	7%	5%	7%
6	RR HH	8%	8%	8%	8%	8%
7	Sup. Disp.	9%	13%	13%	17%	13%
TOTALES		90%	94%	89%	82%	94%

Figura 59 – Resumen de valores correspondientes a las principales locaciones potenciales para la Implantación del Proyecto. Fuente (100)

Los porcentajes más altos, corresponden a la ciudad de Ramallo (94%), Provincia de Buenos Aires, y a la localidad de Timbúes en Santa Fe (94%). Debido a que los porcentajes son altos en la mayoría de los casos, incorporaremos datos adicionales en cada criterio para obtener una resultante

1. Fuente CO₂

En la selección de este parámetro se contempló la existencia de una fuente de emisión de CO₂ (Central Térmica), así como también el factor de carga de la Central. Las 5 localizaciones cuentan con una central térmica. La diferencia en los totales proviene en la utilización de la central respecto a la potencia de la misma (Ver Figura 60). El porcentaje más chico corresponde a la localidad de Rio Tercero, en la Central 13 de Julio, con un factor de carga promedio del 12%. Los porcentajes de utilización del resto de las centrales, suponen suficiente cantidad de horas de funcionamiento para abastecer una demanda constante anual del cultivo de algas. En la figura 61, se muestra

el requerimiento de Dióxido de Carbono para una planta piloto de microalgas. Cualquier central arriba indicada emite en exceso a lo requerido.

Ciudad	C.Termica	Promedios	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
Timbues	J.S.Martin		5.089.204,61	7.332.120,00	69%
Campana	G.Belgrano		5.185.480,04	7.209.480,00	72%
Río Tercero	13 de Julio		27.529,66	227.760,00	12%
San Nicolas	AES		5.341.674,70	7.402.200,00	72%
San Nicolas	San Nicolas		2.623.746,11	5.913.000,00	44%
Ramallo	Tenaris Siderca		1.051.257,82	1.429.632,00	74%

Central		Año	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
TIMB		2012	5.026.758,75	7.332.120,00	69%
TIMB		2013	5.797.395,02	7.332.120,00	79%
TIMB		2014	4.443.460,07	7.332.120,00	61%

TIMB		Promedio	5.089.204,61	7.332.120,00	69%
-------------	--	-----------------	---------------------	---------------------	------------

Central		Año	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
GBEL		2012	5.775.173,29	7.209.480,00	80%
GBEL		2013	4.453.549,35	7.209.480,00	62%
GBEL		2014	5.327.717,49	7.209.480,00	74%

GBEL		Promedio	5.185.480,04	7.209.480,00	72%
-------------	--	-----------------	---------------------	---------------------	------------

Central		Año	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
RTER		2012	23.260,20	227.760,00	10%
RTER		2013	37.899,08	227.760,00	17%
RTER		2014	21.429,70	227.760,00	9%

GBEL		Promedio	27.529,66	227.760,00	12%
-------------	--	-----------------	------------------	-------------------	------------

Central		Año	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
AESP		2012	5.427.406,03	7.402.200,00	73%
AESP		2013	5.442.113,23	7.402.200,00	74%
AESP		2014	5.155.504,85	7.402.200,00	70%

AESP		Promedio	5.341.674,70	7.402.200,00	72%
-------------	--	-----------------	---------------------	---------------------	------------

Figura 60 – Detalle Factores de Carga de las Centrales Térmicas correspondientes a las cinco localidades propuestas para el emplazamiento – (continuación) - Fuente: Datos Potencia Instalada /Generación Neta: (163) - Cálculos: (100)

Ciudad	C.Termica	Promedios	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
Central		Año	Generación Neta (MWh)	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
SNIC		2012	2.506.984,41	5.913.000,00	42%
SNIC		2013	2.560.031,60	5.913.000,00	43%
SNIC		2014	2.804.222,34	5.913.000,00	47%
SNIC		Promedio	2.623.746,11	5.913.000,00	44%
Central	TCMPadre	Año	Generación Neta	Potencia Instalada (MWh)	Factor Carga
Ram	GN	2012	1.103.159,97	1.429.632,00	77%
Ram	GN	2013	1.194.450,18	1.429.632,00	84%
Ram	GN	2014	856.163,32	1.429.632,00	60%
Ram		Promedio	1.051.257,82	1.429.632,00	74%

Figura 60 (continuación) – Detalle Factores de Carga de las Centrales Térmicas correspondientes a las cinco localidades propuestas para el emplazamiento – Fuente: Datos Potencia Instalada /Generación Neta: (163) - Cálculos: (100)

Tamaño Raceway	Micro		Mini		Inóculo		Industrial	
Capacidad	200-300 litros		3000-5000 litros		30.000-70.000 litros		200.000-1.200.000 litros	
Largo (L)	1,85	m.	7,00	m.	28,00	m.	130,00	m.
Ancho (A)	0,55	m.	2,40	m.	8,50	m.	30,00	m.
Profundidad	0,30	m.	0,30	m.	0,30	m.	0,30	m.
Superficie Expuesta (S)	0,98	m2	16,08	m2	228,97	m2	3.787,50	m2
Volumen (V)	293,91	litros	4.824,00	litros	68.690,63	litros	1.136.250,00	litros
Producción Algas anual(P)	7,87	Kg.	129,12	Kg.	1.838,62	Kg.	30.413,63	Kg.
CO ₂ Necesario Max. Anual	15,73	Kg.	258,24	Kg.	3.677,24	Kg.	60.827,25	Kg.
Cantidad Piletos	2		2		2		2	
Total CO ₂ necesario	31,47	Kg.	516,49	Kg.	7.354,48	Kg.	121.654,50	Kg.

Figura 61 – Cálculo Dióxido de Carbono necesario anual para una planta piloto de microalgas – Fuente: Productividad: 22g/m²/día (72) - Dióxido de Carbono: 2kg*kg de biomasa seca (72) – Cálculos: (100)

Creemos importante considerar la distancia entre el emplazamiento de la planta piloto y la Central Térmica, como parámetro adicional a la información considerada hasta el momento y acorde la recomendación del Dr. Benemann (40). Figura 62

	LOCALIZACION				
	San Nicolás - Buenos Aires	Ramallo - Buenos Aires	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Córdoba	Timbúes - Santa Fe
Distancia entre P. Piloto Potencial y C. Térmica en km	1	2	0,72	0,2	0,3

Figura 62 – Distancia entre la Potencial Planta Piloto y la Central Térmica para cada una de las cinco localizaciones potenciales. Fuente: (100)

2. Acceso a Nutrientes:

Como mencionáramos anteriormente, el cultivo de algas, requiere la adición de nutrientes principalmente de Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Para esto, podrían utilizarse distintas fuentes, como aguas residuales municipales, industriales y provenientes de la agricultura o la ganadería (72).

El acceso a nutrientes está garantizado en las 5 localidades con mayor ponderación, pero evaluaremos en este segundo análisis, para lograr una mayor comprensión, la distancia al acceso de nutrientes (72).

De la Figura 63 se desprende que las localidades tienen garantizado un acceso a una fuente de Nutrientes en un radio de aprox. 1 km.

Localidad	Fuente Nutrientes	Descripción	Distancia a PP en km	Distancia a PP en millas
San Nicolás	P.T. San Nicolás	P.P.potencial en el Predio de la PTEC	0,2	0,12
Ramallo	Comirsa P. Industrial	Dentro del Parque P. Tratamiento	1	0,62
Campana	Industria Agroalimenticia		1	0,62
Rio Tercero	Dentro de la central	Actualmente funciona una Planta Piloto de microalgas	0,48	0,30
Timbúes	Solamb	Tratamiento de residuos de efluentes cloacales y agro-industriales en Timbúes (35)	5,3	3,29
	Criadero pollos		4,41	2,74
	Polo cerealero		1	0,62

Figura 63: Detalle Distancias entre la potencial Planta Piloto de cultivo de microalgas y la fuente de nutrientes. Fuente (100)

3. Factores Climatológicos:

La apertura de la matriz correspondiente a este punto en las localidades con mayor puntaje es la siguiente Figura 64:

CRITERIOS DE ANALISIS	LOCALIZACION					MAXIMA PONDERACION
	San Nicolás - Buenos Aires	Ramallo - Buenos Aires	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Córdoba	Tambúes - Santa Fe	
Fact. Climatológicos	14%	14%	14%	13%	14%	16%
Distribución promedio Heliofanía efectiva (7,7)	4%	4%	4%	4%	4%	5%
Temperatura media anual (no menor a 12)	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Días libres de heladas (+ de 200)	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Precipitaciones	2%	2%	2%	2%	2%	3%

Figura 64: Factores Climatológicos de las cinco localidades potenciales – Fuente: (100)

Las pequeñas diferencias se observan básicamente en la heliofanía, y las precipitaciones que tiene un peso menor en la ponderación. Es por eso que en el análisis de estas 5 localidades, tomaremos en consideración aquellas variables sugeridas en la literatura como importantes para la toma de decisiones y que no fueran consideradas en la matriz general (40): el índice de evaporación, y la radiación solar (156). La evaporación en los estanques debe ser estimada. La literatura indica que el índice de evaporación proviene principalmente de la temperatura del aire, los vientos y la humedad relativa. La tasa de evaporación afecta el llamado BDR ratio, definido como el volumen de agua descargado dividido el volumen que ingresa al estanque. (40). Figura 65

Ref.	Ítem	LOCALIZACION				
		San Nicolás - Buenos Aires	Ramallo - Buenos Aires	Campana - Buenos Aires	Río Tercero - Córdoba	Timbúes - Santa Fe
'(30) (36)	Radiación Solar (Wh/m2*día)	4361	4361	4361	4475	5193
'(30) (36)	Índice de Evaporación anual(mm)	1260	1260	1260	844	1105
	I índice de Evaporación Anual (pulgada)	49,6	49,6	49,6	33,2	43,5

Figura 65: Tabla de valores correspondientes a la radiación Solar y el índice de evaporación correspondientes a las 5 localidades potenciales para el emplazamiento de una planta piloto de microalgas – Fuentes: (160) (165)

4. Transporte:

Durante la elaboración de la matriz de decisión consideramos en el Análisis del Transporte, si desde el lugar de emplazamiento, accedíamos a rutas y accesos importantes. Ahora incorporaremos la distancia a esas rutas y accesos. Figura 66

Ítem	LOCALIZACION				
	San Nicolás - Buenos Aires	Ramallo - Buenos Aires	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Córdoba	Timbúes - Santa Fe
Distancia a Rutas y Accesos imp. (km)	1,3	0,5	1,2	1,5	5
Distancia a Rutas y Accesos Imp. (mi)	0,81	0,31	0,75	0,93	3,11
Ruta o Acceso	Ruta N°9 vía Savio	Ruta N°9 vía Savio	Ruta N°9	Ruta N°2	Ruta N°11

Figura 66 – Valores correspondientes a las distancias a Rutas y Accesos de las cinco localidades potenciales para el emplazamiento de una planta piloto de microalgas. Fuente: (100)

5. Superficie Disponible:

En la elaboración de la matriz general de decisión se consideró, si contábamos con un Parque industrial o superficie en metros disponible (0,7 hs aprox.) para el emplazamiento. Para un análisis más detallado, analizaremos la pendiente y el uso del suelo. La pendiente es importante ya que superficies con mucha inclinación requerirán gastos para nivelar la tierra antes de construir los estanques (40). El tipo y uso del suelo deben ser considerados porque determinan en gran parte el costo del mismo y en términos de sustentabilidad. (Ver Figura 67)

Ref.	Ítem	LOCALIZACION				
		San Nicolás -Bs As	Ramallo - Bs As	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Córdoba	Timbúes - Santa Fe
(38)	Pendiente del Terreno	Menor a 5%	Menor a 5%	Menor a 5%	Menor a 5%	Menor a 5%
(38)(39) (37)(36)	Uso del Suelo	Matorrales – Predio Planta Tratamiento Cloacal Arroyo Ramallo – 2 has libre sin uso	Desarrollada/Comercial - Dentro de Comirsa	Terrenos inundables, Matorrales - suelos bajos,	Terrenos sin cultivos, dentro de la Central. Propiedad de la misma, suelos sin riego apto ganadería	Terrenos propiedad de la C.T., no productivos, aunque suelo apto cultivos

Figura 67– Valores correspondientes a la pendiente y el Uso del suelo en las cinco localidades potenciales para el emplazamiento de la planta piloto de microalgas – Fuente: (165) (166) (167) (168)

6. Distancia y Acceso al Agua:

Las algas requieren grandes cantidades de agua para vivir y crecer. La misma, debe estar disponible, no apartada de otros usos y no debe conducir a la disminución de las capas freáticas. (169). Cuando las algas crecen en agua dulce, como sería en el caso de nuestro proyecto, se produce una reducción en los requisitos de energía en un poco más del 50 % y se reduce el total de energía demandada por la gestión del agua en un 14 %. El uso de agua superficial reduce la energía total requerida para la gestión del agua en un estimado de 23 %, aunque es dudoso que el agua superficial produzca grandes cantidades de biocombustibles. (169). Ahora, en relación a este tema, listamos aquí abajo la distancia aprox. entre la localización potencial de la planta piloto en las 5 localidades y la fuente de agua. Ver Figura 68.

Ref.	Ítem	LOCALIZACION				
		San Nicolás - Bs As	Ramallo - Bs As	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Córdoba	Timbúes - Santa Fe
(38)	Distancia al Agua (mts)	180	2000	600	200	500

Figura 68 – Distancias al Agua desde cada emplazamiento potencial – Fuente: (167) (100)

Después de haber realizado la recopilación de datos en relación a los nuevos parámetros en las 5 localidades, aquí abajo listaremos los parámetros, los nuevos criterios seleccionados, la clasificación correspondiente, el puntaje asignados y la ponderación de cada uno (40). Ver Figura 69

Aclaraciones:

- Los criterios seleccionados, fueron tomados de la literatura (40), a excepción de la pendiente del suelo y la distancia al agua.
- La asignación considerada, fue tomada de la literatura (40) a excepción de la pendiente del suelo y la distancia al agua.
- La clasificación, fue tomada de la literatura, a excepción de la pendiente del suelo y la distancia al agua.
- La estación INTA San Pedro (se utilizo para los parámetros climáticos de las localidades de Ramallo, San Nicolás y Campana)
- La estación INTA Manfredi y la Agencia INTA en Rio Tercero se consultaron para la obtención de los datos de Rio Tercero
- Los datos provenientes de la estación INTA Oliveros, ubicada en la ciudad y a 11 km de Timbúes, son los utilizados para Timbúes, Santa Fe.
- La evaporación y la radiación solar, limitaciones climáticas primarias, tienen una asignación de peso superior a la temperatura debido a que las algas pueden prosperar en un amplio intervalo de condiciones de temperatura.
- Las distancias desde la potencial planta piloto y las Centrales Térmicas/fuentes de Nutrientes/Rutas y Accesos y Fuentes de Agua, fueron realizados con la utilización del Google Earth.
- Cada lugar potencial, donde sea factible la producción de biocombustible de algas, tiene características particulares y por ende impactos particulares al aire, al suelo, a los recursos de agua que variaran según el lugar. Asimismo, esto dependerá de la tecnología que se utilice, la tierra, el Dióxido de Carbono, los nutrientes y los inputs de agua. La presente tabla no considera ningún tipo de

regulación actual, ya que actualmente no existe regulación particular para el desarrollo de biocombustibles de algas, per se.

Criterio Seleccionado	Clasificación	Puntaje Asig.	Peso	Peso Acorde Ponderación
Distancia a Central Térmica (km)	0,5	1	51%	51%
	1	2		34%
	1,5	3		17%
	2	4		0%
Distancia a fuente de Nutrientes (km)	1	1	16%	16%
	2	2		8%
	3	3		0%
Radiation Solar (Wh/m2*day)	3456-4131	5	7%	0%
	4131-4518	4		1%
	4518-4815	3		3%
	4815-5265	2		4%
	5265-5868	1		7%
Evaporación Promedio Anual (mm)	650-1100	1	7%	7%
	1100-1450	2		4%
	1450-1800	3		3%
	1800-2200	4		1%
	2200-2700	5		0%
Distancia a Rutas y Accesos (km)	0,5	1	1%	1%
	1	2		0,60%
	1,5	3		0,40%
	2	4		0,20%
	+2,5	5		0,00%
Uso de Suelo	Tierra apta cultivos	1	1%	1%
	Tierra estéril	2		0,60%
	Matorrales	3		0,40%
	Herbácea	4		0,20%
	Desarrollada-tierra abierta	5		0,00%
Pendiente	Menor a 5%	1	1%	1,00%
	+5%	2		0,00%
Distancia a la Fuente de Agua (km)	0,5	1	16%	16%
	1	2		9,60%
	1,5	3		6,40%
	2	4		3,20%
	+2,5	5		0,00%
			100%	

Figura 69: Datos clasificados por rango de valores de los criterios seleccionados para evaluar la localización potencial de una planta piloto de nuestro país. Fuente (40) (100)

Paso 5.- Resultado final e informe de la localización más apta para la implementación del Proyecto.

De esta manera generamos la siguiente tabla, Figura 70, con la que concluimos que Timbúes, en la Provincia de Santa Fe, es la Localidad que reúne la mayor cantidad de los requisitos considerados para el emplazamiento de una planta piloto de microalgas.

Nro.	sub.r	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION										
				Prov. Cdad.	San Nicolas Pond.		Ramallo Pond.		Campana Pond.		Rio Tercero Cdba. Pond.		Santa Fe Timbues Pond.	
1		Distancia a Central Termica	51%		4	0,0%	4	0,0%	2	34,0%	1	51,0%	1	51,0%
2		Distancia a Fuente de Nutrientes	16%		3	0,0%	1	16,0%	1	16,0%	1	16,0%	1	16,0%
3		Factores Climaticos	14%			5,0%		5,0%		5,0%		8,0%		11,0%
	3,1	Radiacion Solar	7%		4	1,0%	4	1,0%	4	1,0%	4	1,0%	2	4,0%
	3,2	Evaporacion anual	7%		2	4,0%	2	4,0%	2	4,0%	1	7,0%	1	7,0%
4		Distancia a Rutas y Accesos	1%		5	0,0%	5	0,0%	3	0,4%	3	0,4%	5	0,0%
5		Superficie Disponible	2%			1,4%		1,0%		1,4%		1,6%		1,6%
	5,1	Uso del Suelo	1%		3	0,4%	5	0,0%	3	0,4%	2	0,6%	2	0,6%
	5,2	Pendiente	1%		1	1,0%	1	1,0%	1	1,0%	1	1,0%	1	1,0%
6		Distancia y Acceso al Agua	16% 0%		4	3,2%	4	3,2%	4	9,6%	1	16,0%	1	16,0%
TOTALES			100%			9,6%		25,2%		66,4%		93,0%		95,6%

Figura 70 – Tabla de Resultados finales – Fuente: (100)

Timbúes pertenece al partido de San Lorenzo y está ubicada a unos 40 kilómetros de Rosario en la Provincia de Santa Fe (Figura 71).

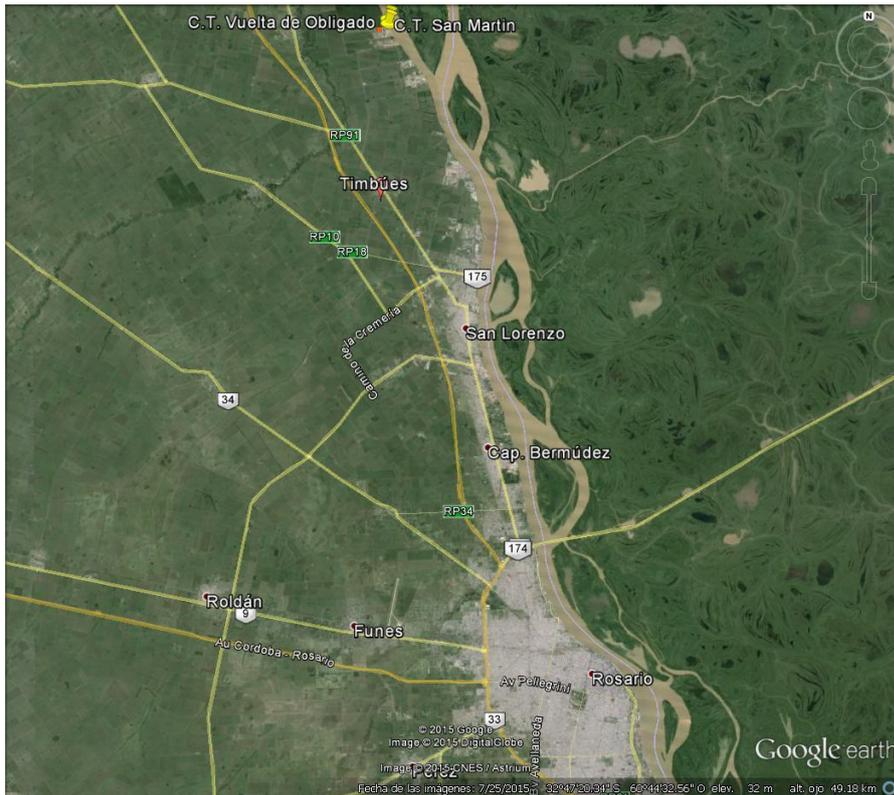


Figura 71 - Costa sobre el Río Paraná, ubicación Timbúes, Centrales Termoeléctricas - Fuente: (167)

La Central Termoeléctrica J.de San Martín es propietaria de 60 hectáreas. La planta San Martín produce un total de 837 megavatios de potencia en ciclo combinado, esto quiere decir que transforma la energía calórica –de gas o gasoil– en energía eléctrica. Para su producción se ponen en funcionamiento dos turbinas alimentadas a gas o gasoil, dos calderas de recuperación del calor y una turbina de vapor. La central cuenta con una toma de agua para refrigeración en el río Paraná y el otro atractivo de importancia es la construcción de un muelle específico para la descarga desde los barcos del combustible líquido, que complementa al sistema por camiones. Además, entre sus instalaciones cuenta con una planta desmineralizada de agua, un sistema de tratamiento y neutralización de efluentes, y un sistema de almacenamiento de gasoil (170). Figura 72

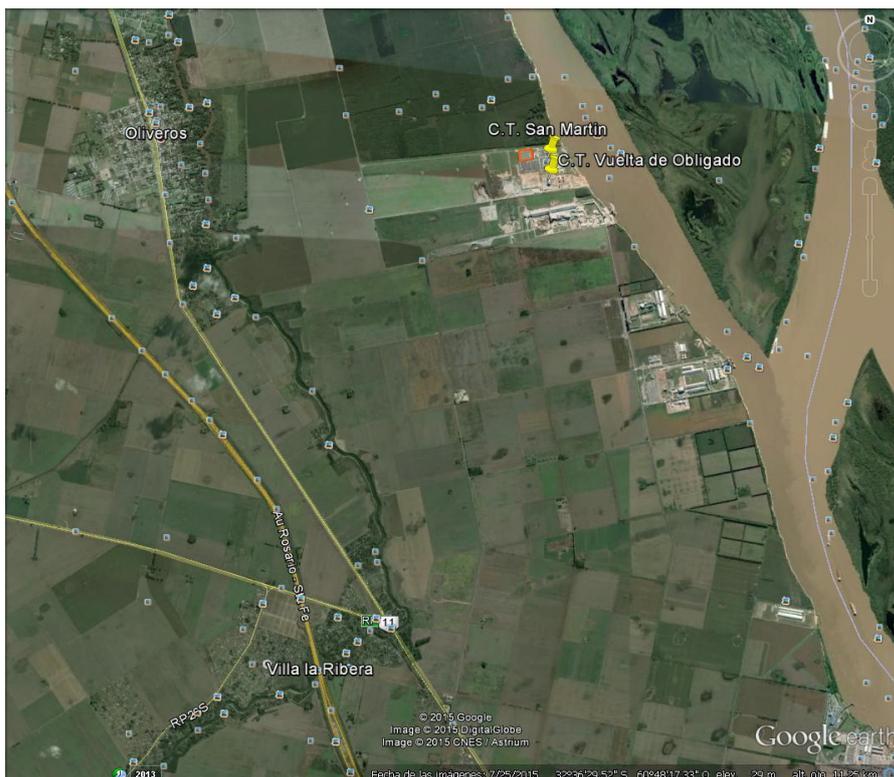


Figura 72 – Vista Aérea Central Térmica San Martín y Vuelta de Obligado, Rutas y Accesos principales, Ciudad Oliveros y Río Paraná - Fuente: (167)

El suelo en la región, es un sedimento eólico (loess) plástico, al que se integraron fracciones sedimentarias de limos mezcladas con arena (171). El cultivo de algas en esta región, se beneficiaría de una radiación promedio anual de 5,193 KWh/m²/día, -Figura 28, un promedio anual de vientos templados de 7,8 km/h con vientos predominantes del sector Sur y Este, que llegan a alcanzar entre 19 (E) y 24 (S) kilómetros por hora (km/h) (168) (171), una temperatura media anual de 17,6 C, que caracteriza por veranos cálidos e inviernos templados a fríos variando entre 26,4 °C (Enero) y aprox. 13 °C (Junio y Julio) con un promedio mensual en los últimos 3 años por arriba de los 12 (168) (Ver Figura 73 y 74). El período libre de heladas es de 262 días, registrándose la primer helada el 25 de mayo y la última el 4 de septiembre (con

valores extremos de ocurrencia el 30 de abril la primera y el 7 de octubre, la última) (172).

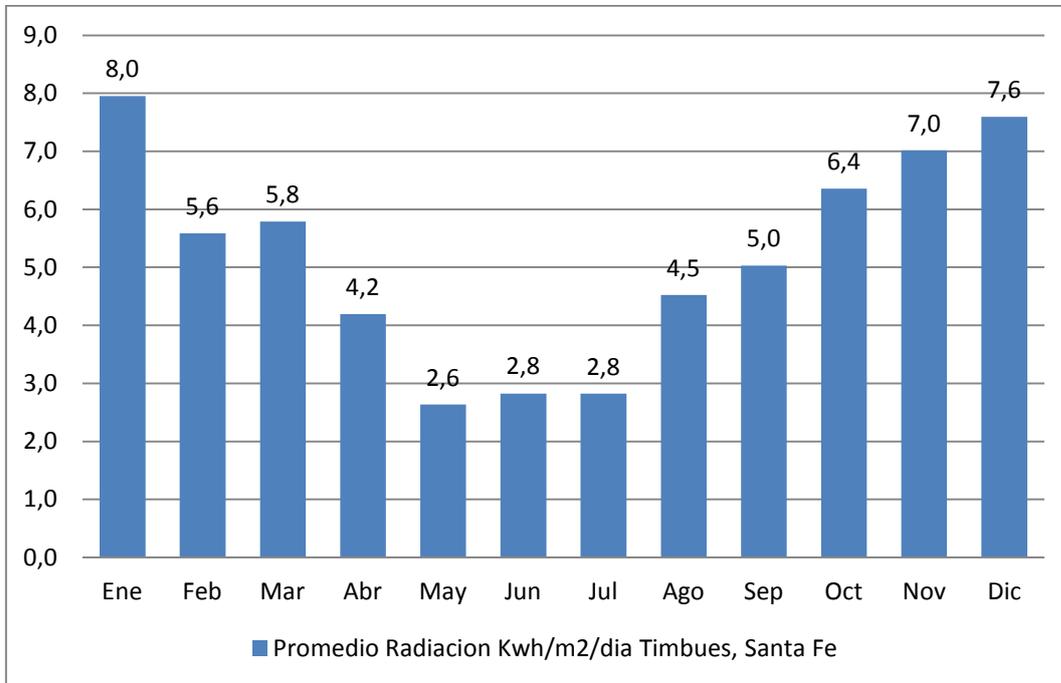


Figura 73 – Radiación Promedio Mensual en Timbúes, Santa Fe – Fuente: (168)

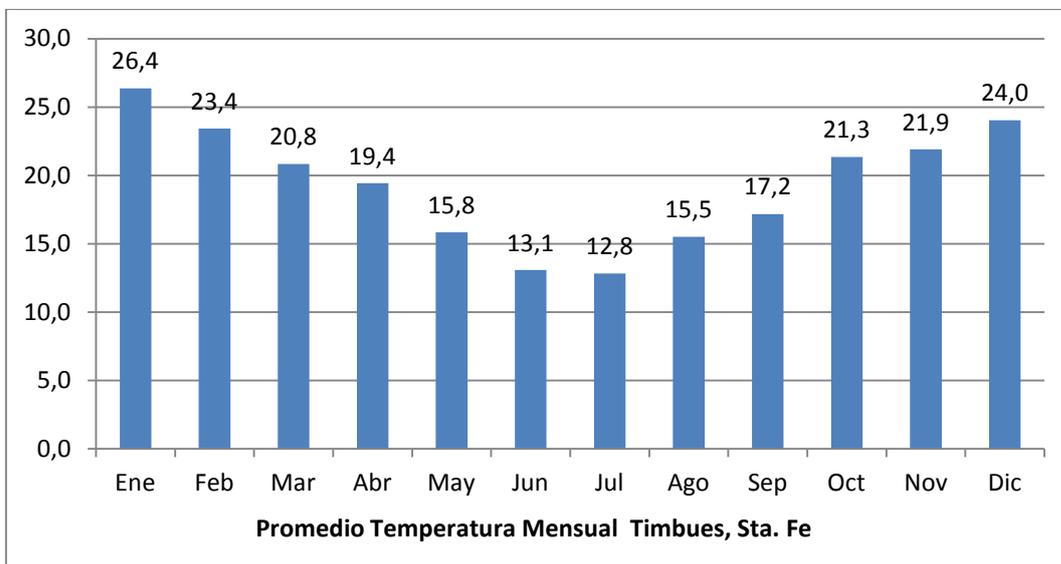


Figura 74 – Temperatura Promedio Mensual Timbúes, Santa Fe Fuente: (168)

El predio seleccionado, es un área de aprox. 2.9 ha., propiedad de Central Térmica San Martín, Figura 75, en estado actual sin uso ni destino, que asumimos la

Central Térmica sede el mismo para explotación de proyecto de biodiesel de microalgas, al igual que lo que está aconteciendo en la ciudad de Rio Tercero en el Predio de la Central 13 de Julio, donde se destina parte de su territorio al grupo de la Universidad de Cuyo para la instalación de una planta piloto. La potencial ubicación de la planta piloto, cercana al Rio Paraná, a la Central Térmica, y a diversas fuentes de nutrientes presupone costos más bajos en el abastecimiento de agua, de nutrientes y de Dióxido de Carbono.



Figura 75 – Vista Aérea – Central Térmica S. Martin, Central Térmica Vuelta de Obligado, Predio Potencial para el emplazamiento de la Planta Piloto de microalgas delimitado en líneas naranjas – Fuente: (167)



Capítulo 4

Balance de Masa y Energía

Capítulo 4

4.1.- Objetivos

- A. Establecer el diagrama de flujos involucrados en el proceso,
- B. Determinar los requerimientos de masa y energía en cada etapa del proceso, tomando como base un piletón industrial de 500.000 L,
- C. Determinar la energía contenida en el combustible y la generada por la utilización del digestor anaeróbico,
- D. Realizar un balance de masa y energía de la producción de biodiesel a partir de microalgas, en un piletón tipo Raceway de 500.000 L industrial,
- E. Relacionar dichos factores de energía con la cantidad de materia prima procesada y los productos obtenidos de cada etapa del proceso de producción de biodiesel.

4.1.1.- Metodología

Gran parte de la metodología que fue utilizada en este capítulo, fue mediante la recopilación de diversas fuentes bibliográficas para el desarrollo del balance energético y de masa de producción de biodiesel a partir de microalgas. La forma en que se evaluó la eficiencia energética del proceso se presenta a continuación:

- I. Se establecieron los límites (el proceso considerado) de producción de biodiesel a partir de microalgas,
- II. Se identificaron las operaciones involucradas en ese proceso,
- III. Se determinaron las variables del proceso que definen el volumen de producción, la base de cálculo y las suposiciones hechas.

- IV. Se recopiló de la bibliografía las energías específicas de cada actividad involucrada en el proceso de producción, así como los factores de consumo sobre el volumen de producción.
- V. Se multiplicaron dichas energías específicas por la cantidad de materia prima a procesar.
- VI. Se sumaron las magnitudes energéticas obtenidas en las diferentes actividades involucradas en una misma etapa de proceso para poder finalmente agruparlos y obtener la cantidad de energía requerida en cada unidad de producción de acuerdo a los volúmenes considerados.
- VII. Se cuantificaron los productos finales y se calculó su energía aprovechable a partir de su poder calorífico.
- VIII. Se relacionaron las energías disponibles de los productos finales con la energía requerida para su producción.

4.1.2.- Límites del Sistema

Actualmente en Argentina no existe la experiencia de producción a gran escala para la obtención de biodiesel, por lo tanto, para este tipo de situaciones, la literatura recomienda seleccionar un escenario hipotético para poder desarrollar un balance energético (173).

Nuestro escenario hipotético cuenta con un proceso que se puede observar en la Figura 76. Como puede verse, se consideró la valoración de la biomasa residual de la etapa de extracción de lípidos para su aprovechamiento en la generación de gas metano. La dimensión a partir de la cual se realizan todas las valoraciones corresponde a un piletón tipo Raceway con un volumen de 500.000 L industrial.

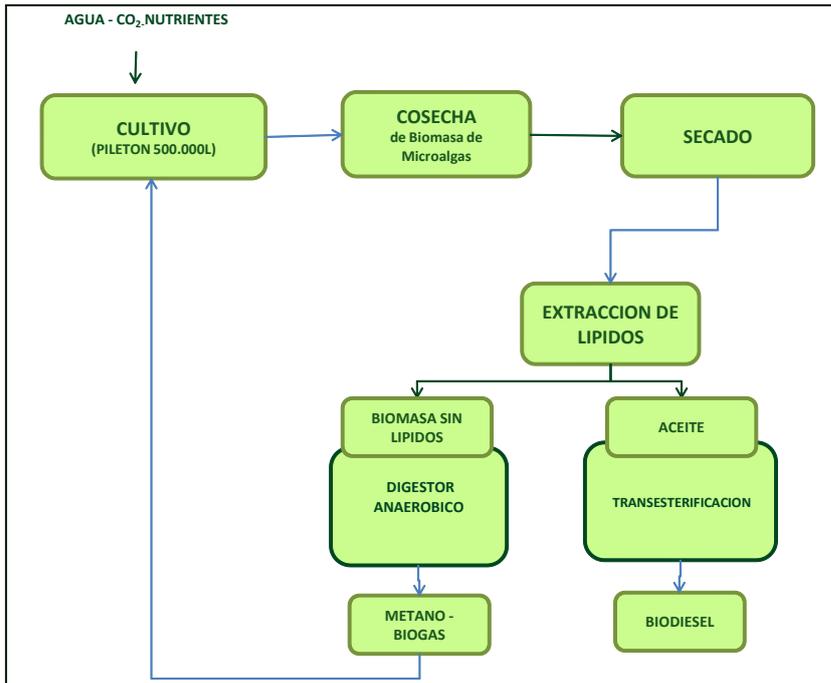


Figura 76 – Límite del sistema para el balance energético y de masa correspondiente a la producción de biodiésel de microalgas. Fuente: (100)

La elección del piletón industrial de 500.000 L surge de haber realizado el proyecto de dimensión total de la planta y el escalado de cultivos que puede verse con detalle en el **Anexo VIII**.

4.1.3.- Consideraciones para el balance energético y de masa

- i. Los límites del sistema que fueron analizados están conformados desde el cultivo de las microalgas hasta la producción de biodiésel, tomando en cuenta cuatro etapas principales: cultivo en sistema de Raceway, cosechado, extracción de lípidos, producción de biodiésel y gas metano.
- ii. Se integró a la etapa de cosechado los procesos de secado como actividad necesaria antes de la extracción de lípidos.

- iii. Se integró la digestión anaeróbica para los residuos de la biomasa generados en la etapa post-extracción de lípidos, con el fin de una producción de gas metano teórico. Para esto fueron tomados los datos de producción y consumo de energías de la literatura (174) (175) (176) y (177).
- iv. Se asumió una productividad de la biomasa y un contenido de lípidos, acorde a la literatura (40) 25% de aceites extraíbles en forma de triglicéridos y contenidos en la biomasa y 22g/m²-día, 80mt/ha-año promedio anual de productividad, de las cuales 20g/m²-día son cosechados (40). El aceite resultante es de aproximadamente 20.000 litros/hectárea-año. Valores similares fueron reportados de la planta piloto Seambiotic en Israel (84). Todas las productividades se encuentran en base a su peso orgánico seco libre de cenizas secas.
- v. Todos los cálculos de balance energético y de masa, corresponden al piletón diseñado de tamaño industrial de 500.000 L que ocupa una superficie calculada de 1666,67 m². Ver Anexo VIII
- vi. La inyección de CO₂ requiere 22.2 Wh per kg de CO₂. (178)
- vii. Se asume que el total de nutrientes requeridos es utilizado con una eficiencia del 100%.
- viii. Del total de nutrientes requeridos, consideraremos únicamente los más relevantes, Nitrógeno y Potasio.
- ix. Para determinar los requerimientos de Nitrógeno y Potasio, asumimos una relación de C: N: P = 106:16:1 en la biomasa seca de algas con un contenido de 50% en carbono (179).

- x. Con un contenido 50% de carbono en peso seco, se requieren 88 kg N y 12 kg P por cada tonelada de biomasa seca de algas (179)
- xi. No están consideradas las energías contenidas y requeridas en la construcción del establecimiento para realizar el proceso.
- xii. No están considerados los transportes de materias primas entre instalaciones.
- xiii. A efectos teóricos, consideraremos 365 días de producción anual.
- xiv. No se consideran las pérdidas de hexano.
- xv. No se consideran los volúmenes máxicos de hexano.
- xvi. No se consideran los volúmenes máxicos de metanol.

4.2.- Cultivo de las Microalgas

Variables destacadas

Productividad de las microalgas:	22grs/m ² -día (40)
	80 mt/ha-año (40)

Todas las productividades son medidas en peso seco libre de cenizas (40)

Cantidad de lípidos en las microalgas:	25% (40)
--	----------

Producción de Aceite por Hectárea por año:	20.000 L/Ha-año (40)
--	----------------------

Área de Cultivo por Raceway:	1.666,67 m ² (Ver Anexo VIII)
------------------------------	--

(100)

Volumen por Raceway:	500.000 L
----------------------	-----------

4.2.1.- Cultivo de Microalgas y energías específicas involucradas

El cultivo de microalgas como expresamos en el capítulo 2, requiere de diferentes recursos y energías que se utilizan en distinta etapa del proceso. Algunos se requieren para poner en marcha el cultivo y otros son específicos del cultivo en sí. Por lo tanto, vamos a dividir los cálculos en aquellos que corresponden a conceptos necesarios para realizar el cultivo de las microalgas y otros que son propios del mismo. Todos están incluidos dentro del concepto Cultivos de Microalgas.

4.2.1.1.- Cálculo de Masas y Energías necesarias para el cultivo

El cultivo requiere de:

- Agua
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Nutrientes

4.2.1.1. A.- Agua

Los cálculos que corresponden a la masa de agua y energía provienen de la literatura, y específicamente del reporte de la Dra. Murphy, donde se aprecian los flujos en cada etapa del proceso, que fueron extraídos y simplificados en la Figura 77. (169)

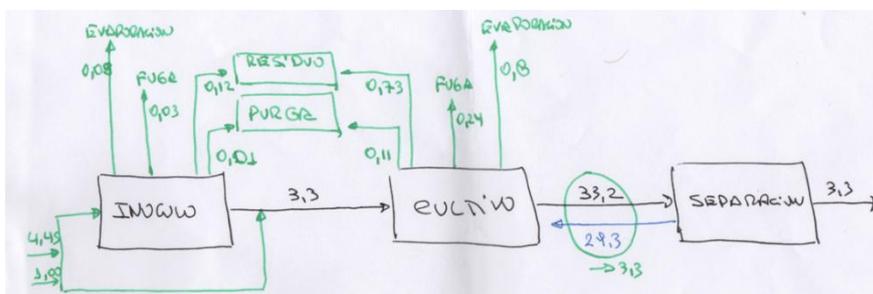


Figura 77 – Resumen de flujos de agua para microalgas (m³/m² de cultivo) – Agua de entrada: 4.45 + 1.00 = 5.45 Perdida: 0.08 + 0.03 + 0.12 + 0.01 + 0.11 + 0.73 + 0.24 + 0.8 = 2.12 Agua de salida = 3.3 (Notar que los números no cierran matemáticamente debido a errores de redondeo) – Fuente: (169)

En resumen se requieren $5.45 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-año}$ de Agua en el ingreso al sistema. La energía requerida para llevar el agua al piletón es de $1.35 \text{ Mj}/\text{m}^3$ de agua bombeada al sistema (169). Ver Figura 78

Detalle				Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.				
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.				
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.				
(d) Profundidad	0,30 m.				
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m ²				
(V) Volumen	500.000 litros				
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.				
Volumen de Agua requerido ($5,45 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-año}$)	$9.083,33 \text{ m}^3$				
Energía Requerida para llevar el agua al pileton ($1,35 \text{ MJ}/\text{m}^3$ de agua)	12.262,50 Mj			3.406	12.263

Figura 78 – Requerimiento anual de agua para un piletón de 500.000 L de cultivo de microalgas– Fuentes: (169) (100)

4.2.1.1. B.- Dióxido de Carbono (CO₂)

Las variables utilizadas para calcular la cantidad y la energía requerida de CO₂ son:

Por cada Kg de Biomasa se requieren 2kg de CO₂ (40) y,

La inyección de CO₂ requiere 22.2 Wh por kg de CO₂. (178),

El cálculo de la masa y la energía necesaria se aprecia en la Figura 79,

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)	Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.			
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.			
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.			
(d) Profundidad	0,30 m.			
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m2			
(V) Volumen	500.000 litros			
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.			
CO2 Necesario Max.anual	26.766,67 Kg.			
Variable energia requerida para inyectar el CO2	22 Wh/kg CO2			
Energia Requerida para inyectar el CO2	588,87 Kwh		589	2.120

Figura 79 – Requerimiento anual de Dióxido de Carbono para un piletón de 500.000 L – Fuentes: (40) (178) (100)

4.2.1.1. C.- Nutrientes

Para determinar los requerimientos de Nitrógeno y Potasio, asumimos determinados conceptos:

- Asumimos que todos los ingresos de nutrientes son transferidos a y tomados por la biomasa de algas sin perdidas y con 100% de eficiencia.
- Asumimos una relación de C:N:P = 106:16:1 en la biomasa seca de algas con un contenido de 50% en carbono (179)
- Con un contenido de 50% de carbono en el peso seco, se requieren 88Kg N y 12Kg P por cada tonelada de biomasa seca de algas. (179)
- Se asume un no déficit de nutrientes que provoque una mayor acumulación de lípidos en las microalgas.
- Asumimos que la única fuente de nutrientes que ingresa es la que proviene de Solamb S.A. (Planta de Efluentes Cloacales).
- Asumimos que la energía requerida para ingresar los nutrientes está contenida en la energía requerida para bombear el agua al sistema. (169) (40)

De acuerdo a los postulados anteriores los requerimientos básicos de nutrientes son: (Ver Figura 80)

Detalle	
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.
(d) Profundidad	0,30 m.
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m ²
(V) Volumen	500.000 litros
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.
Tasa de N requerida	0,088 Kg N/kg BM
Total Requerimiento N kg	1.177,73 kg N
Total Requerimiento N tn	1,18 tn N
Tasa de P requerida	0,012 kg P/kg BM
Total requerimientos de P	160,60 kg P
Total Requerimientos de P	0,16 tn P

Figura 80: Requerimiento anual de nutrientes para un piletón de 500.000 L de cultivo de microalgas – Fuente: (179) (100)

4.2.1.2.- Cálculo de Energías propias del cultivo.

Una vez alcanzada una determinada concentración, las microalgas serán cosechadas, para después ser bombeadas al sistema de secado y trituración para su acondicionamiento a la extracción de lípidos.

Las lagunas cuentan con un agitador de paletas que mantiene el cultivo en permanente circulación, a fin de evitar el estancamiento de las microalgas en el fondo de la laguna y permitir la creación de los ciclos de luz y sombra necesarios para obtener que las algas crezcan de la mejor manera posible. Los cultivos están agitados por paletas rotatorias que cruzan el canal de las lagunas en una sola sección, perpendiculares al sentido del flujo y se deben instalar de tal manera que siempre quede al menos una paleta en el agua (180). En pruebas de campo, se ha mostrado que una sola rueda de paletas giratoria es suficiente para brindar una agitación adecuada, si se mantiene una

velocidad de flujo entre 15 a 25 cm /s (181). La gran cantidad de lagunas necesarias para alcanzar una producción a gran escala del aceite de algas, hace de este proceso intensivo en el uso de energía (180). El Dr. Benemann recomienda una velocidad de agitación entre 0.2 a 0.25 m/s como la máxima velocidad en promedio con algunos períodos cortos de velocidades mayores, necesarias al momento de la provisión de CO₂ para mantener las algas en suspensión (la cual dependerá de la cantidad de tiempo de la floculación) (40).

Durante el mezclado, se produce una resistencia al líquido que se acumula en el flujo alrededor de los 180 grados, se dobla en ambos extremos de los estanques , y fluye a través de los dos sumideros de carbonatación en contracorriente , y lo más importante , se produce la fricción de la parte inferior del estanque. La fricción de las paredes laterales del estanque poco profundo es insignificante. La pérdida de carga se calcula utilizando la ecuación de Manning. (40) Figura 81

$$h_b = \frac{Kv^2}{2g}$$

where h_b = headloss in the bend (m)
 v = the mean velocity (m/s)
 g = the acceleration of gravity, 9.81 m/s²
 K = kinetic loss coefficient for 180° bends (theoretically = 2)

Figura 81: Ecuación de Manning - Fuente: (40)

Con una velocidad de 0.25m/s, la perdida de carga en las curvas es Figura 82:

$$h_b = \frac{2(0.25 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.0064m$$

Figura 82: Cálculo de pérdida de carga en las curvas $h_b = 0.006371$ Fuente: (40)

Con 2 curvas 180° por circuito, $h_b = 0.0127$ m. Esta ecuación se utiliza también para determinar la pérdida de carga a través de los dos sumideros proveedores de CO_2 en cada pileta, con el resultado de $h_s = 0.0255$ m. (40)

La pérdida por fricción que ocurre a lo largo del Raceway se calcula en base a la ecuación de Manning (40) donde:

$$h_c = v^2 n^2 \left(\frac{L}{R^{4/3}} \right)$$

where: h_c = channel straightway headloss (m)
 n = roughness factor (Manning's n) = 0.018 for clay channels (Hudson, 1993)
 R = channel hydraulic radius (m)
 L = channel length (m)

Determinaremos de acuerdo al área seccional transversal, el perímetro mojado correspondiente a los piletones, el radio hidráulico. Con estos datos y el largo de cada canal, la pérdida de carga es la suma de la que proviene de las curvas, de los sumideros y del recorrido total:

$$h = h_b + h_s + h_c$$

La energía para llevar a cabo todo el proceso de cultivo, está dada por la siguiente ecuación de potencia, (considerando la inclinación de los lados de los estanques, el flujo es $2.31 \text{ m}^3/\text{s}$) (40). Por lo tanto la energía requerida es:

$$W = 9.80 \left(\frac{Qwh}{e} \right)$$

where,

W = power required (W)

Q = channel flow (m³/s)

w = unit mass of water, 998 kg/m³ at 20°C

h = total head loss (m)

e = paddle wheel and drive system efficiency (40% assumed)

9.80 = conversion factor in W·s/kg·m

En la Figura 83, observamos las dimensiones correspondientes a la Planta Piloto propuesta, así como también 2 columnas adicionales, una que corresponde a una dimensión proyectada industrial que surge de la literatura (40) (92), y la columna con el título Benemann, que es la dimensión del piletón industrial propuesto por el Dr. Benemann en la literatura. El objetivo en la exposición de estas columnas es solo a efectos comparativos para demostrar, que a mayor volumen, la potencia disminuye, y por ende la energía involucrada en el proceso. Es importante destacar que para el piletón de 500.000 L, la energía diaria por cultivo (bombeo, fricción, etc.) es igual a 18,36 KWh/día equivalentes a 6702 KWh/año. En la columna “Formulas” se pueden observar las formulas utilizadas para realizar los cálculos.

Tamaño Bioreactor	Micro	Mini	Inoculo	Industrial						Formulas	Beneman	
Volumen	500 litros	5000 litros	50.000 litros	500.000 litros						Variables elejidas: Volumen, Profundidad, velocidad, K, perdida sumideros, n y eficiencia	12.000.000	litros
(L) Largo de la Pileta	4,08 m.	12,91 m.	40,82 m.	129,10 m.						L=Raiz Cuad.(10*S)	679,57	m.
(A) Ancho de la Pileta	0,41 m.	1,29 m.	4,08 m.	12,91 m.						A=S/L	60,00	m.
(R) Ancho del Canal (Radio)	0,20 m.	0,65 m.	2,04 m.	6,45 m.						R=A/2	30,00	m.
(d) Profundidad	0,30 m.	0,30 m.	0,30 m.	0,30 m.						Ojo! L<2*R	0,30	m.
(S) Superficie Expuesta	1,67 m2	16,67 m2	166,67 m2	1.666,67 m2						S=(V/1000)/d	40.000,00	m2
(V) Volumen	500 litros	5.000 litros	50.000 litros	500.000 litros						V=0,3mx S	12.000.000	litros
(s) Seccion del canal	0,06 m2	0,19 m2	0,61 m2	1,94 m2						s=d*R	9,00	m2
(v) Velocidad	0,25 m/s	0,25 m/s	0,25 m/s	0,25 m/s							0,25	m/s
(Q) Flujo o Caudal	0,02 m3/s	0,05 m3/s	0,15 m3/s	0,48 m3/s						Q=s*v	2,25	m3/s
(Rh) Radio hidraulico	0,076 m	0,155 m	0,232 m	0,274 m						Rh=d*(R)/(R+2*d)	0,294	m
(K) Coef. Perdida cinetica	2,00	2,00	2,00	2,00							2,00	
(hb) Perdida en Curva x 2	0,0128 m	0,0128 m	0,0128 m	0,0128 m						hb=K*v^2*/2*g K=2	0,0128	m
(hs) Perdida SumideroCO2 x 2	0,0255 m	0,0255 m	0,0255 m	0,0255 m							0,0255	m
(hc) Perdida canal recto	0,00461 m	0,00563 m	0,01045 m	0,02638 m						hc=[v^2*n^2*(L-A)]/ Rh^(4/3)	0,12829	m
(n) Factor Mannings	0,018	0,018	0,018	0,018							0,018	
(h) Perdida total	0,0429	0,0439	0,0487	0,0646							0,1665	
(e) Eficiencia	0,400	0,400	0,400	0,400							0,400	
(W) Potencia	16,05 Watt	51,95 Watt	182,31 Watt	765,09 Watt							4314,84	Watt
(E) Energia Diaria	0,39 Kwh/d	1,25 Kwh/d	4,38 Kwh/d	18,36 Kwh/d							103,56	Kwh/d
Produccion Algas anual(P)	13 Kg.	134 Kg.	1.338 Kg.	13.383 Kg.							133.833	Kg.
CO2 Necesario Max.anual	27 Kg.	268 Kg.	2.677 Kg.	26.767 Kg.							267.667	Kg.
Potencia por Hectarea	96,27 Kw/Ha	31,17 Kw/Ha	10,94 Kw/Ha	4,59 Kw/Ha							2,59	Kw/Ha
Energia diaria por Hectarea	2.310,57 Kw/d/ Ha	748,03 Kw/d/ Ha	262,52 Kw/d/ Ha	110,17 Kw/d/ Ha							62,13	Kw/d/ Ha

Figura 83: Cálculo de la Energía necesaria para realizar el proceso propio de cultivo de microalgas - Fuente: (40) (100)

4.2.1.3.- Total Energía y Masa en el Cultivo

Del total de los cálculos anteriores, en la Figura 84, están listados todos los requerimientos de masa y energía involucradas en el proceso de cultivo:

Detalle	Cantidad Requerida (Ton/año)	Energia Directa (Kwh/año)	Energia Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.		
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.		
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.		
(d) Profundidad	0,30 m.		
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m2		
(V) Volumen	500.000 litros		
(W) Potencia	765,09 Watt		
(E) Energia Diaria	18,36 Kwh/d		
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.	13,38	Tn Biomasa
Cosecha Anual (20g/m2/dia)	12.166,67 Kg.	12,17	Tn Biomasa
Cultivo de Microalgas			
Volumen de Agua requerido (5,45 m ³ /m ² -año)	9.083,33 m ³	9083	m ³ agua
Energia Requerida para llevar el agua al pileton (1,35 MJ/m ³ de agua)	12.262,50 Mj	3.406	12.263
CO2 Necesario Max.anual (2 kg CO2/kg BM)	26.766,67 Kg.	26,77	Tn CO2
Variable energia requerida para inyectar el CO2	22 Wh/kg CO2		
Energia Requerida para inyectar el CO2	588,87 Kwh	589	2.120
Tasa de N requerida	0,088 Kg N/kg BM		
Total Requerimiento N kg	1.177,73 kg N		
Total Requerimiento Anual de N tn	1,18 tn N	1,18	tn N
Tasa de P requerida	0,012 kg P/kg BM		
Total requerimientos de P	160,60 kg P		
Total Requerimientos Anual de P	0,16 tn P	0,16	tn P
Total de Energias requeridas en el proceso de cultivo por bombeo y otros		6.702	24.128
Total Energia Cultivo		10.697	38.510
Total Energia de Cultivo / kg de Biomasa	2,88		

Figura 84: Energía requerida para el cultivo en un pileton de 500.000 L – Fuente: (100)

4.3.- Cosecha de Microalgas

La cosecha, ha sido señalada como uno de los cuellos de botella en el desarrollo de la cultura algal (182). La concentración de la biomasa en sus etapas de cosecha y secado es uno de las etapas más intensas en el consumo energético. Como vimos en el capítulo 2, hay una importante variedad de tecnologías para concentrar, deshidratar y secar la biomasa algal, algunas más eficientes pero demasiado caras en términos energéticos (como la centrifugación) (175). Otras, como la biofloculación, recomendada por el Dr. Benemann en el análisis de un caso similar pero a escala industrial donde se destaca que este proceso evita el uso de polímeros y ha sido demostrado a escala piloto en U.S. (40).

La materia seca final antes de realizar la producción de biodiesel, dependerá de los procesos seleccionados. Para la producción de biodiesel, el porcentaje varía de 12% a 30% si se realizara con proceso Húmedo, y 10% a 95% para extracción en seco. (175).

El objetivo final del proceso de la cosecha es de eliminar grandes cantidades de agua y recuperar grandes volúmenes de biomasa de microalgas (183).

Los procesos seleccionados para esta etapa son:

- Biofloculación - Centrifugación y
- Secado Rápido

Las ventajas de utilizar biofloculantes, incluye su biodegradabilidad, y su naturaleza no toxica. En varios estudios se ha demostrado, que se logra un mayor rendimiento utilizando una combinación de métodos de cosecha (184). En nuestro caso, y siguiendo la recomendación (184) (25), se utilizará la biofloculación, seguido por una centrifugación, donde se reduce el uso de energía de 13.8 MJ/kg (peso seco), a menos

de 2 MJ/kg (peso seco) (185) (186). La energía requerida entonces para realizar la cosecha, utilizando el método de biofloculación combinado con una centrifugación, es de 2MJ/kg (185) (186) que multiplicado por la producción anual de Algas de 13.383,33 kg equivale a 26.766.67 Mj/año por piletón de 500.000 litros (Ver Figura 85)

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)	Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.			
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.			
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.			
(d) Profundidad	0,30 m.			
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m ²			
(V) Volumen	500.000 litros			
(W) Potencia	765,09 Watt			
(E) Energía Diaria	18,36 Kwh/d			
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.	13,38	Tn Biomasa	
Cosecha Anual (20g/m ² /dia)	12.166,67 Kg.	12,17	Tn Biomasa	
Cultivo de Microalgas				
Cosecha				
Energía por biofloculation y centrifugacion por kg	2 MJ/kg		7.435	26.767

Figura 85: Cálculos Energía necesaria para el proceso de cosecha por biofloculación y centrifugación para un piletón de 500.000 litros Fuente: (100) (185) (186)

El agua intracelular restante en las células luego de aplicados los procesos anteriores, debe ser eliminado por procesos térmicos después de la deshidratación (187). Aunque muchas etapas de procesamiento adicionales con un contenido de agua de más de 75 % son factibles, puede ser necesario secar la biomasa casi por completo para evitar la presencia de agua antes de la etapa de extracción de lípidos, ya que esta puede ocasionar problemas en la recuperación de lípidos precursores de los metil esterres de ácidos grasos (183) (188).

El método técnicamente más sencillo y económico de secado de la biomasa deshidratada por procesos mecánicos mencionados es mediante el uso de la energía solar. Esto hace que sea un método ideal para aplicaciones sencillas en los países en desarrollo. La técnica, sin embargo, depende en gran medida de las condiciones climáticas y conlleva el riesgo de que la pasta de algas pueda decaer durante el proceso.

El secado se efectúa ya sea por la luz solar directa o por medio de un flujo de aire circulante calentado por energía solar. El secado de las algas bajo una cubierta de vidrio o de película de plástico transparente permite temperaturas más altas para ser alcanzado, y acelera el secado (175). Sin embargo, estas temperaturas son relativamente bajas y no son suficientes para esterilizar el producto, o de hecho para permitir la descomposición celular (189). Además, el método ocupa una gran cantidad de espacio y tiempo (175). El Dr. Benemann recomienda en algunos análisis, la utilización de este método en particular para grandes volúmenes con varias aclaraciones y también utiliza posteriormente el Flash Dryer. En nuestro caso, donde no tenemos grandes volúmenes a procesar, optamos por otro tipo de secado.

El método de secado Flash (Flash dryer) permite un secado muy rápido. La biomasa húmeda se pulveriza en una corriente ascendente de gas caliente en la parte inferior. Si bien fue el método seleccionado como primera opción, y aunque la literatura recomienda su uso con una salida de la centrifugadora con un contenido de 30 % de sólidos en la pasta de algas (188), en la práctica, El Ingeniero Rojo, con experiencia en este tema nos dice...” no creo que sea posible manejar ese barro al 30% para alimentar el flash, la alternativa sería mezclar la salida del secador con el barro para conseguir una alimentación con concentración del 70-80% a ver si en esa condición es manejable. Sigo pensando que un barro al 30% es secable con un secador spray...”.

En el secado por Spray o pulverización al igual que en el caso de los secadores flash, durante el proceso continuo, la pasta se seca en unos pocos segundos. Las algas se cargan en el secador en contra de un flujo de gas caliente. El producto seco se puede quitar desde el fondo de la secadora. Las partículas residuales en la corriente de aire se

separan por un ciclón. La humedad residual en el producto es 4%. (188). El Ingeniero Baron, de Algatec S.A., sugiere en su planta piloto de Rio Tercero, la utilización de este método de secado para la etapa de producción industrial (85).

Acorde a la selección del Secado Spray como método de secado para nuestro proyecto, y basado en un contenido de 20% sólidos en la pasta de algas, este proceso tiene una demanda de energía específica estimada de 3.66 kWh/kg (producto) (188).

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)	Energía (Kwh/año)	Energía MJ/año
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m ²			
(V) Volumen	500.000 litros			
(W) Potencia	765,09 Watt			
(E) Energía Diaria	18,36 Kwh/d			
Produccion Algas anual(P)	13.383 Kg.			
Cosecha Anual (20g/m ² /dia)	12.167 Kg.	12,17		
Energía diaria cultivo por Hectarea	110,17 Kwh/d/Ha			
Produccion diaria kilos	36,667 Kg.			
Secado				
Secado por Spray dryer en kwh/kg	3,66 kwh/kg			
Total Secado con Spray dryer	13,176 MJ/kg		44.530,00	160.308,00

Figura 86: Energía necesaria para el proceso de Secado con Spray dryer para la producción anual de un piletón de 500.000 litros Fuente: (100)) (188)

La Figura 87 muestra los cálculos totales correspondientes a toda la etapa de cosecha

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)		Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.				
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.				
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.				
(d) Profundidad	0,30 m.				
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m ²				
(V) Volumen	500.000 litros				
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.	13,38	Tn Biomasa		
Cosecha Anual (20g/m ² /dia)	12.166,67 Kg.	12,17	Tn Biomasa		
Cosecha					
Energía por biofloculation y centrifugacion por kg	2 MJ/kg			7.435	26.767
Secado por Spray dryer en kwh/kg	3,66 kwh/kg	12,17	Tn Biomasa	44.530	160.308
Total Energía Cosecha				51.965	187.075

Figura 87: Cálculos totales correspondientes a toda la etapa de Cosecha, incluyendo el Secado: Fuente (100)

4.4.- Extracción de Lípidos

Una vez que obtenemos la biomasa post secado, las algas se guardan en silos en el lugar donde están los piletones, para permitir un flujo continuo de transporte de la biomasa al lugar donde se procede a la extracción de los lípidos. Al llegar a las instalaciones donde se procederá al proceso de extracción, la misma es preparada de igual manera que se procede a los procesos de extrusión aplicados a semillas oleaginosas (técnica utilizada comúnmente en estas, pero que debe ser probada su eficacia con los copos de algas secas) (40).

El proceso de extracción vía el solvente convencional, Hexano, es el elegido para el presente proyecto, por su alta recomendación, donde la mayoría de la literatura apunta a que es el método menos hipotético, menos intenso energéticamente con una alta recuperación de lípidos y con menores emisiones de efecto invernadero (189) (176) (40). El aceite extraído, debe ser esterificado con un alcohol para convertirse en biodiesel. Esta transformación, es usualmente realizada en instalaciones donde reciben aceites de distintos orígenes. Asumimos que los rendimientos e instalaciones necesarias son similares a aquellas que se utilizan para otros tipos de biodiesel como los de soja. (178)

La principal variable que influye en la cantidad de biodiesel generada es el contenido de aceite del alga. No se colocaron las cantidades de hexano que ingresan en el proceso de extracción de aceite debido a que este se recupera por enfriamiento y se reutiliza. Lo mismo sucede con el alcohol en el proceso de transesterificación. Este se utiliza en exceso y parte del mismo se recupera y reutiliza.

Los valores de energías específicas correspondientes a la extracción de lípidos, fueron tomados de los modelos del Dr. Lardon, en su informe sobre el ciclo de vida energético de las microalgas (178) Ver Figura 88 y Figura 89

	Normal	
	dry	wet
Algae (kg)	5,93	8,39
Oil extraction		
heat (MJ)	7,1	22,4
electricity (MJ)	1,5	8,4
hexane loss(g)	15,2	55
Oil transesterification		
methanol(g)	114	114
heat (MJ)	0,9	0,9

Figura 88: Detalle de los flujos más importantes en la extracción y transesterificación de lípidos generados por la producción de 1 kg de Biodiesel. Fuente: (178)

Calculos para un pileton industrial de 500.000 L

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)	Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.			
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.			
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.			
(d) Profundidad	0,30 m.			
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m2			
(V) Volumen	500.000 litros			
(W) Potencia	765,09 Watt			
(E) Energía Diaria	18,36 Kwh/d			
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.			
Cosecha Anual (20g/m2/dia)	12.166,67 Kg.	12,17	Tn Biomasa	
Extraccion de lipidos				
Energia en forma de calor Mj/kg	1,20 MJ/kg		4.046	14.567
Requerimientos Electricos Mj/kg	0,25 MJ/kg		855	3.078
Total Energia por extraccion de lipidos por pileton de 500000L			4.901	17.645

Figura 89: Cálculo de energías requeridas correspondientes al proceso de extracción de lípidos – Fuentes: (100) (178)

Solo como comentario, Crown Iron Works Company (un proveedor importante de equipos para la extracción de aceites vegetales en Estados Unidos), preparo un detalle sobre el proceso de extracción de aceites de algas a partir de biomasa seca algal, incluyendo el detalle de requerimientos eléctricos y caloríficos, tanto como costos económicos aplicables a plantas de diferentes tamaños (40). Ver Figura 90

	Extraction Plant with 105 mt/d of Feed	Extraction Plant with 4,000 mt/d of Feed
Barrels Produced per Day at 25% Oil Content (bbl/d)	174	6,750
Area of Algae Ponds Needed to Supply Extraction Facility (ha)	500	20,000
Electrical Requirement (kWh/d)	2,330	43,800
Heating Requirement (MJ/d)	90,700	2,640,000
Number of Full Time Operators	27	27
Number of Full Time Managers	3	3

Figura 90: Requerimientos energéticos, caloríficos y económicos para una instalación de extracción de lípidos vía hexano, para una planta de 105 o 4000 mt/día de biomasa.-Fuente: (40)

Como se puede apreciar, en algunos informes, el proceso incluye la conversión a biodiesel (como en el caso del Dr. Lardon) y en otros, la conversión del aceite crudo de algas a biodiesel o diesel verde no se incluye en el análisis, como en el caso del Dr. Benemann donde la transesterificación queda fuera del análisis.

4.5.- Conversión de lípidos en Biodiesel – Transesterificación

Desde una perspectiva científica estricta, el biodiesel es exclusivamente el Ester metílico producido a partir del aceite extraído de la fuente oleaginosa. (190)

El nombre con el que se denomina a la reacción química como procedimiento industrial empleado en el proceso productivo del biodiesel es la transesterificación o alcoholisis. La transesterificación (como vimos anteriormente) consiste en el proceso reactivo de los aceites (triglicéridos) con un alcohol de bajo peso molecular, generalmente metanol, en presencia de un catalizador alcalino que habitualmente es el Hidróxido de Sodio (NaOH), entregando metilesteres y glicerol. El incremento de la velocidad de la reacción se produce bajo el uso de un catalizador, consiguiendo un mejor rendimiento. El transcurso del proceso se suele realizar a presión atmosférica y a

una temperatura próxima a los 65°C. Se requiere una rápida y sostenida agitación para obtener una correcta mezcla en el reactor, del aceite, el catalizador y el alcohol. (190)

Cuando la reacción toca a su fin, la turbulencia debe disminuir permitiendo al glicerol segregarse de la fase Ester. El metanol dado que es el más económico, suele ser el alcohol empleado en la reacción de transesterificación. (190)

El subproducto generado, la glicerina, se segrega del biodiesel. Tiene un valor económico añadido que puede ser empleado para compensar una parte de los costos. (190)

Un valor de rendimiento final común es un 90 %- 95%. La producción de los metilesteres, un periodo clave tras la reacción, es la separación del producto matriz del resto de subgéneros que se encuentran en el medio, especialmente, de la glicerina y el metanol residual. En el procedimiento básico, se realiza a través de un lavado con agua y una destilación del producto final. (189) (Tomaremos una eficiencia del 90%)

Las variables corresponden a las energías requeridas según el estudio de Ciclo de Vida Energético de Lardon (178). Asumimos un rendimiento del 90%, tal que para 12.166,67 kg de biomasa algal cosechada, que contiene 25% de lípidos, multiplicado por 0.15 Mj/kg de biomasa, tendríamos una energía de 410 Mj/año. Respecto a valores de metanol, el mismo se utiliza en exceso y parte del mismo se recupera y reutiliza y por eso no está considerado. Ver Figura 91

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)		Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.				
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.				
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.				
(d) Profundidad	0,30 m.				
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m2				
(V) Volumen	500.000 litros				
(W) Potencia	765,09 Watt				
(E) Energía Diaria	18,36 Kwh/d				
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.	13,38	Tn Biomasa		
Cosecha Anual (20g/m2/dia)	12.166,67 Kg.	12,17	Tn Biomasa		
Conversion de lípidos en Biodiesel					
Energía en forma de calor (Mj/kg) Lardon	0,15 Mj/kg	3,04	Tn Lípidos	127	456
Total Energía por conversión de lípidos a Biodiesel				127	456

Figura 91 – Energía por conversión de lípidos a biodiesel – Fuente: (178) (100)

4.6.- Digestión Anaeróbica

La recuperación de la energía, a partir de la biomasa residual del proceso de producción de biodiesel, implica un elevado potencial energético del proceso, pero mejora los rendimientos energéticos deficientes e incluso negativos del ciclo total. (177)

El proceso consiste en acoplar un reactor de digestión anaeróbica de la biomasa residual post-extracción de lípidos al proceso de producción de biodiesel (191), de manera de recuperar la energía contenida en tal residuo en forma de biogas, para la generación de energía eléctrica (176). La digestión anaeróbica es una tecnología robusta, ampliamente utilizada para la estabilización de residuos y la producción de energía desde fines del siglo XIX, por lo que en principio existiría factibilidad técnica para su aplicación. (191) (72).

Estudios realizados por Lardon y colaboradores, determinaron que por cada MJ de energía producido en biodiesel, existen 1.23 MJ de energía en residuo generado. Esta energía puede recuperarse en forma de biogas. (178)

La Figura 92 presenta el potencial energético bruto o sea la generación bruta de energía a partir de kg de sólidos volátiles (SV) de microalgas (177).

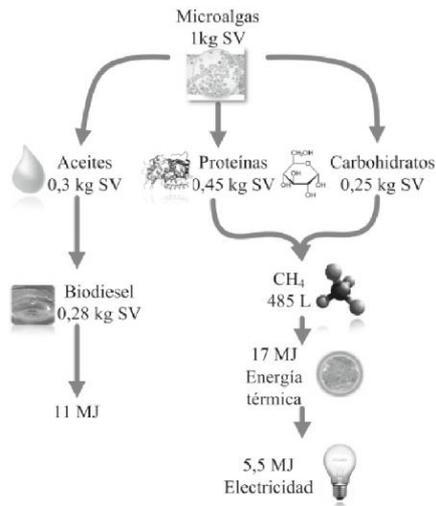


Figura 92: Generación bruta de energía a partir de 1 kg de sólidos volátiles (SV) de microalgas - Fuente: (177).

Para el análisis del aprovechamiento de la biomasa residual de microalgas de la post-extracción de lípidos, el mezclado en el digestor (excepto por alguna recirculación) y el calor (de lado por posible calor afluyente proveniente de calor residual) no son requeridas, acorde a las recomendaciones del Dr. Benemann (176). El total de energía generada por el biogas está basado en supuestas tasas de producción de gas 10Gj / tonelada de materia orgánica (10 MJ/kg de materia orgánica) (176). Más adelante, utilizaremos estos datos para calcular la cantidad de energía generada por este proceso.

4.7.- Suma de Magnitudes Energéticas

Dentro de la metodología que se estableció para el balance energético de la producción de biodiesel a partir de microalgas, la sección que requirió más trabajo fue la recolección de datos correspondientes a las energías requeridas específicas por cada actividad en cada etapa involucrada en el proceso de producción. Es de resaltar que para el tratamiento de los datos de energía, estas fueron transformados a una misma unidad

energía, por el cual, los valores obtenidos de kWh/año fueron convertidos a MJ/año utilizando la equivalencia de 3.6 MJ/KWh o viceversa.

Al haber obtenido el consumo energético por cada actividad involucrada en el proceso de producción, el siguiente punto fue la suma de cada uno de los consumos energéticos para obtener el total de energía necesaria del proceso de producción de biodiesel para un piletón de 500.000 L (Ver Figura 93). En la misma, se muestran las energías que fueron consumidas en el proceso de producción de biodiesel con la técnica de cosechado de biofloculación-centrifugación y secado para la producción de microalgas en un piletón Raceway de 500.000 Litros. Dichos valores fueron obtenidos considerando un porcentaje de lípidos de 25% y una producción de 22grs/m²-día con una cosecha de 20 grs/m²-día.

Detalle		Cantidad Requerida (Ton/año)		Energía Directa (Kwh/año)	Energía Directa equivalente (MJ/año)
(L) Largo de la Pileta	129,10 m.				
(A) Ancho de la Pileta	12,91 m.				
(R) Ancho del Canal (Radio)	6,45 m.				
(d) Profundidad	0,30 m.				
(S) Superficie Expuesta	1.666,67 m ²				
(V) Volumen	500.000 litros				
Produccion Algas anual(P)	13.383,33 Kg.	13,38	Tn Biomasa		
Cosecha Anual (20g/m ² /dia)	12.166,67 Kg.				
Cultivo de Microalgas					
Volumen de Agua requerido (5,45 m ³ /m ² -año)	9.083,33 m ³	9083	m ³ agua		
Energía Requerida para llevar el agua al pileton (1,35 MJ/m ³ de agua)	12.262,50 Mj			3.406	12.263
CO2 Necesario Max.anual (2 kg CO2/kg BM)	26.766,67 Kg.	26,77	Tn CO2		
Variable energía requerida para inyectar el CO2	22 Wh/kg CO2				
Energía Requerida para inyectar el CO2	588,87 Kwh			589	2.120
Tasa de N requerida	0,088 kg N/kg BM				
Total Requerimiento N kg	1.177,73 kg N				
Total Requerimiento Anual de N tn	1,18 tn N	1,18	tn N		
Tasa de P requerida	0,012 kg P/kg BM				
Total requerimientos de P	160,60 kg P				
Total Requerimientos Anual de P	0,16 tn P	0,16	tn P		
Total de Energías requeridas en el proceso de cultivo por bombeo y otros				6.702	24.128
Total Energía Cultivo				10.697	38.510
Total Energía de Cultivo / kg de Biomasa	2,88				
Cosecha					
Energía por biofloculación y centrifugación por kg	2 MJ/kg			7.435	26.767
Secado por Spray dryer en kwh/kg	3,66 kwh/kg	12,17	Tn Biomasa		
				44.530	160.308
Total Energía Cosecha				51.965	187.075
Extracción de lípidos					
Energía en forma de calor Mj/kg	1,20 MJ/kg			4.046	14.567
Requerimientos Electricos Mj/kg	0,25 MJ/kg			855	3.078
Total Energía por extracción de lípidos				4.901	17.644,74
Conversion de lípidos en Biodiesel					
Energía en forma de calor (Mj/kg) Lardon	0,15 Mj/kg	3,04	Tn Lípidos	127	456
Total Energía por conversión de lípidos a Biodiesel				127	456
Total Energías				67.690	243.686

Figura 93 – Detalle energías requeridas en un pileton de 500.000 L – Fuente: (100)

4.8.- Cuantificación del producto final y su energía

El producto final fue el biodiesel, a partir del cultivo de microalgas en piletones tipo Raceway, con la implementación de la digestión de la biomasa residual de microalgas después de la extracción de lípidos para la producción de gas metano. Para esto, hemos realizado el cálculo a partir del contenido energético reportado por el

biodiesel y el gas metano obtenido a partir de las microalgas y que fueron usados para estimar la energía dada por dichos combustibles. Ver Figura 94

Producto	Contenido energetico		Comentario	Valor Utilizado MJ/ton	Referencia
Biodiesel	35-40	Mj/kg	Representa 0,28 SV de biomasa de microalgas 11MJ/kg biomasa	40000 MJ/ton	(183) (192) (174) (173) - Referencia del Valor Utilizado: (177)
Metano	693	L/kg.biomasa a digerir	17 MJ * Kg de biomasa - Energia Termica a partir del Metano - o 485 L CH4 por kg biomasa	693 L/kg biomasa a dig	(177)
Metano	9,94	kwh/m3		9,94 Kwh/m3	(193)

Figura 94: Contenido energético de energía por biodiesel y Metano – Fuente: (100)

La determinación de la energía generada por el biodiesel se ve en la Figura 95:

Piletón de 500.000 L	Datos		Coment.
(S) Superficie Expuesta	1.666,67	m2	
(V) Volumen	500.000	litros	
Produccion Algas anual(P)	13.383,33	Kg.	22grs/m ² /dia= 80ton/ha/año
Cosecha Anual de Algas (kg)	12.166,69	Kg.	20grs/m ² /dia=73 ton/ha/año
Cosecha Anual de Algas (ton)	12,17	ton	
Lipidos (25%)	3,04	ton	
Eficiencia en la transest. (90%)	2,74	ton	
Contenido Energetico del Biodiesel	40000	Mj/ton	
Energia por biodiesel		109.500,21 Mj/año	

Figura 95: Energía generada anual por el biodiesel proveniente de un piletón de 500.000 L en una superficie de 1667 m²– Fuente: (100)

La determinación de la energía generada anual por el metano se ve en la

Figura 96:

Piletón de 500.000 L		Datos	Coment.
(S) Superficie Expuesta	1.666,67	m ²	
(V) Volumen	500.000	litros	
Produccion Algas anual(P)	13.383,33	Kg.	22grs/m ² /dia= 80ton/ha/año
Cosecha Anual de Algas (kg)	12.166,69	Kg.	20grs/m ² /dia=73 ton/ha/año
Cosecha Anual de Algas (ton)	12,17	ton	
Biomasa a digerir - (Biomasa - Lipidos)	9,13	ton	
Litros de Metano por kg Biomasa a digerir	693	litros/kg	
Total Litros de Metano	6.323.637	Litros	
Total m ₃ de Metano	6.324	m ₃	
Contenido Energetico del Metano	9,94	Kwh/m ₃	'(28)
Total Contenido Energetico en Kwh	62.856,95	Kwh	

Energia por Metano	226.285,03 Mj/año
---------------------------	--------------------------

Figura 96: Energía generada Anual por el Metano – Fuente: (100)

El Input de Energía recibido por Piletón de 500.000 L es: – Figura 97

Energia por biodiesel	109.500,21	Mj/año
Energia por Metano	226.285,03	Mj/año

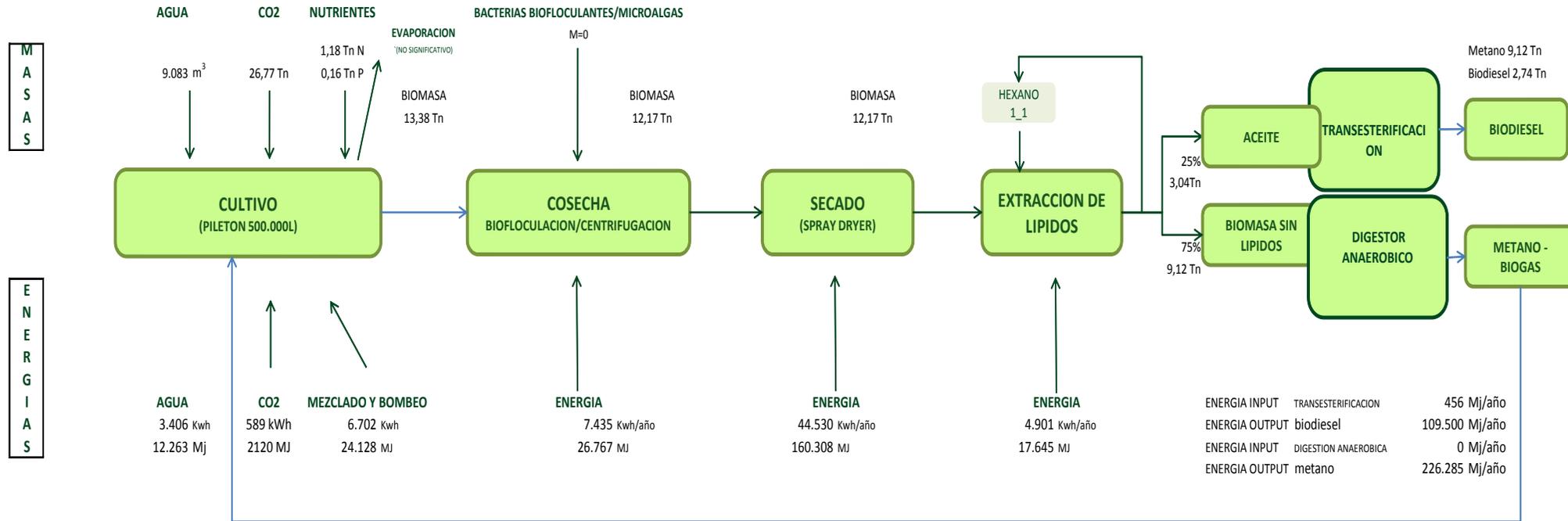
Total Energias	335.785,24 Mj/año
-----------------------	--------------------------

Figura 97 – Total Energías Generadas en el Proceso – Fuente: (100)

4.9.- Diagrama de Flujo

Ahora que tenemos todas las energías y las masas correspondientes al proceso, adjuntamos el diagrama de flujo. Figura 98

Figura 98 – Diagrama de flujo



4.10.- Relación de Energías

La literatura muestra distintas magnitudes en el Análisis del Balance Energético. Se mencionan, el valor de energía neta, la relación energética, el gasto energético y la Proporción Energética Neta (NER).

Como en la mayoría de los estudios realizados, para obtener el balance energético se buscan los valores de energía neta (VEN) y la relación existente entre los ingresos energéticos y las salidas. El valor de energía neta expresa la cantidad de energía que se estaría generando, contabilizando o no los subproductos. La relación energética estaría dando una idea de cuanta energía se genera en función de la que se consume (194). Para este estudio en particular, ambos quedan definidos de la siguiente forma:

Valor de energía neta = Energía generada – Energía consumida

Relación energética = Energía generada/Energía consumida

El gasto energético, permite relacionar las energías involucradas en el proceso, donde se considera la energía por etapa con respecto al biodiesel obtenido. De esta manera se conocerá si el proceso es energéticamente favorable o desfavorable. La magnitud de Proporción Energética Neta (NER), difiere en su definición en la diferente bibliografía. En el presente estudio y a efectos de poder comparar con otros resultados, NER se define como la suma de las energías primarias, dividido el contenido de energía en el biocombustible. Las energías primarias serían el cultivo, la cosecha y secado. (47)

Figura 99

$$\text{NER} = \frac{\text{Energía Primaria (Cultivo, Cosecha incl. Secado)}}{\text{Energía Contenida en el biocombustible}}$$

Figura 99: NER – Fuente: (47)

Los cálculos correspondientes al proceso de producción de biodiesel en el Raceway de 500.00 L se aprecian en la Figura 100:

Gasto Energetico Anual	
Energia cultivo	38.510,45 Mj/año
Energia Cosecha	187.074,67 Mj/año
Energia Extraccion	17.644,74 Mj/año
Energia Conversion	456,25 Mj/año
Total Energia consumida	243.686,11 Mj/año
kg Biodiesel	2.737,51 kg
Gasto Energetico	89,02 Mj/kg
NER	
$\text{NER} = \frac{\text{Energia Primaria (Cultivo, Cosecha incl.Secado)}}{\text{Energia Contenida en el biocombustible}}$	
NER	
Energia cultivo	38.510,45 Mj/año
Energia Cosecha	187.074,67 Mj/año
Total Energia Primaria	225.585,12 Mj/año
Total Energia Contenida en el biodiesel	109.500,21 Mj/año
NER	2,06
Total Energia Primaria	225.585,12
Total Energia contenida en el biodiesel + Metano	335.785,24
NER (biodiesel + Metano)	0,67

Figura 100 – Cálculos Correspondientes al Gasto Energético y al NER para la producción de biodiesel a partir de microalgas, en un piletón de 500.000 L- Fuente: (100)

El gasto energético en la producción de biodiesel se aprecia en la Figura 101:

Proceso	Mj/kg biodiesel
Cultivo	14,1
Cosecha	68,3
Extraccion	6,4
Transesterificacion	0,2

Figura 101 – Gasto energético en la producción de biodiesel de microalgas por proceso. Fuente: (100)

La figura 102 muestra la distribución porcentual de las energías consumidas por etapa de la producción de biodiesel, ocupando la etapa de cosecha el 76.77% de la energía total invertida, siendo la más intensa en consumo energético, debido principalmente a la utilización del Secado Spray, que requiere de 3.66 kw/h por kg de biomasa.

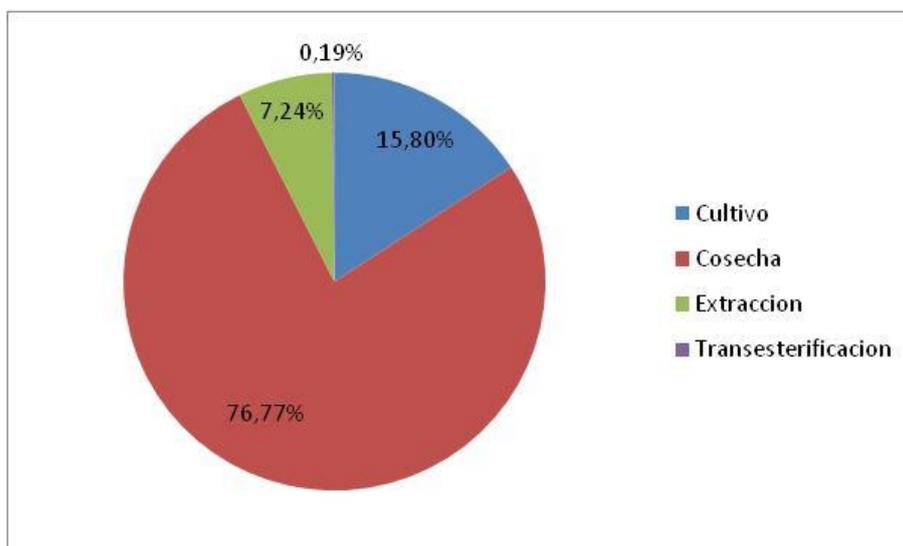


Figura 102 – Distribución porcentual de las energías consumidas en la producción de biodiesel de microalgas – Fuente: (100)

En el análisis del NER, encontramos un valor de 2.06 que indica que la energía primaria, es mayor que la energía contenida en el combustible, o sea que el proceso consume más energía que la que produce. Al incorporar la digestión anaeróbica en el proceso de producción, notamos que el valor pasa a ser menor que 1 (0.67),

mostrando una relación favorable en términos energéticos. En un estudio realizado por el Dr. Slade, (47) se realiza una comparación entre diferentes estudios de NER (Figura 103), donde para los sistemas de producción abiertos con piletones tipo Raceway, las diferencias más grandes provienen de la etapa de Cosecha y Secado, donde dependiendo del sistema seleccionado, los requerimientos energéticos varían.

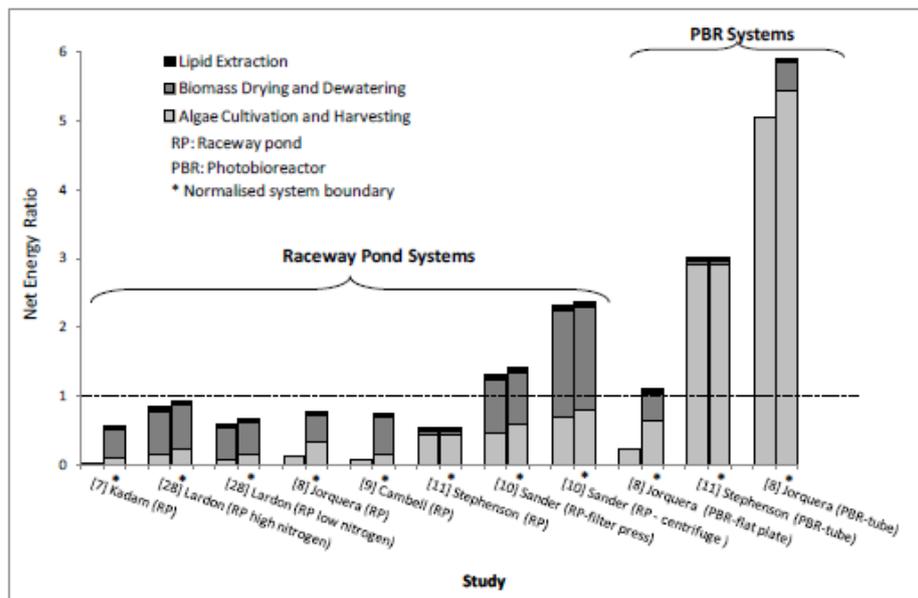


Figura 103 – Cuadro comparativo de valores publicados de NER – (por cada estudio figuran 2 columnas donde la derecha corresponde a la normalización de los parámetros para todos los estudios) - Fuente: (47)

Encontramos que alcanzar un balance de energía positivo, requiere de avances tecnológicos y una alta optimización de sistemas de producción.

La producción de algas requiere una cantidad de procesos demandantes de energías, donde el foco de la optimización debe estar en la cosecha, el secado y la energía de bombeo durante el cultivo. (47)

El balance energético de la producción de biomasa de algas, muestra que los inputs requeridos de energía, son muy altos. Esto puede limitar su valor como fuente de

energía e indicar que la producción de algas puede ser más atractiva, donde la energía no es el producto principal. (47)

La producción de biodiesel a partir de microalgas es una tecnología emergente considerada por muchos como una fuente muy prometedora de energía, principalmente debido a su reducida competencia por tierra. Sin embargo, la evaluación de impacto y el balance energético muestran que el biodiesel de algas sufre de varios inconvenientes en el actual nivel de madurez de la tecnología. En comparación a los cultivos energéticos convencionales, los altos rendimientos fotosintéticos de las microalgas reducen significativamente el uso del suelo y de los pesticidas pero no las necesidades de fertilizantes. Por otra parte, la producción, la cosecha, y la extracción de aceite de inducen un alto consumo de energía, que puede poner en peligro el equilibrio energético global. Parece que incluso si el biodiesel de algas no es ambientalmente competitivo bajo los actuales supuestos de viabilidad, hay varios focos de mejora potencial que pueden contribuir a reducir la mayoría de los impactos. Una producción a gran escala puede ser seriamente considerada si se ha alcanzado una mejora en los siguientes puntos: la elección de especies de microalgas que mantengan un contenido alto en lípidos y bajo contenido de proteínas con altas tasas de crecimiento sostenido, la configuración de un método de cosecha/extracción con energía eficiente, y la recuperación de la energía y los nutrientes contenidos en la torta oleaginosa.

Más en general, LCA aparece como una herramienta relevante para evaluar nuevas tecnologías para la producción de energía. Incluso cuando se trata con tecnologías jóvenes e inmaduras, esta herramienta identifica los cuellos de botella tecnológicos y, por lo tanto, apoya al diseño de una cadena de producción eficiente y sostenible. (178)



Capítulo 5

Evaluación económica

5.- Evaluación Económica

5.1.- Objetivos

El propósito de este capítulo es determinar y analizar los costos de capital y operativos de la planta piloto propuesta en el capítulo anterior. Los mismos basados en las prácticas y tecnologías actuales de producción de biomasa de microalgas para producir biodiesel. Los objetivos a alcanzar incluyen:

- I. Identificar y analizar los costos de capital asociados con la planta piloto de producción de microalgas propuesta en el capítulo anterior.
- II. Cuantificar los costos operativos asociados.
- III. Determinar el total de costos.
- IV. Reconocer las partidas incluidas en los costos de capital y operativos que contribuyen en gran medida a la variable global y desarrollar opciones alternativas que permitan explorar una reducción de estos costos.
- V. Realizar un análisis de los resultados obtenidos

5.2. - Consideraciones

- a. Se adjuntan las Figuras 104 y 105 con las principales variables consideradas
- b. No están considerados los costos de las modificaciones a realizar en las Chimeneas de la central Térmica para la provisión de Dióxido de Carbono.
- c. Se excluyen los costos de capital correspondientes al sistema de provisión de Dióxido de Carbono.
- d. No están considerados los costos de arranque.
- e. No están considerados en la presente evaluación los costos por permisos legales, administrativos e impuestos.

- f. El análisis de dimensión y costos de los equipos para la cosecha, secado, extracción y transesterificación, está realizado sobre la base de los dos piletos de tamaño industrial, que representan el 90% de la producción de la biomasa.
- g. Asumimos que las variaciones del tipo de cambio dólar serán similares a la inflación.
- h. Asumimos un tipo de cambio 1USD = 16 \$ Argentinos según pronósticos a diciembre del 2015 para finales de 2016 (195)
- i. Asumimos que las condiciones de agua de alimentación son las requeridas para realizar el cultivo.

Parametros de Ingenieria		
Dias trabajo planta		365 dias
Eficiencia sistema cosecha		90%
Tamaño Planta Piloto		0,4 ha
Reciclado de nutrientes		si
Ancho Pileton Industrial		12,91 metros
Largo Pileton Industrial		129 metros
Profundidad		0,3 metros
Paddlewheel por pileton		1
Cant. Metros separando Raceways		2
TSS post biofloculacion/sedimentacion		2-3%
TSS post centrifugacion		30%
TSS post secado		95%
Parametros Variables		
Produccion		22gs/m2/dia
Cosecha		20g/m2/dia
contenido de aceite		25%
kg. CO ₂ / kg biomasa algas		2 kg
Kg. N/tn.biomasa seca		88 kg
Kg. P/tn biomasa seca		12 kg
Parametros Economicos		
Costo Terreno por hectárea	USD	35.000
Costos Electricidad	(per kwh)	1,237
Nutrientes costo	\$	0
CO ₂ Costo	\$	0
Bono a 30 años		5%
Depreciaciones		3%
Base dólar	1 USD	16 \$
Informacion		2016
Costos Laborales		
Personal	Cantidad	5
Posiciones a cubrir	Jefe de Procesos	1
	Personal Administrativo	1
	Operador de Laboratorio	1
	Operador de Campo	2

Figura 104 – Detalle de principales variables consideradas – Fuente: (100)

Tamaño Bioreactor	Micro		Mini		Inoculo		Industrial	
Volumen	500 litros		5000 litros		50.000 litros		500.000 litros	
(L) Largo de la Pileta	4,08 m.		12,91 m.		40,82 m.		129,10 m.	
(A) Ancho de la Pileta	0,41 m.		1,29 m.		4,08 m.		12,91 m.	
(R) Ancho del Canal (Radio)	0,20 m.		0,65 m.		2,04 m.		6,45 m.	
(d) Profundidad	0,30 m.		0,30 m.		0,30 m.		0,30 m.	
(S) Superficie Expuesta	1,67 m ²		16,67 m ²		166,67 m ²		1.666,67 m ²	
(V) Volumen	500 litros		5.000 litros		50.000 litros		500.000 litros	
Cantidad	2		2		2		2	
Total Superficie por tamaño	3,33 m ₂		33,33 m ₂		333,33 m ₂		3.333,33 m ₂	
Produccion Algas anual(P)	26,77 Kg.		267,67 Kg.		2.676,67 Kg.		26.766,67 Kg.	
Cosecha Algas Anual ©	24,33 Kg.		243,33 Kg.		2.433,33 Kg.		24.333,33 Kg.	
Lipidos 25%	6,08 Kg.		60,83 Kg.		608,33 Kg.		6.083,33 Kg.	

Figura 105 – Dimensión total planta piloto – Fuente: (100)

5.3.- Determinación de los costos del proyecto

Para realizar la evaluación económica, debemos distinguir:

5.3.1.- Costos de capital o inversión de capital y,

5.3.2.- Costos Operativos

5.3.1.- Costos de Capital

En la Figura 106, se listan los diferentes ítems asociados a los costos de capital

(196)

5.3.1 Costos de Capital	
1	Terreno
2	Preparacion del Terreno
3	Raceways, diques y divisores
4	Recubrimiento del Pileton - Membrana
5	Sistema de Mezclado
6	Captacion de Agua
7	Provision de Dioxido de Carbono
8	Costos de Capital involucrados en la cosecha de Microalgas
8 .1	Biofloculacion - Sedimentacion
8 .2	Centrifugacion
8 .3	Secado
9	Extraccion y Transesterificacion
9 .1	Extraccion
9 .2	Transesterificacion
10	Nutrientes - Digestor Anaerobico

Figura 106: Listado de costos de capital para una Planta Piloto de Microalgas para la producción de biodiesel (se han excluido algunos) – Fuente: (196) (100)

Para la presente Tesis, se obtuvieron los costos de capital correspondientes al Terreno, la construcción de los piletones, y los equipos más importantes vinculados al cultivo, la cosecha, la obtención de aceite y la transesterificación, incluido el digestor anaeróbico. Además, se estimaron acorde a la literatura (181), porcentajes para equipos auxiliares (20% s/equipos), obras civiles que incluyen el laboratorio exclusivo de algas (15% s/equipos), los honorarios de Ingeniería (10% s/equipos), la instrumentación de equipos (5% s/equipos) y las contingencias (10% s/subtotal) (181) (197).

5.3.1.1.- Terreno

En el capítulo sobre la localización, se realizó un detalle de los parámetros necesarios para la ubicación de la planta piloto, donde surgió que los mismos incluían:

- a) Presencia de una central térmica o fuente generadora de CO₂,
- b) Presencia de un punto de generador de nutrientes,
- c) Parámetros climatológicos aproximados a:

- Temperatura media anual superior a los 12°.8 C°
- 200 días anuales libres de heladas
- Heliofanía: 7 horas de sol por día equivalentes a 2800 horas acumuladas anuales medias
- Precipitaciones aprox. 1016 milímetros anuales

d) Parámetros Sociales:

- Densidad de Población superior a 25hab*km²
- Relevamiento capacidad de mano de obra accesible

e) Terrenos

- Terrenos con una elevación no superior a 500m
- Parque industrial

f) Otros

- Relevamiento Rutas y Accesos

De la matriz surgió Timbúes como lugar elegido, y específicamente en el predio de la Central Térmica, ocupando aproximadamente 0.4 hectáreas.

El monto considerado del terreno, surge de un relevamiento realizado sobre el valor de los terrenos de la zona. Hay una diferencia significativa si el espacio tiene costa de río, o salida directa a este, si tiene calado para barco o no, si esta sobre la ruta o si está más cerca de Timbúes ciudad o alguno de los pueblos cercanos.

Tomaremos como referencia 35.000 USD/ha. El mismo proviene de la valuación de un campo de 10.5 ha. en venta en la zona (Ver Anexo IX), sobre ruta, sin tener costa de Río, pero con acceso al mismo, valor similar hemos encontrado en un campo cercano en Ricardone, Santa Fe. (Ver Valor Figura 107)

Terreno	USD	Total Hs. Planta Piloto	Total USD	Total \$
Valor Hectarea Zona	\$ 35.000	0,4	\$ 14.000	\$ 224.000

Figura 107 – Valor Terreno – Fuente: (Anexo IX) (100)

5.3.1.2.- Preparación del Terreno

El primer paso para realizar la construcción de la planta piloto es la preparación del terreno, que incluye los costos relacionados con el lugar a realizar la obra. La preparación del terreno incluye la remoción de la vegetación, de las rocas u otros impedimentos y rellenar la tierra para nivelar (92) (198). Para las tareas de preparación del terreno, seleccionamos dos proveedores, Sorja S.A. (199) y Antonio y Teresa Russo S.A. (200). Ambos proveedores son de una zona próxima a la ubicación de la planta, el primero de San Lorenzo, el segundo de Rosario. Los números que incluiremos en el proyecto provienen de Sorja S.A. (El segundo proveedor presento costos muy altos porque considero una remoción mayor de suelo igual a 40 cm de suelo vegetal (Ver Anexo X)

Dentro de la preparación del terreno debemos considerar las siguientes actividades:

- a) Limpieza del sitio
- b) Refinado del terreno (arado, disqueado)
- c) Nivelación
- d) Compactación

Ambos proveedores elaboraron sus presupuestos, de forma diferente, Sorja S.A. hizo una separación entre el costo de desmonte-limpieza y el costo por nivelación y

compactación, mientras que Antonio y Teresa Russo S.A., entrego su presupuesto total sin detalle. (Ver Anexos X y XI).

a) Limpieza del sitio:

En el caso del área seleccionada, se puede apreciar en la Figura 108, que no se necesita una limpieza general. No se visualizan rocas o arboles, u otros objetos que impidimenten la construcción y por ende no asumiremos costo en concepto de Limpieza Gruesa.



Figura 108: Vista de Área Central Térmica San Martín y Central Térmica Vuelta de Obligado.
Fuente: (167)

b) Refinado del terreno (arado, disqueado):

Esta actividad es necesaria previa a la nivelación del terreno. En la mayoría de los casos, se debe desmontar parte del horizonte vegetal, en un espesor promedio de 20-40 cm., realizado con una retroexcavadora y una pala cargadora.

c) Nivelación:

Esta tarea se realiza normalmente a través de tractores grandes equipados con niveles láser. El sitio entero debe estar nivelado para simplificar la topografía y la construcción en el lugar. Para nivelar efectivamente todo el sitio, serian requeridas dos pasadas, con el tractor y el rascador. Para esta tarea se utiliza una moto niveladora.

d) Compactación:

La misma se realiza pasando dos veces con los tractores compactadores. Los equipos a utilizar en este caso particular serian una moto niveladora y un equipo Dinapac, autopropulsado con pata de cabra.

Ver detalle presupuesto Sorja S.A. por tareas de preparación del terreno. (Figura 109):

Actividad	precio	Superficie	Profundidad	Pesos	USD 1=16	
Desmante	175 m ³	+ IVA	4000	0,2	\$ 140.000	\$ 8.750
Relleno, compactacion y nivelacion	270 m ³	+ IVA	4000	0,2	\$ 216.000	\$ 13.500
Preparacion Terreno					\$ 356.000	\$ 22.250

Figura 109 – Detalle cotización Sorja S.A. por tareas de preparación del terreno.- Fuente: Anexo XI

5.3.1.3.- Raceway, diques y divisores

Los Raceways (piletones) se construyen por diques que forman el perímetro de la pista de rodadura y como mencionamos en capítulos anteriores, tienen un divisor situado en el centro.

Existe una variedad de técnicas de construcción de los estanques que van desde aquellos realizados con arcilla hasta los de hormigón. Cuatro de las opciones se ilustran

en la Figura 110. En general, las paredes deben ser de 0,4 a 0,8 metros de altura. En los estanques grandes, se utilizan paredes más altas, por las mayores ondas inducidas por el viento. En la mayoría de los casos, el muro en el centro que divide los dos canales se construye de igual material y manera que las paredes exteriores. En los estanques pequeños puede utilizarse un método menos costoso para los divisores (ej., membranas). (198) (203).

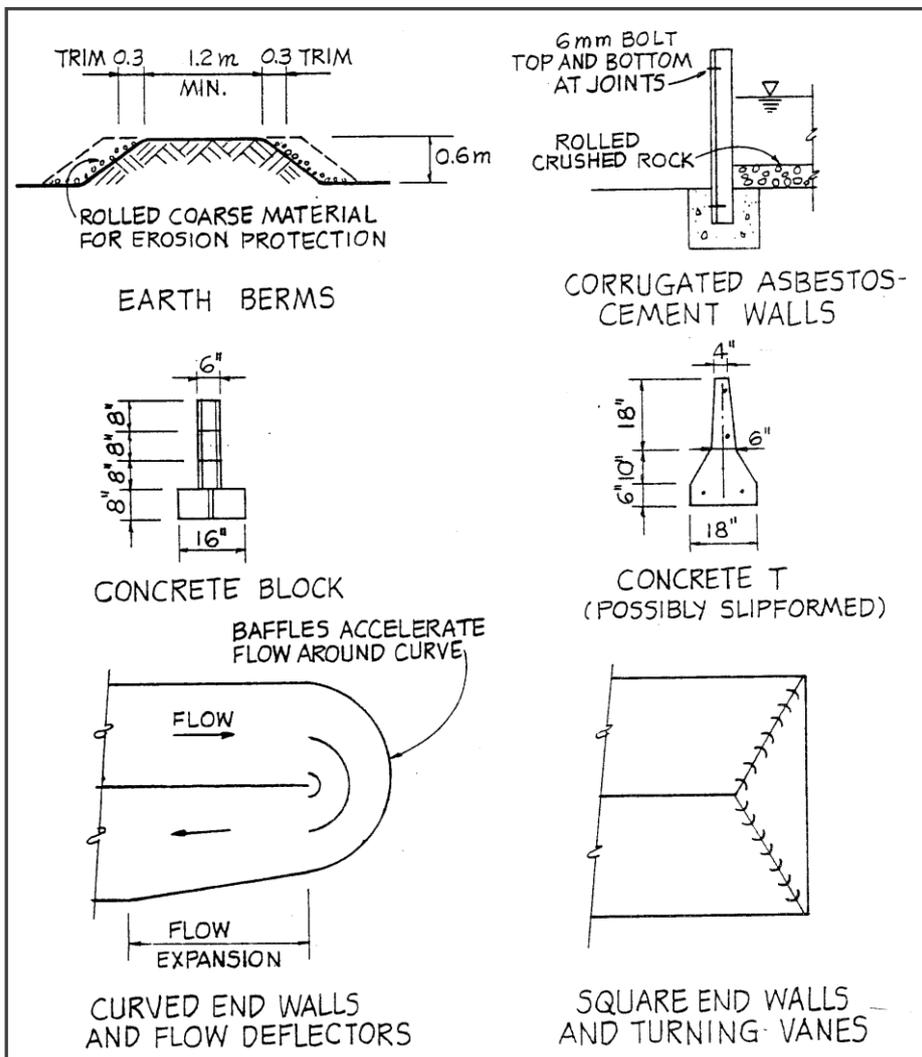


Figura 110 – Técnicas de construcción y materiales de Raceway – Fuente (198)

En el presente proyecto, la profundidad del cultivo es de 30 cm y las dimensiones consideradas son las que están incluidas en la figura 105.

Si bien en la presente tesis, por simplificación, realizamos los cálculos para la construcción de los 4 tamaños de piletones con la misma técnica, en varios estudios se recomienda lo siguiente para los tamaños pequeños: Para el estanque de 500 L, se utilizan estanques artesanales de cultivo de microalgas, con una construcción a bajo costo utilizando plásticos de 0,5 mm de espesor (PVC, EVA), de calidad alimentaria de preferencia; los laterales consisten en un muro de ladrillos, o una estructura de madera, o tubos metálicos o PVC. El hormigón es un buen material para los estanques, pero necesita albañiles experimentados y para el menor tamaño, no es aconsejado. La calidad del revoque es muy importante. Antes de agregar el medio de cultivo es recomendable pintar la superficie del estanque con dos manos de pintura común a la cal. Un invernadero sobre los estanques ofrece muchas ventajas a condición de que pueda ser aireado y sombreado. La agitación de los estanques se puede hacer a mano con una escoba, una vez cada hora o dos horas (más frecuentemente si el sol es fuerte). Si se dispone de electricidad, se pueden utilizar pequeñas bombas de acuario para agitar los estanques chicos (una potencia media de 1 W/m² es suficiente). Los estanques industriales son agitados con paletas, pero ésta es una técnica considerada como un poco difícil de emplear en los pequeños estanques artesanales (201). El fondo y paredes serían de color blanco favoreciendo la reflexión de rayos solares para mejorar las condiciones de iluminación. Tales sistemas han sido utilizados para realizar ensayos a escala laboratorio en la región de Cuyo (Figura 111) (149) (198).



Figura 111: Sistema de cultivo tipo hipódromo (Raceway ponds) a pequeña escala. Fuente: (149)

Para el presente estudio, analizamos 2 alternativas:

La primera sería construir los piletones con tierra, recubriendo con la membrana geotextil Ver Punto 5.3.1.4.- Recubrimientos Raceway. Esta opción incluye los siguientes pasos:

- 1) Preparación de todo el terreno: desmonte de primera capa de suelo y relleno con suelo compactado (que se evaluó en el punto anterior)
- 2) Excavación de los piletones y armado de taludes de tierra para los bordes y tabique central
- 3) Compactación del terreno correspondiente al fondo de los piletones
- 4) Aplicación membrana geotextil – similar a la utilizada en piletas de tratamiento cloacal. Manto de polietileno de alta densidad.

El resumen de los costos se puede ver en la Figura 112 al final del punto 5.3.1.4.-

La segunda opción, corresponde a la construcción de los piletones, sobre el terreno nivelado, con bloques de cemento. Esto incluye los siguientes pasos:

- 1) Preparación de todo el terreno: desmonte de primera capa de suelo y relleno con suelo compactado (que se evaluó en el punto anterior)
- 2) Nivelación (que se evaluó en el punto anterior)
- 3) Ejecución de los tabiques de bloques de cemento con su correspondiente viga de fundición

El resumen de los costos correspondientes se puede apreciar en la Figura 113 al final del punto 5.3.1.4.-

En ambos casos, la mano de obra está incluida en el costo enviado por Sorja S.A., y está claro, que la selección al momento del presente estudio es optar por la construcción de los piletones, las paredes y los tabiques, excavados en la tierra, con la compactación del fondo de los piletones y el recubrimiento con la membrana de alta densidad por presentar un significativo costo menor.

5.3.1.4.- Recubrimiento del Raceway - Membrana

Existen diferentes alternativas de cubrir la estructura del Raceway. Los objetivos son: la habilidad de crear una superficie impermeable, que genere la menor cantidad de filtraciones posible, que sea relativamente fácil de instalar, tenga larga vida y que sea económicamente viable (196). El costo varía significativamente dependiendo del material utilizado. El método más barato, es no recubrir el piletón con material sintético, sino con material arcilloso del lugar. Sin embargo, depende del contenido de arcilla en el suelo de la planta piloto elegida. Aún en el caso de la membrana mas económica,

generalmente esta tiene un doble de costo si se utiliza la arcilla para cubrir (40). De todas maneras, sin la protección de una membrana, los estanques se exponen a un deterioro natural (196), además al dejar los piletones al aire libre (un mecanismo que se utiliza para manejar las especies de algas), nos estaríamos exponiendo a quiebres en la arcilla (40), adicionalmente la utilización de estanques sin cubrir con membranas sintéticas, no permite limpiar los piletones y esto presenta una de las mayores inconvenientes a la hora de mantener continuamente la especie algal seleccionada (40).

En una conferencia, el Dr. Ben Amotz resumió, las características de los diferentes materiales de cobertura de los piletones (84). (Ver Figura 114)

None:	leak
Clay:	leak, anaerobic areas
Concret:	break
Asphalt:	disintegrate
Fiberglass:	expensive
High density polyethylene (HDPE):	break, high temperature expansion coefficient
Polyethylene:	ok, low "n" but welding problem
Polypropylene:	ok, low "n"
PVC (technical grade, food grade):	ok, low "n"
PVC, Geo-textile underline:	may be needed
PVC, UV resistance, ease of maintenance, simple welding, durable	

Figura 114: Descripción sobre los distintos materiales de cobertura del piletón – Fuente: (84)

El costo de las diferentes membranas sintéticas, depende del tipo de material y su espesor (203).

Para el presente proyecto, se ha seleccionado una membrana de polietileno de alta densidad. Ver Anexo XII con características del material y cotización del proveedor

Hugo Chinelatto en Santa Fe de 9, 85 USD/m² más IVA. Los costos se ven incluidos en la Figura 112

Actividad	precio	Superficie	Profundidad	Pesos	USD 1=16	
Excavacion de piletones, armado de taludes de tierra y tabique central	175 m ³	' + IVA	3700	0,45	\$ 291.375	\$ 18.211
Compactacion de suelo base piletones	20 m ²	' + IVA	3700		\$ 74.000	\$ 4.625
Ejecucion Membrana geotextil, manto polietileno alta densidad	9,85 USD/m ²	' + IVA	3700		\$ 583.120	\$ 36.445
					Total Costo construccion Piletones	\$ 948.495
					Area	3700 'm²
					Costo por hectarea	\$ 256.350

Figura 112 – Costo construcción de piletones utilizando tierra compactada y manto de polietileno de alta densidad – Fuente: (100), Anexo XI, XII

Actividades	Preparacion Terreno		\$ 342.500	\$ 21.406	
construccion piletones con tabique de bloques de cemento, y viga	1920 m ²	' + IVA	3700	\$ 7.104.000	\$ 444.000
				Total Costo construccion Piletones	\$ 7.104.000
				Area	3700 'm²
				Costo por hectarea	\$ 1.920.000

Figura 113 - Costo construcción piletones con tabique de bloques de cemento y viga - Fuente: (100), Anexo XI

5.3.1.5.- Sistema de Mezclado

Los Raceway utilizan agitadores de tipo Paddlewheel (Figuras 115a, 115b y 115c), ya que las experiencias han mostrado que estos son lejos los más eficientes para el mezclado de la cultura algal además de ser fáciles de mantener (182). Estos dispositivos son ampliamente utilizados, pero a la hora de escalarlos a un tamaño industrial, a veces pueden ser prohibidos por su costo económico (196), en su lugar a veces se utilizan mezcladores eléctricos modificados como los que se utilizan en estanques de acuicultura. Como mencionamos en capítulos anteriores, el mayor objetivo del mezclado en los piletones, es llevar y traer a las algas a la zona de luz, para mejorar la distribución de la luz en las células y así, optimizar la fotosíntesis (40).

Para el presente proyecto, se seleccionó un proveedor especialista en agitadores (MYV Mixing), que presupuestó paddlewheels para cada tamaño de Raceway, en acero inoxidable, y con una velocidad de mezclado de 30 cm/seg. (40). La cotización realizada incluye acople, eje, paletas portarodamientos con placa para fijar al piso y cajón tipo capucha para motor reductor, que sirve para protegerlo de la lluvia. El motor reductor tiene una protección IP 54, que garantiza protección contra salpicaduras de agua desde cualquier dirección. El costo es USD 32.750 para los agitadores de los 8 Raceway. Ver detalle en Anexo XIII cotización, especificaciones y manuales del motor reductores.



Figuras 115a, b y c – Vistas paddlewheel – Fuentes: (202) (203)

5.3.1.6.- Captación de Agua

La Central Térmica en Timbúes, cuenta con un sistema de agua de circulación para la refrigeración del condensador desarrollado en sistema abierto, mediante la captación directa de agua del río y sobre la que se aplica tratamientos primarios para descartar el ingreso de materiales gruesos (204). La planta piloto ubicada teóricamente a aproximadamente 200 metros, se conectará a este circuito para abastecer en las primeras cargas de agua a los piletones y la recarga diaria por evaporaciones, pérdidas y purgas. Asumimos que las condiciones de agua de alimentación son las requeridas para realizar el cultivo.

Para este ítem, el cálculo de tuberías e instalaciones a realizar, utilizaremos el coeficiente que se utiliza en algunos estudios de un 20% sobre los equipos instalados (205).

5.3.1.7.- Provisión de CO₂

Como todos los organismos fotosintéticos, las algas utilizan el CO₂ como fuente de carbono. En ausencia de este compuesto el crecimiento se considera nulo, al igual que un suministro insuficiente a menudo es el factor limitante de la productividad. Según la composición química media de la biomasa de las algas, se necesitan entre 1.8-2 toneladas de CO₂ para producir una tonelada de biomasa (206). Los mismos provenientes de centrales térmicas contienen entre un 4 y un 15% de CO₂ y son gratuitos o incluso beneficiosos si se dispone de un esquema financiero para la prevención de los Gases Efecto Invernadero. El único gasto es el suministro de la fuente al sistema de cultivo que puede ser importante según la distancia o la profundidad del agua. El CO₂ solo es necesario durante el día, ya que las algas por la noche como cualquier organismo aeróbico producen CO₂ mediante la respiración. (Una posible alternativa es la disolución en agua del CO₂ de los gases de combustión hasta su máxima concentración por la noche y añadir esta agua al sistema de cultivo durante el día). En el caso de los sistemas abiertos, no todo el CO₂ suministrado será absorbido, por lo que se suelen añadir los gases de combustión en exceso. En principio todos los gases de combustión disponibles se pueden añadir a los tanques de algas. Parte del CO₂, NO_x y SO_x se disolverán, el resto se disiparán a la atmósfera como sucede convencionalmente (FAO, 2009). Después de estudiar el cultivo de algas con gases de combustión, NEGORO et al. publicó que el SO₂ y el NO_x de los gases de combustión inhibían el crecimiento, pero unos años más tarde se publicó que no había apenas

diferencias con el crecimiento respecto al CO₂ puro. Además el NO_x disuelto puede ser utilizado por las algas como fuente de nitrógeno. Los gases de combustión necesarios por hectárea diferirán según la especie de alga utilizada y también variarán a lo largo del día con la intensidad lumínica y con la temperatura, por lo que ha de optimizarse para esta aplicación. Hay que destacar que altas concentraciones de CO₂ disuelto (e incluso SO₂) afectaran al pH por lo que deben ser controladas o tamponadas (206).

La literatura ofrece varias maneras proveerles de CO₂ a las algas, como ser:

- En proyectos donde el objetivo del mismo es la absorción de Dióxido de Carbono de la atmósfera: La empresa alicantina Biofuel Systems, puso en marcha un bioacelerador para absorber el CO₂ de la atmósfera, además de colaborar con la transformación de la biomasa obtenida de los procesos, en productos como la celulosa o productos de farmacia, que luego se pueden comercializar. Al momento no encontramos registros técnicos.
- El Dr. Ben Amotz, en su Workshop Wind, Sea Algae, describió como una de las maneras de reducir los costos en los proyectos de producción de microalgas, la posibilidad de utilizar el agua proveniente del sistema de enfriamiento de las centrales térmicas, así como también los gases de las mismas. Para esto, se necesita: que la central térmica tenga el sistema de desulfurización de gases, que elimina el contenido de SO₂ de los gases utilizando un sistema de ingeniería sofisticada. A partir de esto, los gases se toman desde el fuste de la chimenea con una brida y un tubo dirige el gas a través de un sistema de enfriamiento, condensación, filtración y desde allí, se burbujea en los piletones (207). Esto se realiza actualmente en Israel desde el 2006 en una planta piloto con captación directa desde la chimenea de la central, y donde se comprobó que los gases

aplicados directamente tienen una respuesta un 40% mejor que el CO₂ aplicado puro, además se vió una mejor respuesta si no hay compresión de gases. (207)

(79) Figura 116

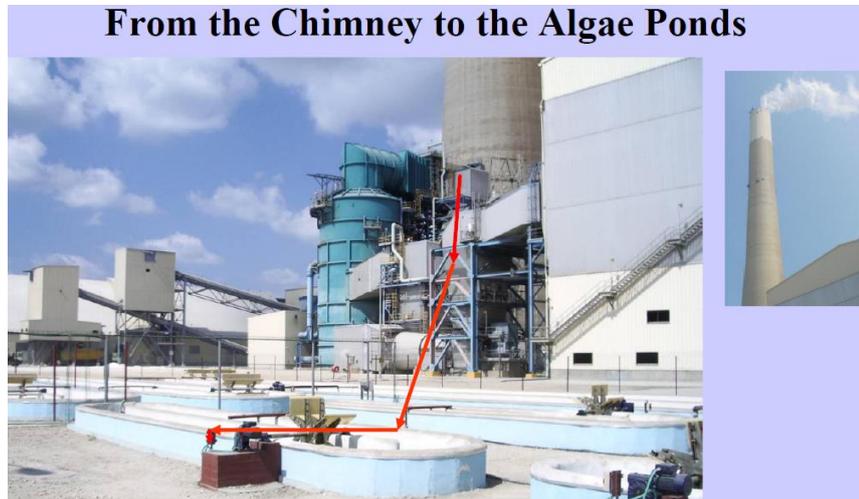


Figura 116 – Vista Planta Israel absorción CO₂ directamente desde la chimenea a los piletones – Fuente: (79)

- A través de inyección directa que proviene de Dióxido de Carbono almacenado comprado. El proveedor Praxair S.A. nos envió un presupuesto de \$ 7,60/kg CO₂ por el producto, el flete, el mantenimiento y una cuota mensual de \$/Mes 4000 por el Alquiler equipo (TK+vaporizador+cuadro control+tablero+bomba recirculación).

Eso nos daría un costo anual de aproximadamente \$458,400 Pesos equivalentes a USD 28.650 (Dólares veintiocho mil seiscientos cincuenta), considerando que tendríamos un consumo mensual promedio de 4.500 kilos de Dióxido de Carbono. Esto excluye el costo de construcción de la base requerida para instalar el TK. (Anexo XIV)

- La empresa Comeworks inició en Zúrich hace un lustro, una tecnología para extraer el CO₂ de modo continuo de la atmósfera a través de una “aspiradora que

actúa al revés” y utilizarlo para diversos propósitos, entre ellos, producir fuel sintético, (208).

Uno de los factores que se tuvo en cuenta para establecer la localización de la planta piloto propuesta, es que contara con una fuente de emisión de CO₂ para realizar un aprovechamiento de estos gases, y eliminar el costo operativo. El presente trabajo considera que la provisión de Dióxido de Carbono a las algas, debe realizarse a través de la absorción de los gases de la chimenea, asumiendo que la central cuenta con un sistema de desulfurización de gases.

Las chimeneas de la Central Térmica San Martín, se encuentran a 300 metros lineales de la ubicación de los piletos (Ver Figura 117), y el gasoducto, no pasa por más de una jurisdicción. Este comentario es realizado debido a que en el proyecto de una planta de biodiesel de microalgas en la localidad de Ramallo, que actualmente está en otra localidad, el proyecto del gasoducto que iba desde la Central Térmica San Nicolás a la planta, abarcaba más de una jurisdicción y esto generó muchos inconvenientes administrativos en licencias y permisos.

Las centrales de ciclo combinado, que son las del tipo a la que corresponden las centrales de Timbúes, tienen 2 turbinas a gas acopladas cada una a un generador y los gases calientes producen vapor en una caldera de recuperación (sin combustible adicional). El vapor se envía a una turbina a vapor acoplada a un generador. Rendimiento \cong 58 % (porque se aprovechan los gases calientes). Utilizan como combustible gas natural o gas oil. Como en las turbinas a gas en ciclo abierto, el gas oil puede mezclarse con biodiesel hasta una proporción de \cong 20% (podría ser mayor). Los contaminantes emitidos en las centrales comunes y las de ciclo combinados son

similares, pero en diferente proporción. Los ciclos combinados, que utilizan gas natural, son más eficientes y limpios que las centrales convencionales de combustibles fósiles, ya que no lanzan a la atmósfera compuestos sulfurados ni partículas y las emisiones de CO₂ son un 60% inferiores a las de la generación térmica convencional. Además, sólo consumen un tercio del agua que otras plantas necesitan para funcionar. (209)



Figura 117 - Traza del gasoducto (CO₂) desde central térmica a planta de biodiesel – Fuente: (100)

De acuerdo a la información de Cammesa, se obtuvieron los consumos de combustible de la central San Martín para los años 2012, 2013, 2014 (Figura 118) donde se puede observar que el cálculo estimado de emisiones de Dióxido de Carbono es muy superior a las necesidades de nuestra planta piloto (54 toneladas anuales). Estos son cálculos estimados sobre la información brindada por Cammesa del consumo por combustible por central. No conseguimos registros de emisiones de la central.

Central Termica San Martin

Fuente Combustible	unidades	Consumo Combustible			Factores de Emision de Dioxido de Carbono	Generacion CO ₂		
		2012 '(59)	2013 '(59)	2014 '(59)	'(62)	2012	2013	2014
Gas Oil	m ³	333.724	439.123	200.535	2,65 tCO ₂ /m ³	884.369	1.163.676	531.418
Gas Natural	Dam ³	639.217	653.859	660.626	1,951 tCO ₂ /dm ³	651.096	1.275.679	1.288.881
Total						1.535.464	2.439.355	1.820.299
Promedio Generacion Tn.CO₂								1.931.706

Figura 118 – Cálculo Generación promedio anual emisiones CO₂ Central Térmica San Martin 2012-2014 – fuente: (210) (211)

El Ingeniero Choren, Gerente de Ingeniería Ambiental de Central Puerto S.A., respecto a la consulta sobre las modificaciones a realizar para llevar los gases a los piletones nos indica: “...Sería necesario colocar un Ventilador de Tiro Inducido para enviar los gases a las torres de purificación que deben ser instaladas. Si los gases de combustión se enviaran sin tratar, a los estanques donde se reproducen las algas, se las destruiría. Será necesario eliminar el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos quemados y los aromáticos, y todos los metales pesados. El grado de purificación de los gases dependerá de las características de las algas que se reproducirán, ya que algunas especies son más sensibles que otras, a determinados contaminantes...”

“...Siempre que se utilicen algas autóctonas no creo que se presente ningún inconveniente en la aceptación de un emprendimiento de este tipo, teniendo en cuenta que se realizará el tratamiento de los gases de combustión, reduciendo considerablemente la contaminación del aire, además de la reducción de dióxido de carbono y de la posibilidad de tener acceso a los denominados bonos verdes...”

Respecto a la valuación económica de este punto, hemos consultado a varios proveedores de Ingeniería de gases pero todavía hay muchos interrogantes desde el punto de vista técnico que requieren un conocimiento mayor y la determinación en la

realización de un proyecto teórico para elaborar una ingeniera básica de diseño. Por lo que no consideraremos el costo de capital respecto a este tema.

5.3.1.8.- Costos de Capital involucrados en el Proceso de Cosecha de Microalgas

En el Capítulo 4, de balance de Masa y Energía, quedó establecido como método de cosecha propuesto realizar una Biofloculación - Sedimentación, seguido de una Centrifugación y Secado para eliminar la mayor cantidad de humedad posible.

Para calcular la capacidad de los equipos que van a realizar todo el proceso de cosecha (incluido el secado), necesitamos determinar, los litros/kilos que se van a procesar en las etapas. Para esto, realizamos la siguiente tabla. Ver Figura 119

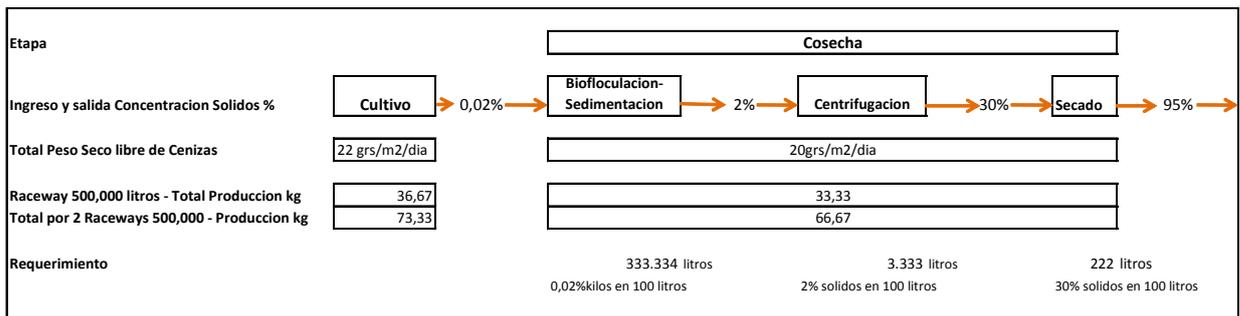


Figura 119- Cálculo de la capacidad diaria de los equipos para realizar el proceso acorde a la cosecha diaria – Fuente: (100)

5.3.1.8.1.- Biofloculación - Sedimentación

En la etapa de biofloculación – sedimentación, se tomo en cuenta el reporte de Weissmann y Goebel de 1987, donde se establece el diseño de un sistema experimental de cosecha utilizando la floculación-sedimentación, para un piletón de 0.4 ha. (198).Para nuestro proyecto, se estableció una pileta construida a escala de similares proporciones (198), (24.3mts. * 6 mts.* 2,4mts.) con una pendiente en el fondo del 2%., con una capacidad de 350 m³. Las paredes estarán hechas los más escarpadas

posibles, cubiertas con membrana de alta densidad. Adicionalmente, se necesitaran 2 tanques de 20,000 litros con pendiente en el fondo para almacenamiento y sedimentación (198). Ver Figura 120, la Figura 121, muestra la lista de costos correspondientes:

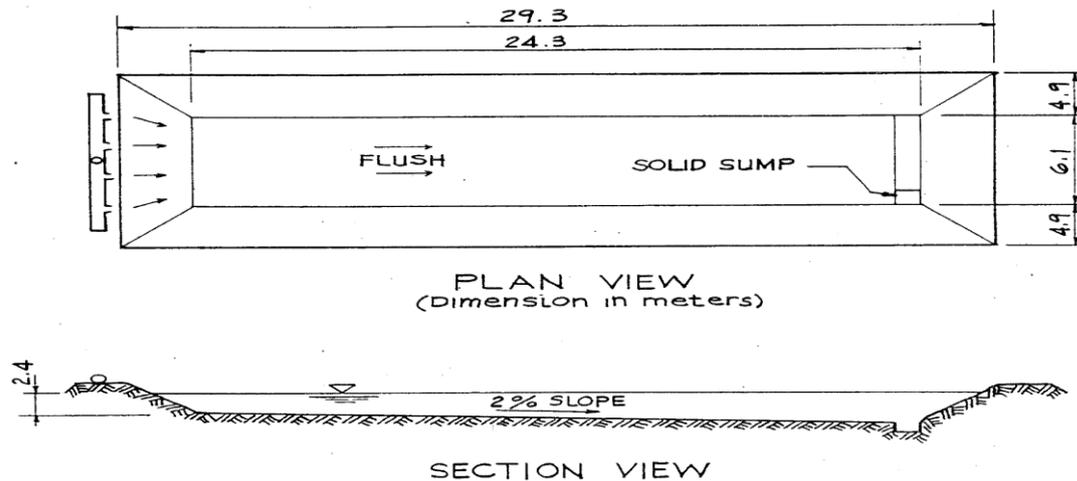


Figura 120 – Dimensión del Sistema Experimental de Cosecha establecido por Weissman y Goebel en 1987 – Fuente: (198)

Costos correspondientes a la Biofloculación-Sedimentación:	Pesos	USD
Excavacion y formateado de pileta para biofloculación:	\$ 117.761	\$ 7.360
Compactacion	\$ 3.000	\$ 188
Cubierta	\$ 73.883	\$ 4.618
Bombas y Accesorios, valulas y tuberias	\$ 58.393	\$ 3.650
Tanques de Sedimentacion 2*20,000 litros (2*10.000 litros)	\$ 64.608	\$ 4.038
Biofloculación y sedimentación	\$ 317.645	\$ 19.853

Figura 121 – Costo por la construcción del tanque donde se realiza la biofloculación – Fuente: (100) (198) (199)

En otro reporte (212), se propone un tanque por cada piletón, con una profundidad de aproximadamente 3 metros, que permita contener al menos la mitad del volumen de cada estanque en vez, en lugar de un solo pozo.

Asumimos que no hay residual de alga en el flotante del sedimentador por gravedad, que afecte la composición de la especie algal al reciclar el agua. La biomasa de algas se colecta y se envía a la centrifugadora.

5.3.1.8.2.- Centrifugación

Para la centrifuga recibimos presupuestos diferentes, con precios de hasta 60.000 Euros más IVA nacionalizados del proveedor GEA Westfalia Separator Argentina S.A. Y con diferencias importantes de acuerdo al material utilizado, ya que la necesidad de utilizar equipos de alta resistencia a la corrosión, encarece de forma importante el capítulo de inversiones. Acorde a nuestra conversación con Jorge Kaloustian Presidente de Oil Fox S.A. (213) (Empresa Argentina cuyo proyecto principal es producir algas) su sugerencia es que para el volumen de la planta piloto, "...basta con presupuestar una centrifugadora industrial. Por ejemplo aquellas que se utilizan para el secado de ropa o sabanas en los hoteles...". Cosechando 20 grs/m²/día estaríamos hablando de aprox. 24.4 toneladas al año, igual a 67 kg de materia seca por día, procesando una cantidad aproximada de 2300-3000 litros de agua al día.

La empresa Odisior S.A. especializada en venta de artículos de lavadoras y centrifugas industriales nos cotizo una centrifuga con una capacidad de 60 kg en cinco minutos, y que sería suficiente para procesar la biomasa cosechada diariamente con un TSS de 2-3%, en aproximadamente 4 horas. Los costos son \$ 150.000 + IVA. En el presente estudio incluimos los costos correspondientes \$ 150.000 + IVA, que están alineados a los costos que nos sugirió el Lic. Kaloustian. "... USD 10.000"

5.3.1.8.3.- Secado

Para el proceso de Secado, presupuestamos el equipo seleccionado:

- Spray Dryer:

Este equipo fue el finalmente seleccionado en el Capítulo 4. Contiene requerimientos energéticos bastante altos, una eficiencia alta y se utiliza con un %TSS mucho menor (18%).

Se seleccionaron dos proveedores: el proveedor Galaxie S.A., especialista en Secado Spray en la Argentina y el proveedor Duber S.A. Si bien en la lista de Galaxie S.A., figuran algunos de estos secadores vendidos a Chile para proyectos de microalgas en el desierto de Atacama, no tienen un secador para el volumen solicitado.

Duber S.A. nos realizó la cotización del secador Spray, de acuerdo a las siguientes especificaciones (Figura 122)

3400 m ² x 22 g/m ² día = 74.8 kg/día Materia Seca (MS)
Biofluculación
$74.8 \times 100 / 3 = 2493$ kg/día de barros al 3%
Entran a la centrífuga 2493 Kg/día y salen 249 kg/día de barro al 30%
Cantidad de agua a evaporar $0.7 \times 249 = 174.3$ Kg Agua por día

Figura 122 – Cotización Spray Dryer – Fuente: (215)

Como a la salida de la centrifugadora el % de Sólidos no supera el 40%, debemos asumir el costo del Secador Spray de USD 92.000 + IVA, (Ver Anexo XV con detalle cotización)

Una vez que se produjo la cosecha y el secado, donde se obtiene un peso seco de hasta un 95%, la biomasa se almacena en silos en el lugar donde se encuentran los piletones, para permitir un flujo constante de biomasa para ser transportada a una planta de extracción de aceite centralizado (40). No se consideran en el presente análisis el costo de los silos de almacenamiento.

El costo correspondiente a los equipos necesarios para la cosecha de la biomasa algal se aprecia en la Figura 123

Costos correspondientes a la Biofloculación-Sedimentación:	Pesos	USD
Excavación y formateado de pileta para biofloculación:	\$ 117.761	\$ 7.360
Compactación	\$ 3.000	\$ 188
Cubierta	\$ 73.883	\$ 4.618
Bombas y Accesorios, valulas y tuberías	\$ 58.393	\$ 3.650
Tanques de Sedimentación 2*20,000 litros (2*10.000 litros)	\$ 64.608	\$ 4.038
Biofloculación y sedimentación	\$ 317.645	\$ 19.853
Centrifugadora	\$ 150.000	\$ 9.375
Secado (Spray Dryer)	\$ 1.472.000	\$ 92.000
Total	\$ 1.939.645	\$ 141.081

Figura 123 – Costos Equipos Cosecha de biomasa algal – Fuente: (100)

5.3.1.9.- Extracción de Aceite y Transesterificación

Los números que hemos recopilado, se refieren a procesos basados en aceites vegetales, pero no específicamente para la biomasa algal. Por lo tanto deben realizarse pruebas piloto y a escala para validar los resultados estimados.

Los presupuestos y cotización son referidos a costos de producción nacional o importaciones de mercadería a nuestro país. No asumiremos costos referidos a estudios que pertenezcan a otros países.

En la mayoría de los textos, no se considera una única instalación donde se realiza todo el proceso desde el cultivo hasta la transesterificación, sino que se valúan los costos de capital y operativos relativos a la etapa de cultivo, cosecha, inclusive secado, y al momento de realizar la extracción de aceite y transesterificación se asume que la biomasa se traslada a una instalación que se comparte, junto a la biomasa algal recibida de otras instalaciones ya que normalmente no se diseñan instalaciones para cubrir la demanda de una sola empresa de producción de biomasa algal (40).

En nuestro país, dado el contexto actual debido a los precios del petróleo, nos encontramos con varias empresas productoras de biodiesel paradas, por lo que no podemos asumir o considerar costos operativos, como para realizar una estimación acorde el volumen. Por ende, presupuestaremos los equipos correspondientes como si en la misma planta piloto se realizaran todos los procesos in situ, inclusive la extracción y la transesterificación.

5.3.1.9.1.- Extracción de Aceite

La biomasa algal deshidratada, está lista para que se le realice la extracción de aceite. El método seleccionado en el capítulo 4, es a través de medios químicos, con solvente vía Hexano.

Este método ha dado muy buenos resultados en la extracción de aceite de microalgas y se utiliza con frecuencia como complemento de métodos de disrupción mecánica, de autoclavado o sonicación. (109)

En particular, utilizaremos el sistema de extracción Soxhlet ya que ha sido ampliamente utilizado en la extracción de aceite de microalgas, y se compone de un balón donde se encuentra un solvente que se calienta hasta ebullición, un tubo de

extracción Soxhlet, donde se coloca la muestra, la cual va contenida en un cartucho de celulosa, y un condensador; en el cual, después de evaporarse, el solvente se condensa y cae al tubo Soxhlet, donde extrae el aceite contenido en la biomasa seca hasta que se llena. Cuando el tubo está lleno de solvente, este, por medio de un sifón, vuelve al balón que contiene el resto de solvente y se repite el proceso (Figura 124) (109). El aceite se disuelve en el ciclo hexano y la pulpa es eliminada de la solución.

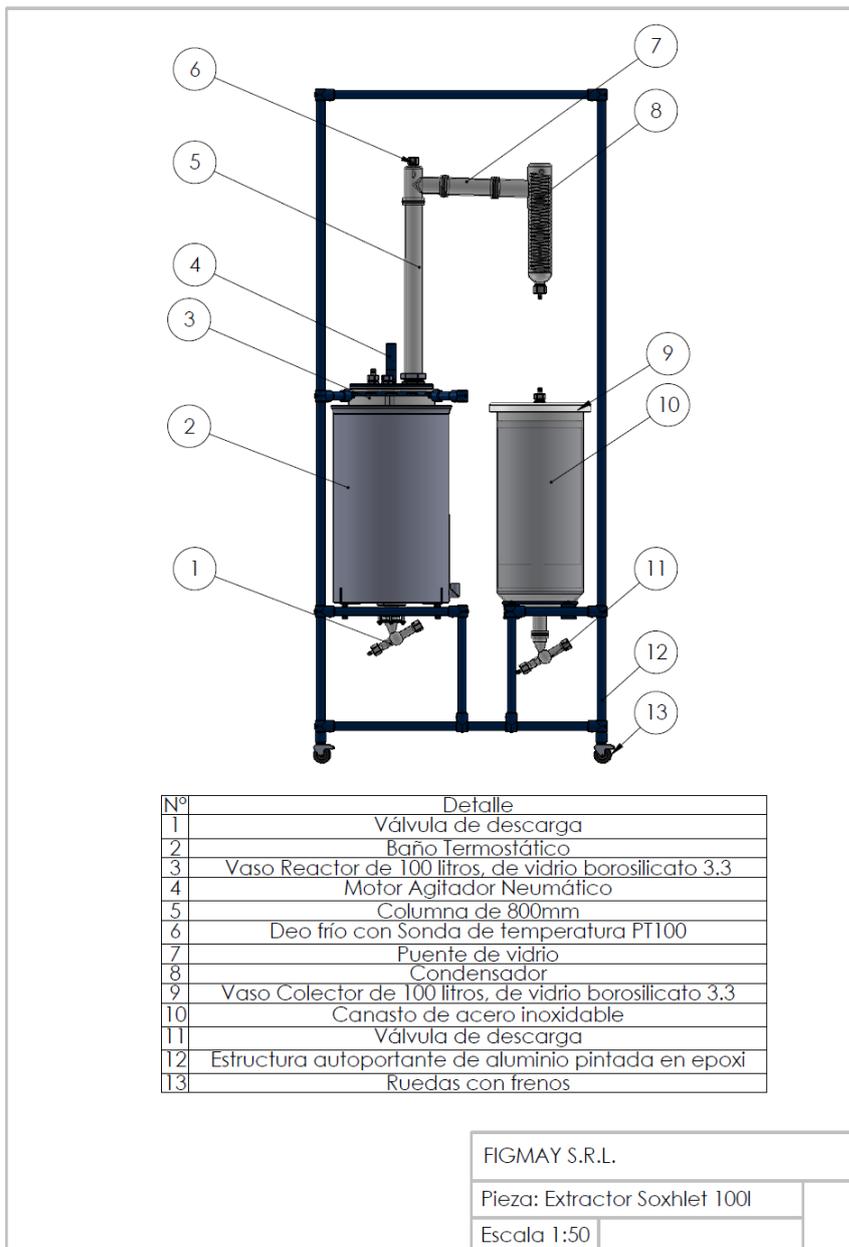


Figura 124 - Extractor Soxhlet – Fuente: (216)

El aceite y el ciclo hexano son separados por medio de la destilación. Estas dos etapas (extracción en frío y solvente hexano) juntos serán capaces de sacar más del 95% del aceite total presente en las algas.

Respecto al reciclaje de agua: Como es un sistema de flujo continuo, no es necesario eliminar el agua, sino solo hacer un reciclaje al estanque, el cual, no tendrá un efecto negativo, ya que este flujo solo posee trazas de microalgas y agua en mayor medida (sin peligro de toxicidad).

De acuerdo al total de kilos diarios de biomasa algal a los que se les va a extraer el aceite aproximadamente 67 kg/día (Ver Figura 125), se pidieron dos cotizaciones: uno a un proveedor nacional Figmay S.A., ver presupuesto en Figura 126 y Anexo XVI por un total de Pesos Argentinos 2.995.000 (Dos millones novecientos noventa y cinco mil) equivalente a aprox. USD 200.000. El proveedor Figmay nos recomendó ponernos en contacto con 2 proveedores de China e India y traer el equipo directamente desde allá, teniendo un costo mucho menor. Shanghai Better Industry Co., Ltd. nos envió un presupuesto para un equipo similar al de Figmay pero realizado en acero inoxidable, cuyo costo asciende a USD 55.000.-

	pileton 500.000	total 2 piletones
Cosecha diaria	20grs/m2/dia	
kilos Anuales Pileton 500,000	12.167 kg	24.333 kg
kilos diarios pileton 500,000	33 kg	67 kg
Kilos diarios ingresos a extraccion	33 kg	67 kg
Resultado extraccion lipidos		
Contenido de lipidos en el alga	25%	
25% lipidos Anual	3.042 kg	6.083 kg
25% lipidos Toneladas	3 tn	6 tn
25 % lipidos diarios kilos	8 kg	17 kg
Ingreso a Transesterificacion		
kilos diarios a transesterificacion	8 kg	17 kg
Salida de transesterificacion		
kilos diarios de aceite obtenido	8 kg	15 kg
kilos anuales obtenidos	2.738 kg	5.475 kg
Toneladas anuales obtenidas	2,7 tn	5,5 tn

Figura 125 – Cálculo base para la dimensión del equipo de extracción kg. /día – Fuente: (100)

Descripcion	Pesos (\$)	Dolares (USD)
Equipo Extractor Soxhlet, antiexplosivo, con canasto de		
1 acero inoxidable para un volumen de 100 litros	\$ 890.000	\$ 55.625
1 columna de destilacion fraccionada , calefactor	\$ 910.000	\$ 56.875
1 columna de destilacion fraccionada antiexplosivos	\$ 1.195.000	\$ 74.688
Total	\$ 2.995.000	\$ 187.188

Figura 126 - Presupuesto Equipo de extracción de aceite – Fuente: (216) Anexo XVI

Cotizamos con el proveedor Better Industry que vende maquinaria para extracción de aceite desde China, Xanghai. Ver Anexo XVII con descripción del producto Soxhlet 100 L y cotización. El costo total del equipo nacionalizado se puede ver en la figura 127.

En el caso que el equipo se traiga del exterior, estamos hablando de una posición arancelaria 8479.20.00 correspondiente a maquinarias y aparatos para extracción o preparación de aceites o grasas animales o vegetales, fijos. Este producto paga:

Derechos 14%, Estadísticas 0%, Impuesto al valor agregado IVA General reducción 10.5%. No paga Impuesto a Valor Agregado IVA 20%, ni ganancias, ni Ingresos Brutos IIBB porque va a ser de uso propio, es decir que no se importa para revender. Respecto al flete, el costo a Rosario es USD 860.- Se asumo un seguro de un 1% sobre el Precio de la mercadería, y un 2% para flete a planta y otros gastos sobre precio CIF.

Descripción	Alicuota	Moneda	Totales
Precio Unitario		USD	\$ 23.300
FOB		USD	\$ 23.300
Fletes		USD	\$ 860
Seguro	1%	USD	\$ 242
CIF		USD	\$ 24.402
Sistema Maria	14%	USD	Derechos \$ 3.416
	0%		Estadísticas \$ 0
Base Imponible		USD	\$ 27.818
Despachante	0,35%	USD	\$ 97
IVA reduccion	10,50%	USD	\$ 2.921
IVA 20%	0%		\$ 0
IIBB	0%		\$ 0
Ganancias 6%	0%		\$ 0
Total impuestos y derechos		USD	\$ 6.337
Total despachante		USD	\$ 97
Total CIF		USD	\$ 24.402
otros costos (flete a planta y otros	2%	USD	\$ 488
Total costo Equipo Extraccion en Dolares		USD	\$ 31.324
Total costo Equipo Extraccion en Pesos		\$	\$ 501.185

Figura 127 – Detalle costo total de equipo de extracción de aceite nacionalizado – Fuente: (100) (217)

5.3.1.9.2.- Transesterificación

La fabricación de biodiesel (nombre técnico: alcoholester de ácidos grasos) es sencilla y no requiere de economías de escala: se parte de un aceite vegetal nuevo o de descarte, el cual se somete a un proceso químico llamado transesterificación o alcoholólisis, que cambia el pesado glicerol por un alcohol liviano. Como resultante del mismo se obtiene metil éster ácidos grasos, (comúnmente llamado BIODIESEL), y un subproducto genéricamente conocido como glicerol, que tiene más de 1600 usos en el agro, la industria, la medicina, los cosméticos y la alimentación

La transesterificación puede hacerse a temperatura ambiente, mediante mezcla mecánica de un alcohol, un álcali y el aceite vegetal. El alcohol se utiliza en una proporción del 15 al 20%, y el álcali es menos del 1% de la mezcla inicial. La proporción de alcohol utilizada es similar a la proporción de glicerol que se obtiene como subproducto. Se puede recuperar una parte del alcohol usado durante el proceso, pero no lo recomendamos, pues su presencia agrega propiedades oxigenantes al biodiesel y mejora la combustión. Dado que el insumo principal es el aceite vegetal, resulta importante conocer las posibilidades agrícolas disponibles para producirlo. Los litros de aceite (o sea: de biodiesel) que se obtienen por hectárea y por año, dependerán del cultivo que da origen al aceite vegetal. Algunos de los más comunes son (218):

- ❖ Soja (*Glicine max*): 420 litros
- ❖ Arroz (*Oriza sativa*): 770 litros
- ❖ Tung (*Aleurites fordii*): 880 litros
- ❖ Girasol (*Helianthus annuus*): 890 litros
- ❖ Maní (*Arachis hipogaea*): 990 litros
- ❖ Colza (*Brassica napus*): 1100 litros
- ❖ Ricino/tartago (*Ricinus communis*): 1320 litros
- ❖ *Jatropha*/tempate/piñon (*Jatropha curcas*): 1590 litros.
- ❖ Aguacate, palta (*Persea americana*): 2460 litros
- ❖ Coco (*Cocos nucifera*): 2510 litros
- ❖ Cocotero (*Acrocomia aculeata*): 4200 litros
- ❖ Palma (*Elaeis guineensis*): 5550 litros

Para la presente planta piloto, el volumen diario de aceite que debemos hacer reaccionar es de 17 kilos, una producción muy chica de biodiesel que se puede realizar dentro de las instalaciones, con un costo de capital pequeño, implementando un reactor

automatizado semiindustrial (219). La elaboración del reactor fue solicitada a la Universidad del Litoral, que está pendiente de entrega, pero que de acuerdo a la conversación con ellos, no supera los 35.000 pesos (Pesos treinta y cinco mil). Si bien es un costo despreciable en relación a los costos totales de la planta, lo incluiremos hasta tanto tengamos el costo definitivo.

El reactor fue diseñado para una capacidad de 17 litros (Figura 128 y 129), y los contenedores de aceite y metóxido para una capacidad de 3 litros. La construcción se debe realizar en acero inoxidable ASTM 304 de 1.5 mm de espesor se escogió acero inoxidable debido a que algunos de los reactivos son corrosivos, los cortes fueron realizados con plasma, soldadura TIG. Para el mismo debe realizarse una estructura construida en acero al carbono estructural.

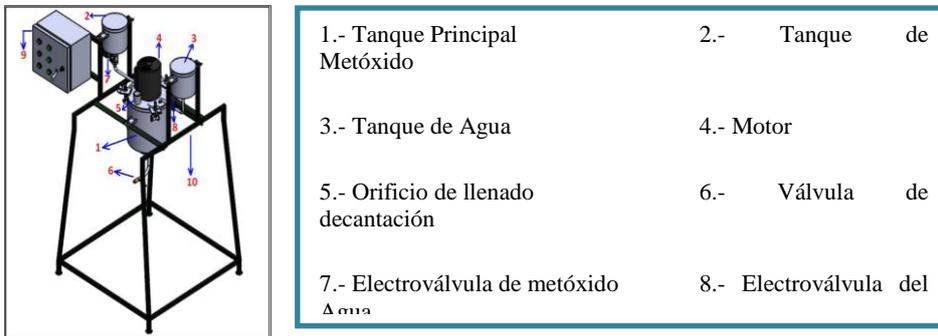


Figura 128 - Componentes de un reactor semiindustrial – Fuente: (219)



Figura 129 – Modelo reactor construido – Fuente: (219)

5.3.1.10 – Nutrientes – Digestor Anaeróbico

Al momento de evaluar económicamente este apartado, debemos tener en cuenta los siguientes costos, y entender que algunos son parte de los costos de capital y otros se incluyen en los costos operativos. Dentro del rubro "nutrientes" encontramos:

- a) Costo de nutrientes (Costo operativo)
- b) Digestor anaeróbico (Costo capital)
- c) Costos de la Infraestructura para bombear agua y nutrientes (Costo de Capital) -
- d) Infraestructura para almacenamiento de nutrientes (Costo de Capital)

a) Costo de nutrientes – Ver más abajo en Costos Operativos. 5.2.3.2.-

b) Digestor Anaeróbico

La digestión anaeróbica juega un papel esencial en el esquema productivo de biodiesel a partir de microalgas, ya sea que la energía térmica generada se utilice para los fines del cultivo o en otras etapas del proceso tales como el secado de la biomasa previo a la transesterificación (de ser necesario). La selección de un proceso sobre otro dependerá en gran parte de las necesidades locales de energía y del mercado objetivo del proceso (177)

Para la optimización de este proceso, es decir, mejorar la digestión haciendo el contenido celular más disponible para las bacterias descomponedoras, sería beneficioso realizar un pretratamiento de la biomasa residual algal post extracción de lípidos, tal como calor a 70 grados o disrupción celular. Los detalles dependerán del tipo específico de la biomasa algal y de las condiciones de cultivo de esa especie. Cualquiera de los dos pretratamientos utilizados para optimizar la producción de metano arriba mencionado requiere energía que afecta al balance general total. En este análisis, no está incluido el pretratamiento y la energía involucrada para el mismo. (40)

La utilización del digestato a partir de biomasa de microalgas digerido se pone de relieve en la investigación por el Dr. Asinari Di San Marzano (220), el Dr. Benemann (221), de los Dres. De Schamphelaire y Verstraete (222), los Dres. González - Fernández (223), pero primero por Golueke y Oswald (224) y Ras (225) plantearon un sistema de bucle cerrado donde crecen las algas, se cosechan inmediatamente y se envían al digestor para producir biogás. A continuación, el digestato desde el digestor anaeróbico realimenta el estanque y se utiliza como una fuente de nutrientes para el crecimiento de microalgas (226). Desde el punto de vista práctico, el digestato sale por la cámara de salida más superficial que tiene el biodigestor, y se retira el líquido con un pH de 7,0 a 7,50 (227)

Tal como sugiere la literatura, asumimos que la biomasa residual post extracción de lípidos, tiene la misma composición y rendimiento de biogas como la biomasa que iría directamente al digestor sin extracción de lípidos. De todas maneras el residual obtenido posterior a la extracción tiene un contenido de nitrógeno mayor. (40)

Asumimos un recupero de nutrientes al 100%. (177)

Asumimos un tiempo de retención hidráulica de 45 días. El tiempo de retención varía entre 10 y 55 días, en dependencia de la categorías de animales (cerdos, caballos, vacunos, etcétera), ya que se usan diferentes proporciones entre las cantidades de excretas y agua (16). También es dependiente, si el digestor esta calefaccionado para llegar a la temperatura de 35°, donde aparecen tiempos de retención de no más de 20 días. En el caso de un digestor de biomasa microalgal, los tiempos de retención deben ser elegidos en función del tipo, la composición del sustrato de algas y si el sustrato esta calefaccionado o no. Cuando las células se inyectan directamente en el proceso anaeróbico, la accesibilidad del contenido intracelular a la microflora anaerobia está limitada por la resistencia de la célula de algas de la pared a la hidrólisis. (228)

El Lic. Kaloustian, presidente de Oil Fox S.A., nos confirmó, que para mejorar el rendimiento de su Digestor Anaeróbico en la localidad de Brandsen, la mezcla de biomasa de microalgas, sorgo y estiércol de pollo, optimiza la producción de metano. Hasta el momento de la preparación de este informe, no logramos conseguir datos técnicos de soporte sobre la mencionada codigestion, para poder utilizarlos en el presente análisis. El digestor que se propone, se basa en la productividad de la biomasa microalgal, y para lograr los nutrientes necesarios, se adicionará mezcla de cama de pollo preparada fuera del digestor.

Se utilizará un biodigestor agroindustrial de 40m³, de hormigón, agitadores manuales de paletas de acero inoxidable, la tapa del colector que conecta el biogas será de acero al carbono pintada con epoxi. El mismo tiene paredes de plástico alineadas, y los pisos son de concreto para facilitar la remoción de sólidos (40).

Asumimos una composición del biogas de 65% Metano y 35% Dióxido de Carbono. Los trazos de H₂S se eliminan a través de un scrubber.

Si el contenido de la célula no excede el 40%, el proceso anaeróbico aparece como una estrategia en termino de optimo balance de energía para la recuperación energética de la biomasa. (228)

Asumimos 485 L CH₄ por 0.7 kg SV (177)

En nuestro caso, el digestato, la porción líquida residual proveniente del biodigestor, tiene un valor potencial y es aprovechable llevando los nutrientes a los piletones a través de un dosificador de nutrientes. Este subproducto es similar en volumen al ocupado por los residuos de partida, y presenta ventajas significativas. El digestato tiene una composición homogénea, tanto más cuanto mayor sea el tiempo de retención dentro del digestor. Además, gracias a las transformaciones que suceden durante la digestión anaerobia, no presenta olor desagradable ni emite compuestos orgánicos volátiles. Por lo tanto, el proceso consigue una cierta estabilización de los residuos que, como se expuso anteriormente, tienen en la emisión de olores uno de sus impactos negativos más notables. Por otro lado, algunas sustancias que inhiben los procesos de compostaje (polifenoles y otras sustancias) son reducidas durante la digestión anaerobia lo cual los facilita para uso agrícola. En cuanto al valor agronómico del digestato, es importante destacar que el contenido en nutrientes (nitrógeno, fósforo y

potasio) del sustrato se mantiene estable en el digestato tras la digestión, tendiendo a enriquecerse. (229)

En cuanto a la limpieza el biodigestor es de funcionamiento continuo y por ende se va retirando periódicamente el bioabono por la cámara de salida profunda.

Cálculo del volumen del digestor (230)

a) Conociendo la cantidad de materia orgánica que se puede recoger diariamente para alimentar el biodigestor, el volumen del digestor V_d se calcula mediante la expresión (195).

$$V_d = (\text{kg (excreta)} + \text{kg (agua)}) * Tr * 1.25$$

Donde:

V_d – Volumen del digestor

Kg – Kilos (excreta) - sólidos al 8%

Kg – kilos (agua)

Tr – Tiempo de retención (tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica).

1.25 – Factor cámara de gas

En la Figura 130, detallamos los parámetros para dimensionar el biodigestor:

Datos	Diaria	Anual
Cosecha (20gs/m2/dia)	67	24.333 kg
Cantidad Biomasa Algal sin lipidos (BMA) (kg)	50	18.240 kg
Composicion N (10%)		2.433 kg
Composicion P (1%)		243 kg
Recuperacion nutrientes (N) (100%)		2.433 kg
Recuperacion nutrientes (P) (100%)		243 kg
Volumen Biodigestor		
% optimo de solidos recomendada	8%	
Solidos diarios (kg.)	50	
Litros diarios	625	
Tiempo de retencion hidraulico	45	
Coeficiente camara gas	1,25	
Volumen del Digestor 1 kilo - 1 litro		35.137 litros
Generacion CH4 (485 L * 0,7 kg SV) (litros)		12.637.714
Generacion CH4 m ³		12.638
		34,62387476

Figura 130 - Parámetros para la elaboración del biodigestor – Fuente: (100) (230) (177) (40)

Descripción de los elementos que componen el costo para el digestor propuesto, ver fotos Anexo XVIII:

- Biodigestor de 40 m³ en hormigón y mampostería
- Gasómetro de 2 m³ con tanque de Polietileno por Rotomoldeo
- Limpieza de Terreno
- Excavación
- Mano de obra
- Tapa de colector que conecta biogás de acero al carbono pintada con epoxi
- Sistema de agitación manual con paletas de acero inoxidable
- Válvulas: se instalan como mínimo 2 válvulas. La primera Inmediatamente después de la cubierta de gas y la segunda antes de donde va a ser utilizado el gas.
- Cañerías de ingreso y salida.
- Trampas de ácido sulfhídrico: Debe ser totalmente hermético para evitar fugas de gas
- Trampas de llama: la trampa de ácido sulfhídrico actúa también como trampa de llama
- Trampas de agua. Incorpora un drenaje automático para evacuar el agua que se condensa en la tubería.
- Requiere de una bomba sumergible para Reciclo (1HP) desde cámara de salida final hacia la cámara de carga

- Adicionalmente, para su implementación se requiere un Curso de capacitación (16 Hs de Curso) sobre Manejo del Biodigestor para el Personal a Cargo de la Instalación

El costo total aproximado por la obra y sus materiales es de USD 12.000 + IVA (Dólares doce mil).

5.3.1.11.- Resumen de costos de capital

Para el resumen de los costos de capital, se volcaron los costos de los equipos principales informados en los puntos anteriores y se estimó en base a la literatura un porcentaje correspondiente a costos auxiliares, a la instrumentación, las obras civiles (que incluyen el laboratorio de algas), los honorarios de Ingeniería y las contingencias. (181). Ver figura 131

Equipos	Costos de Capital		Base de Calculo
	Importe		
	\$	USD	
- Raceways	\$ 1.828.495	\$ 114.281	
- Biofloculacion Sedimentacion	\$ 317.645	\$ 19.853	
- Centrifugadora	\$ 150.000	\$ 9.375	
- Secador Spray	\$ 1.472.000	\$ 92.000	
- Extraccion Aceite	\$ 501.184	\$ 31.324	
- Reactor Transesterificacion	\$ 35.000	\$ 2.188	
- Digestor Anaerobico	\$ 192.000	\$ 12.000	
Total Equipos Instalados	\$ 4.496.324	\$ 281.020	
Instrumentacion	\$ 224.816	\$ 14.051	5% Equipos Instalados
Sistema de bombeado y tuberias	\$ 899.265	\$ 56.204	20% Equipos instalados
Terreno	\$ 224.000	\$ 14.000	
Obras civiles	\$ 674.449	\$ 42.153	15% Equipos instalados
Ingenieria	\$ 449.632	\$ 28.102	10% Equipos instalados
Subtotal	\$ 2.472.162	\$ 154.510	
Contingencias	\$ 696.849	\$ 43.553	10% Subtotal
Total inversion fija	\$ 7.665.335	\$ 479.083	

Figura 131 - Resumen Costo de Capital Planta Piloto 0.4 hectáreas – Fuente: (100)

5.3.2.- Costos Operativos

Los costos operativos incluyen:

- Costos de materias primas (Nutrientes, agua, dióxido de carbono)

- Costo de servicios,
- Mano de Obra directa,
- Gastos generales,
- Gastos de mantenimiento,
- Contingencias
- Depreciaciones

5.3.2.1. - Costo de materias primas

5.3.2.1.1. - Agua

Puesto que se utiliza el agua de refrigeración de la central térmica, para la producción de microalgas, se asume que el costo de esta es despreciable siendo el costo de la energía requerida para el bombeo el único costo asociado a esta materia prima.

5.3.2.1.2- Dióxido de Carbono

Se asume costo 0 por la provisión diaria de Dióxido de carbono, al tomar los gases de la central térmica.

5.3.2.1.3.- Nutrientes

Los requerimientos anuales de nutrientes de la Planta piloto son los siguientes (Figura 132):

Tamaño Bioreactor	Micro	Mini	Inoculo	Industrial
Volumen	500 litros	5000 litros	50.000 litros	500.000 litros
(L) Largo de la Pileta	4,08 m.	12,91 m.	40,82 m.	129,10 m.
(A) Ancho de la Pileta	0,41 m.	1,29 m.	4,08 m.	12,91 m.
(R) Ancho del Canal (Radio)	0,20 m.	0,65 m.	2,04 m.	6,45 m.
(d) Profundidad	0,30 m.	0,30 m.	0,30 m.	0,30 m.
(S) Superficie Expuesta	1,67 m ²	16,67 m ²	166,67 m ²	1.666,67 m ²
(V) Volumen	500 litros	5.000 litros	50.000 litros	500.000 litros
Cantidad	2	2	2	2
Total Superficie por tamaño	3,33 m ₂	33,33 m ₂	333,33 m ₂	3.333,33 m ₂
Produccion Algas anual(P)	26,77 Kg.	267,67 Kg.	2.676,67 Kg.	26.766,67 Kg.
Total Produccion anual P.Piloto	29.737,77 kg			
Tasa de N requerida	Kg N/kg 0,088 BM			
Total Requerimiento N kg	2.616,92 kg N			
Total Requerimiento N tn	2,62 tn N			
Tasa de P requerida	kg P/kg 0,012 BM			
Total requerimientos de P	356,85 kg P			
Total Requerimientos de P	0,36 tn P			
Resumen necesidad de N y P				
Total Requerimiento N tn	2,62 tn N			
Total Requerimientos de P	0,36 tn P			

Figura 132 – Requerimiento anuales de nutrientes en la planta piloto – Fuente: (100) (179)

Utilizaremos como fuente de nutrientes, en primer lugar, al digestor anaeróbico. Asumiremos acorde a la mayoría de literatura un contenido de nutrientes similar en el digestato que en el ingreso de la biomasa al digestor. En algunos estudios, se presentan datos que muestran concentraciones más altas en la composición de nutrientes en el efluente salidos del digestor, que en la entrada del mismo. Es de esta manera que de una u otra forma, se permite a través del reciclado a los piletones, beneficios económicos. (231)

De acuerdo a los datos de la Figura 133, luego de considerar el reciclado de nutrientes provenientes del digestor anaeróbico, estaríamos con un defecto de nitrógeno de un 7% y un defecto de fosforo de un 32%.

En el presente análisis, no tomamos en cuenta que el déficit de nutrientes provoca en las microalgas una acumulación de lípidos siempre que haya luz y CO₂. (232)

Datos	Diaria	Anual	
Cosecha (20gs/m2/día)	67	24.333 kg	
Cantidad Biomasa Algal sin lipidos (BMA) (kg)	50	18.240 kg	
Composicion N (10%)		2.433 kg	
Composicion P (1%)		243 kg	
Recuperacion nutrientes (N) (100%)		2.433 kg	
Recuperacion nutrientes (P) (100%)		243 kg	
Volumen Biodigestor			
% optimo de solidos recomendada	8%		
Solidos diarios (kg.)	50		
Litros diarios	625		
Tiempo de retencion hidraulico	45		
Coefficiente camara gas	1,25		
Volumen del Digestor 1 kilo - 1 litro		35.137 litros	
Generacion CH4 (485 L * 0,7 kg SV) (litros)		12.637.714	
Generacion CH4 m ³	35	12.638	
Necesidades de Nutrientes en la Planta Piloto (N)		2.620 kg	
Necesidades de Nutrientes en la Planta Piloto (P)		360 kg	
Deficit (N) Kilos		-187 kg	-7%
Deficit (P) Kilos		-117 kg	-32%

Figura 133 – Análisis de nutrientes reciclados vs. necesidades en el cultivo – Fuente (100)

Para cubrir el déficit se analizaron distintas opciones:

- ✓ Al comenzar el análisis de los costos de este tema, habíamos considerado utilizar como fuente de nutrientes los provenientes de la planta de efluentes Solamb S.A. ubicada a poca distancia del lugar. Al realizar el análisis, recibimos constancia de la empresa con la caracterización de sus efluentes. De acuerdo a la información de Solamb S.A., ellos están actualmente procesando solo efluentes industriales de muy baja carga orgánica. Decidimos ir por una segunda opción.
- ✓ Como bien analizamos en capítulos anteriores, es posible utilizar distintas fuentes de nutrientes. En este caso y por su cercanía, utilizaremos el residual

aviar de un criadero de pollos ubicado a 4 km aprox. de la planta piloto (Figura 134) y a menos de 500 mts de Solamb S.A



Figura 134 – Vista Criadero de pollos y distancia a 4.21km de Central Térmica – Fuente: (167)

Para realizar el análisis, relevamos distintos informes, (233) (234) pero tomamos aquel con valores similares a la mayoría de los informes publicados sobre composición de excretas, donde figura la caracterización de excretas frescas de pollos parrilleros que son los utilizados en este tipo de establecimiento (234). Del análisis surge que podemos obtener los nutrientes necesarios, donde el costo es mínimo, y despreciable, se limita en términos anuales al transporte de 213 kg de excretas secas (que se pueden transportar mensualmente en auto/camioneta). Las mismas, deben ser depositadas en un tanque de baja capacidad (100 litros), donde realizar la mezcla para llevar las excretas de pollo en solución al 20% y así obtener los nutrientes necesarios. Cubriendo el faltante de nitrógeno, obtenemos un exceso de fosforo de un 11%,

ver Figura 135, el mismo está directamente relacionado con el crecimiento de la biomasa algal y debe ser suministrados en exceso debido a que la mayoría de las formas en las que se encuentra están en forma de complejos metálicos, por lo que no todo el fósforo es bioasimilable (235).

Excretas secas de gallina en solución al 20%		
Excretas de gallina	257,43 mg/l	0,25743 kg/m ³
Nitrogeno	876,24 mg/g	0,87624 kg N/kg ES
Fosforo	733,12 mg/g	0,73312 kg P/Kg ES
Faltante N y P post Reciclado		
Nitrogeno	0,19 tn	187 kg
Fosforo	0,12 tn	117 kg
Kilos de Excreta seca necesarias para cubrir los faltantes de N y P		
Nitrogeno	213 kg	
Fosforo	160 kg	
Asumiendo Excreta Seca		
	213 kg	
Litros para solución al 20%	213 kg ES	187 N
Litros H ₂ O anuales	854 litros	156 P
Excedente de P	39 kg	11%
Anuales	1.067 litros	
Mensual	89 litros	

Figura 135 – Cálculo análisis de nutrientes utilizando residual aviar – Fuente (234)

Solo a modo de comentario, y a modos de referencia para posibles futuros estudios, se encontró también que el uso de efluentes provenientes de la cría de cerdos aumenta el crecimiento de microalgas de agua dulce pero a bajas concentraciones (0,5 g L-1). Además, el uso de afluentes digeridos anaeróbicamente fue dos veces más productivo que los obtenidos con efluentes crudos (236).

En resumen en términos de costos económicos para el costo operativo de nutrientes, los costos por el traslado de pequeñas cantidades de excreta seca para suplir el defecto de nutrientes proveniente del reciclado post digestor anaeróbico, y el tanque

de 100 litros, son costos despreciables que no tomaremos en cuenta en la valuación económica.

5.3.2.2.- Costos por servicios

Los costos de servicios, incluyen los costos asociados por la operación de bombeo, mezclado y cosecha (incluyendo secado), para la etapa de cultivo, y los costos relativos a la extracción de aceite y transesterificación a biodiesel.

Para esto, hemos recurrido a los cálculos de requerimientos de energía obtenidos en el capítulo anterior “Balance de Masa y Energía”, para cada una de estas etapas, obtenidas la energía requerida en términos anuales.

La figura 136, muestra el detalle de las energías por proceso y multiplica este valor por el costo de energía eléctrica proveniente de EPE (Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe). En nuestro caso, y para las Empresas, nos manejaremos con la Tarifa R3C4 – General Trifásico Especial consumo mayor a 5000 kwh/mes.

El uso de supuestos para el factor de capacidad de la instalación, kilovatios-hora totales requeridos para el subsistema de bombeo, el subsistema de cosecha y de mezclado se calculan y se utilizan para determinar los costos totales de energía de acuerdo de los costos de energía por unidad especificada por el usuario (\$ por kilovatio hora).

		Energía Requerida por pileton de 500,000 L		Q Piletones 2	Total
Cultivo		kwh/año	6.702		13.404
		Mj	24.128		48.256
	Agua	kwh	3.406		6.812
		Mj	12.263		24.526
	CO2	kwh/año	589		1.178
		Mj	2.120		4.240
Cosecha	Energía	kwh/año	7.435		14.870
		Mj	26.767		53.534
Secado		kwh/año	44.530		89.060
		Mj	160.308		320.616
Extraccion Lipidos		kwh/año	4.901		9.802
		Mj	17.645		35.290
Conversion Lipidos en Biodiesel		kwh/año	127		254
		Mj	456		912
Energía Total		kwh/año	67.690		135.380
		Mj	243.687		487.374
		Area	1.667		3.333 m ²
		kwh/m2	41		41 kwh/m ²
Energía galpones, laboratorio					6.769 5,00%
Energía Piletones chicos	Area	370 m ²		15.028 kwh	
Total Energía Anual					157.177 kwh
Costo Energía Electrica	Tarifas EPE Energía Electrica				
		\$ 1,11122 por kwh			\$ 174.658
		\$ 1.647,46768 cuota mes			\$ 19.770
Subtotal - Costo Energía Electrica					1,2370 194.428
		\$ 60,57 Valor Cupta Alumbrado Publico			\$ 727
0,60%	\$ 1.166,57	Impuesto Ley 23681 - Sta. Cruz			\$ 1.167
27,00%	\$ 52.495,50	Ley 20361 (IVA)			
	\$ 0,66	Prov. Ley 12692			\$ 1
1,50%	\$ 2.916,42	Prov. Ley 6604			\$ 2.916
6,00%	\$ 11.665,67	Munic.Ley			\$ 11.666
2,40%	\$ 4.666,27	Munic. Ordenanzas			\$ 4.666
Costo Anual - Energía Electrica + Impuestos					\$ 215.570
Total Produccion Kg. Biomasa					\$ 24.820
Consumo de Energía (Kwh/Kg. Biomasa)					6,33
Costo Energía / Kg. Biomasa (Pesos)					\$ 7,83
Costo Energía / Kg. Biomasa (USD)					\$ 0,49

Figura 136 – Cálculo Costo energía Anual – Fuente: (181) (237)

5.3.2.3.- Mano de obra directa

El costo de mano de obra incluye a los profesionales que intervendrían una vez implementados los procesos de producción. La mano de obra directa es proporcional a 4 personas en áreas administrativas y 11 operativas por cada 100 hectáreas, que es lo que recomienda la literatura (197) (40), asumiendo un mínimo de 3 para instalaciones pequeñas símil laboratorio. En algunos estudios, la mano de obra no involucrada directamente con las tareas operativas (Director del proyecto, gerente de proyecto) se excluyen (238) y en otros están incluidos en el estudio (239).

Para el presente estudio, consideraremos para una primera etapa un mínimo de 5 personas:

- Un jefe de proceso; biólogo profesional a cargo de supervisar los procesos, evaluar calidad y resultados.
- Personal técnico, encargado de realizar todas las operaciones en laboratorio y en planta.
- Operario de planta (2), encargado de apoyar en las operaciones, mantenimiento y limpieza de materiales, equipos y planta.
- Administrativo/Secretario, encargado de asistir en todas las tareas administrativas.

Para el caso de una planta industrial de 1 hectárea, se considerará 1 jefe de procesos, 1 técnico de laboratorio y 5 operarios de planta (108), razón por la cual, como nuestra planta piloto propuesta es de aprox 0.4 ha, Consideraremos 2 operarios de planta en lugar de 5. Cualquier mejoramiento en el diseño del proceso y la automatización en las operaciones, impactara en una necesidad menor de mano de obra (240).

Al tener como uno de los objetos de la planta piloto la producción de biodiesel, tomamos los sueldos correspondientes al Convenio Colectivo de Trabajo correspondiente a la Federación Argentina Sindical del Petróleo, Gas y Biocombustibles.

Consultamos con el gremio que le correspondería por la actividad y nos enviaron el acuerdo paritario según para Santa Fe, Rosario considerando el último incremento del 11% de noviembre del 2015. La alícuota de ART es un aproximado ya que uno en el mercado puede conseguir gran variedad. Ver Figura 137 con sueldos anuales a diciembre 2015, tomados para base de cálculo.

En los costos operativos, tomamos el total de sueldos al 2015, ajustados a diciembre de 2016 con alícuota del 25% por ajuste de paritarias (que nos informaron iba a ser el aumento total), y los convertimos a dólar (Figura 137), y Figura 138 con el detalle de sueldos y cargas sociales.

	Q	2015 Anual 13,5 Sueldos	2016 Ajuste Anual 25,0%	2016 USD Anual
Jefe de Procesos	1	\$ 202.600,35	\$ 253.250,43	\$ 15.828,15
Operador de Laboratorio	1	\$ 188.463,05	\$ 235.578,81	\$ 14.723,68
Personal Administrativo	1	\$ 135.459,60	\$ 169.324,51	\$ 10.582,78
Operadores de Campo	2	\$ 306.256,84	\$ 382.821,05	\$ 23.926,32
Total		\$ 832.779,84	\$ 1.040.974,80	\$ 65.060,92

Figura 137 – Sueldos base – Anual – Fuente: (100)

	Q	2015	2016	2016
		Anual 13,5 Sueldos	Ajuste Anual 25,0%	USD Anual
Jefe de Procesos	1	\$ 202.600,35	\$ 253.250,43	\$ 15.828,15
Personal Administrativo	1	\$ 135.461,10	\$ 169.326,38	\$ 10.582,90
Operador de Laboratorio	1	\$ 188.463,05	\$ 235.578,81	\$ 14.723,68
Operadores de Campo	2	\$ 306.256,84	\$ 382.821,05	\$ 23.926,32
Total		\$ 832.781,34	\$ 1.040.976,67	\$ 65.061,04
Dtos Ley	19%	\$ 158.228,45	\$ 197.785,57	\$ 12.361,60
Sueldos a Pagar		\$ 674.552,88	\$ 843.191,10	\$ 52.699,44
contribuciones	26%	\$ 216.523,15	\$ 270.653,93	\$ 16.915,87
ART	14%	\$ 113.130,46	\$ 141.413,07	\$ 8.838,32
		\$ 329.653,60	\$ 412.067,00	\$ 25.754,19
Sueldos a Pagar		\$ 674.552,88	\$ 843.191,10	\$ 52.699,44
Aportes		\$ 158.228,45	\$ 197.785,57	\$ 12.361,60
contribuciones		\$ 329.653,60	\$ 412.067,00	\$ 25.754,19
			\$ -	\$ -
Total Pesos Argentinos		\$ 1.162.434,94	\$ 1.453.043,67	\$ 90.815,23
Detalle sueldos				
			Pesos	USD
Jefe de Procesos		\$ 202.600,35	\$ 253.250,43	\$ 15.828,15
Personal Administrativo		\$ 135.461,10	\$ 169.326,38	\$ 10.582,90
Operador de Laboratorio		\$ 188.463,05	\$ 235.578,81	\$ 14.723,68
Operadores de Campo		\$ 306.256,84	\$ 382.821,05	\$ 23.926,32
Total		\$ 832.781,34	\$ 1.040.976,67	\$ 65.061,04
contribuciones		\$ 216.523,15	\$ 270.653,93	\$ 16.915,87
ART		\$ 113.130,46	\$ 141.413,07	\$ 8.838,32
Resultados Negativos al Estado de Resultados		\$ 1.162.434,94	\$ 1.453.043,67	\$ 90.815,23

Figura 138 – Detalle sueldos y cargas sociales - Fuente: (100)

5.3.2.4.- Gastos Generales

Los costos generales son un 50% de la base de sueldos (acorde a la literatura

(196)) Figura 139.

Detalle sueldos				
			Pesos	USD
Jefe de Procesos	\$	202.600,35	\$ 253.250,43	\$ 15.828,15
Personal Administrativo	\$	135.461,10	\$ 169.326,38	\$ 10.582,90
Operador de Laboratorio	\$	188.463,05	\$ 235.578,81	\$ 14.723,68
Operadores de Campo	\$	306.256,84	\$ 382.821,05	\$ 23.926,32
Total	\$	832.781,34	\$ 1.040.976,67	\$ 65.061,04
Gastos Generales	50%	\$	520.488,33	\$ 32.530,52

Figura 139 – Gastos Generales 50% Mano de Obra – Fuente: (100) (196)

5.3.2.5.- Costos de Mantenimiento

Los costos de mantenimiento se asumen en un 2% de la inversión de capital correspondiente al cultivo de microalgas y sistema de cosecha (197). Al incluirse en el presente estudio el proceso extracción y transesterificación del aceite a biodiesel, los costos de mantenimiento se calcularán sobre la base de los costos de capital correspondientes al cultivo, la cosecha, la extracción, y la transesterificación. Figura 140.

Equipos	Costos de Capital		Base de Calculo
	Importe		
	\$	USD	
- Raceways	\$ 1.828.495	\$ 114.281	
- Biofloculacion Sedimentacion	\$ 317.645	\$ 19.853	
- Centrifugadora	\$ 150.000	\$ 9.375	
- Secador Spray	\$ 1.472.000	\$ 92.000	
- Extraccion Aceite	\$ 501.184	\$ 31.324	
- Reactor Transesterificacion	\$ 35.000	\$ 2.188	
- Digestor Anaerobico	\$ 192.000	\$ 12.000	
Total Equipos Instalados	\$ 4.496.324	\$ 281.020	
Instrumentacion	\$ 224.816	\$ 14.051	5% Equipos Instalados
Sistema de bombeado y tuberias	\$ 899.265	\$ 56.204	20% Equipos instalados
Terreno	\$ 224.000	\$ 14.000	
Obras civiles	\$ 674.449	\$ 42.153	15% Equipos instalados
Ingenieria	\$ 449.632	\$ 28.102	10% Equipos instalados
Subtotal	\$ 2.472.162	\$ 154.510	
Contingencias	\$ 696.849	\$ 43.553	10% Subtotal
Total inversion fija	\$ 7.665.335	\$ 479.083	
Costo de mantenimiento	\$ 134.890	\$ 8.431	2% Total - Terreno - Conting.

Figura 140 – Cálculo Costos de mantenimiento sobre Total excluyendo terreno y contingencias – Fuente (100)

5.3.2.6.-Depreciaciones

Toda empresa para poder operar, para poder desarrollar su objeto social requiere de una serie de activos fijos, los cuales, como consecuencia de su utilización, se desgastan hasta el punto de quedar inservibles. Se entiende por vida útil el tiempo durante el cual un activo puede ser utilizado, tiempo durante el cual puede generar renta.

Algunos activos, por su naturaleza y destinación, o por el uso que se haga de ellos, pueden tener mayor vida útil que otros.

En términos generales, la ley considera que los vehículos y computadoras tienen una vida útil de 5 años, la maquinaria y equipos tiene una duración de 10 años y las edificaciones y construcciones tendrán una vida útil de 20 años. (241)

Estos valores, claro está, no son siempre reales, puesto que habrán vehículos que duren más de 5 años y otros que duren menos. Igual con cualquier otro activo.

En el caso de los terrenos, se consideran que su vida útil es indefinida, algo que dependiendo de su destinación puede o no ser cierto. Es el caso de los terrenos dedicados a la agricultura, estos después de un tiempo, y si no se hace el mejor uso de ellos, quedan inservibles, aunque físicamente siguen existiendo, pero pierden su utilidad para su propósito inicial (241).

La vida útil es tomada como referencia para la depreciación de los activos fijos, para lo cual se divide el valor del activo por su vida útil para determinar la alícuota de depreciación (método lineal, existen otros).

La vida útil de un activo puede extenderse si se le hacen reparaciones y adiciones.

La depreciación que se asume se utiliza para el reemplazo del equipo luego de su vida útil a pesar de que en realidad hay un valor residual que podría incorporarse si se hiciera un análisis detallado. (40)

En el presente proyecto, siguiendo con la metodología realizada por el Dr. Benemann en su estudio, la depreciación está incluida en el 8% de cargo de capital utilizado para este análisis. (40)

5.3.2.7.- Fuentes de Financiamiento

En cuanto a este punto seguiremos la metodología de análisis asumida por el Dr. Benemann en su estudio Técnico Económico de la producción de biodiesel a partir de microalgas (40).

Asumimos que la construcción y los costos de capital de la presente planta, se financiarán a través de la emisión de un bono. La estructura de pago del bono consiste en un pago anual por el tiempo de vida del bono. La estructura del bono es como las de las hipotecas e incluye un porcentaje mayor de pago correspondiente al interés en los primeros años y se irá reduciendo a medida que crece el pago del capital pendiente. Al finalizar los 30 años, la planta estará amortizada, libre de deudas, y con financiación suficiente para la renovación completa (40)

Asumimos un bono al 5% anual a 30 años (considerando capital e interés).

Asumimos que las variaciones del tipo de cambio dólar serán similares a la inflación.

Asumimos un 3% adicional por año en concepto de depreciación de toda la instalación basado en el promedio de los diferentes años de vida útil.

Es por eso, que asumiremos un cargo por capital de 8% a efectos financieros.

5.3.2.8.- Resumen Costos Operativos

En la Figura 141, se aprecian los costos operativos anuales en pesos y en dólares, correspondientes a la planta piloto de 0.4 ha. propuesta

Costos Anuales		Pesos	Dolares
Materias Primas		0,00	0,00
Fertilizantes		0,00	0,00
Dioxido de Carbono		0,00	0,00
Medios de Produccion		194.427,95	12.151,75
Agua (m3)		0,00	0,00
Consumo electrico Anual (kwh)		194.427,95	12.151,75
Costos Fijos		2.108.421,73	131.776,36
Mano de Obra		1.453.043,67	90.815,23
Gastos Generales		520.488,33	32.530,52
Costos de Mantenimiento		134.889,72	8.430,61
		0,00	0,00
Total materias primas		0,00	0,00
Total Medios de Produccion		194.427,95	12.151,75
Total Mano de Obra y otros		2.108.421,73	131.776,36
Total Costos Operativos Anuales		2.302.849,68	143.928,10
Depreciaciones y Costo Capital (8%)		613.226,77	38.326,67
Total Costos Anuales		2.916.076,45	182.254,78

Figura 141 – Resumen costos operativos anuales – Fuente: (100)

5.4.- Resultados

El objetivo del PILOTO es ensayar y caracterizar todos los procesos de cultivo, cosecha, secado, extracción y transesterificación de biomasa de microalgas a escala industrial, incluyendo los procesos de disolución de dióxido de carbono en agua. El

PILOTO no tiene un objetivo económicamente productivo.

Para comenzar el análisis, debemos realizar las siguientes aclaraciones:

a.- En la presente Planta Piloto, consideramos la integración de los procesos desde el cultivo de las algas hasta la transesterificación a biodiesel.

b.- Los equipos valuados que son parte del costo de capital son los siguientes:

- Raceways (incluidos los paddlewheels)
- Tanques de biofloculación/sedimentación
- Centrifugadora

- Secador Spray
- Extractor de aceite Soxhlet
- Reactor semiindustrial para realizar la transesterificación
- Digestor Anaeróbico

c.- La provisión de dióxido de carbono tiene costo 0.

d.- La provisión de nutrientes tiene costo 0.

e.- La provisión de agua tiene costo 0.

f.- El análisis lo realizamos siguiendo la metodología que utiliza el Dr. Benemann en su informe de análisis económico (40).

g.- Asumimos que las variaciones del tipo de cambio dólar serán similares a la inflación.

h.- Asumimos un tipo de cambio dólar 1 USD=16 \$

i.- Asumimos un litro biodiesel igual a 1000 gramos biodiesel igual a 1 kilo biodiesel.

j.- No se incluye el beneficio económico de los créditos de carbono, debido a la falta de un mercado claro y con valores definidos en la actualidad.

El total de costos de capital, ascienden a USD 479.083 (dólares cuatrocientos mil ochenta y tres) equivalentes a pesos argentinos 7.665.335 (pesos argentinos siete millones seiscientos sesenta y cinco mil trescientos treinta y cinco) (Figura 142). La proporción económica de cada etapa del proceso (tomando como base el valor de los equipos), se aprecia en la Figura 143.

Costos de Capital		Importe		Base de Calculo
Equipos		\$	USD	
- Raceways		\$ 1.828.495	\$ 114.281	
- Biofloculacion Sedimentacion		\$ 317.645	\$ 19.853	
- Centrifugadora		\$ 150.000	\$ 9.375	
- Secador Spray		\$ 1.472.000	\$ 92.000	
- Extraccion Aceite		\$ 501.184	\$ 31.324	
- Reactor Transesterificacion		\$ 35.000	\$ 2.188	
- Digestor Anaerobico		\$ 192.000	\$ 12.000	
Total Equipos Instalados		\$ 4.496.324	\$ 281.020	
Instrumentacion		\$ 224.816	\$ 14.051	5% Equipos Instalados
Sistema de bombeado y tuberias		\$ 899.265	\$ 56.204	20% Equipos instalados
Terreno		\$ 224.000	\$ 14.000	
Obras civiles		\$ 674.449	\$ 42.153	15% Equipos instalados
Ingenieria		\$ 449.632	\$ 28.102	10% Equipos instalados
Subtotal		\$ 2.472.162	\$ 154.510	
Contingencias		\$ 696.849	\$ 43.553	10% Subtotal
Total inversion fija		\$ 7.665.335	\$ 479.083	

Figura 142 - Resumen Costos de Capital Planta Piloto – Fuente (100)

Como puede verse, el costo correspondiente a la etapa de cosecha, es el que tiene el valor más alto, y para ser más específico, el secador Spray, que representa un 32% de los costos en esta etapa Figura 143.

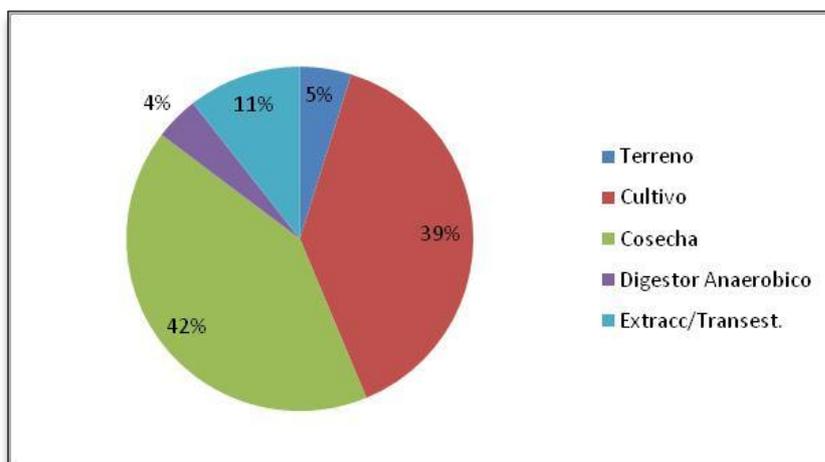


Figura 143 – Proporción costos de equipos en relación al costo total equipos-Fuente: (100)

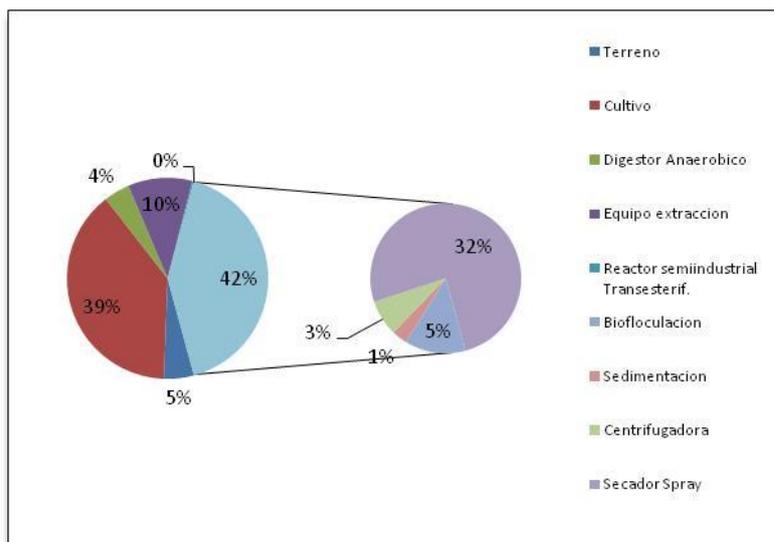


Figura 144 - Composición y apertura de los costos en la etapa de cosecha - Fuente (100)

El área de cosecha/secado, representa uno de los cuellos de botella más importantes, las centrifugadoras específicas para algas, tienen costos y requerimientos energéticos muy altos, así como el secado. (Figura 144)

Se puede ver en el texto de Davis, la proporción de los costos directos de capital (Figura 145), donde también los costos de la cosecha, son los más significativos, a diferencia del estudio realizado por el Dr. Benemann (Figura 146), donde los costos de capital son más proporcionados. Algunas de las razones que explican estas diferencias:

- i. El sistema de secado que utiliza el Dr. Benemann es de muy bajo requerimiento energético y costo: el secado solar. Para nuestro proyecto, el secado solar no fue el método seleccionado (Ver Capítulo 4) debido a las recomendaciones de su no elección vinculadas a la contaminación y la putrefacción en el caso que no se llegue a la temperatura adecuada.
- ii. Luego del secado solar, se utiliza un secador Spray que tiene mayores requerimientos económicos y energéticos.

iii. Los costos de extracción/transesterificación, son proporciones correspondientes a los costos de una instalación centralizada. No se realizan todos los procesos en la misma instalación como en el presente estudio.

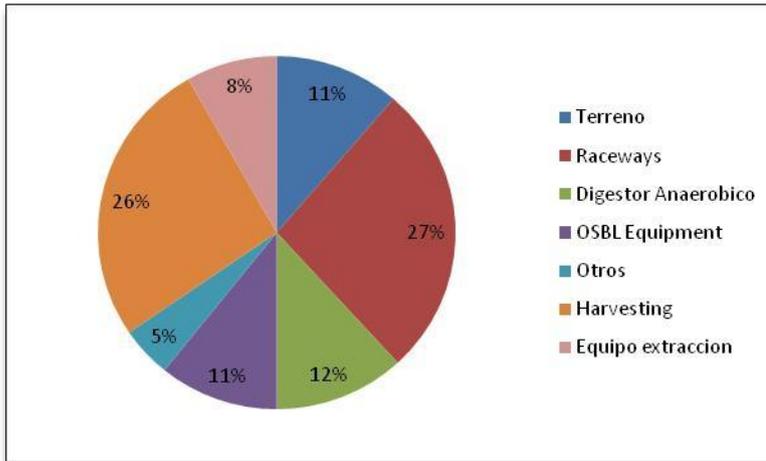


Figura 145 – Costos de Capital correspondientes a estanques – Fuente: (242)

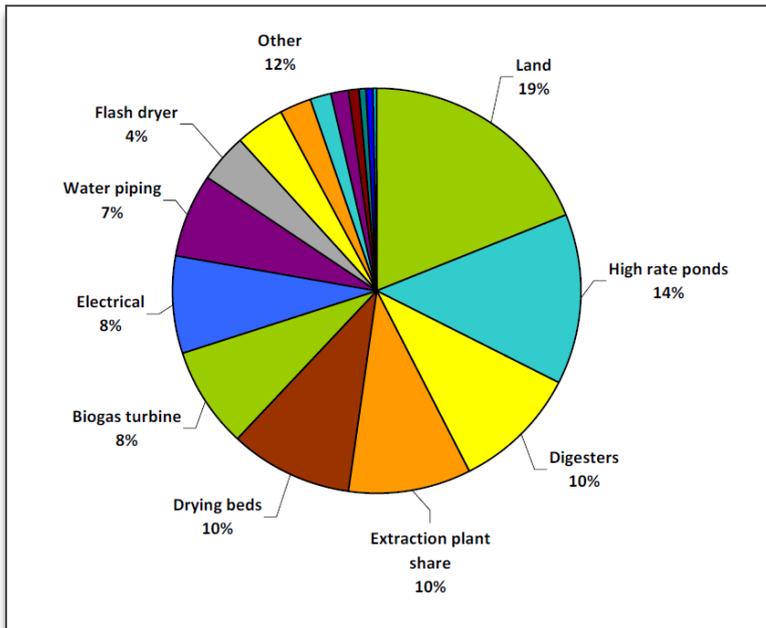


Figura 146 – Costos de Capital para 100 ha. Cultivo/cosecha con extracción y transesterificación en instalaciones centralizadas – Fuente: (40)

En la planta piloto propuesta, descomponiendo los costos de cultivo, encontramos que el costo de la membrana geotextil conjuntamente con los costos de los paddlewheels son los que representan los porcentajes más significativos. Ver Figura 147

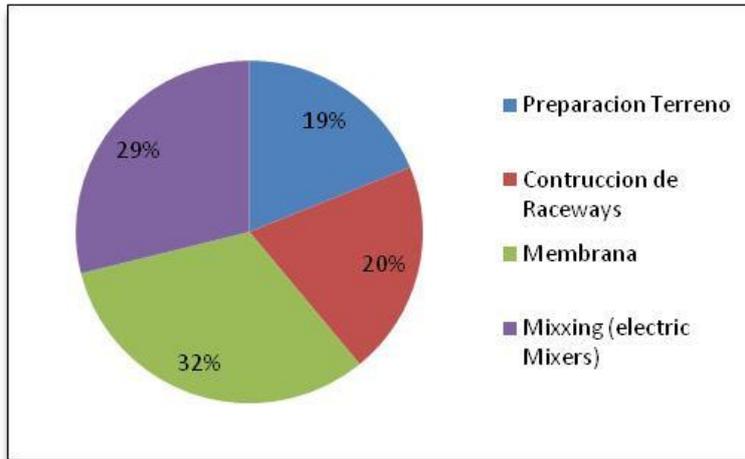


Figura 147 – Apertura costos etapa de cultivo del presente estudio – Fuente: (100)

En un informe del Dr. Benemann (243), el autor actualiza 12 estudios de análisis económicos sobre la producción y el desarrollo de productos en microalgas, en el cual aparecen amplias diferencias respecto a superficies y tamaños considerados de los estudios, sistema de cosecha, costos de tierra y requerimientos indirectos de capital (ej., honorarios de ingeniería y contingencias). En el informe, se utilizan los costos asociados con la construcción del Raceway, bombas, y otras infraestructuras, para desarrollar una relación entre el tamaño de la planta piloto y el costo de construcción de estanques. Esta relación se presenta en la Figura 148, en la línea “Pond Construction Only”. La misma sugiere que los costos unitarios disminuyen a medida que aumenta la superficie construida. La extensión a partir de la cual esta relación indica una relación positiva económica de escala, no está determinada debido en la mayor parte a la falta de costos a escala de sistemas de microalgas (197).

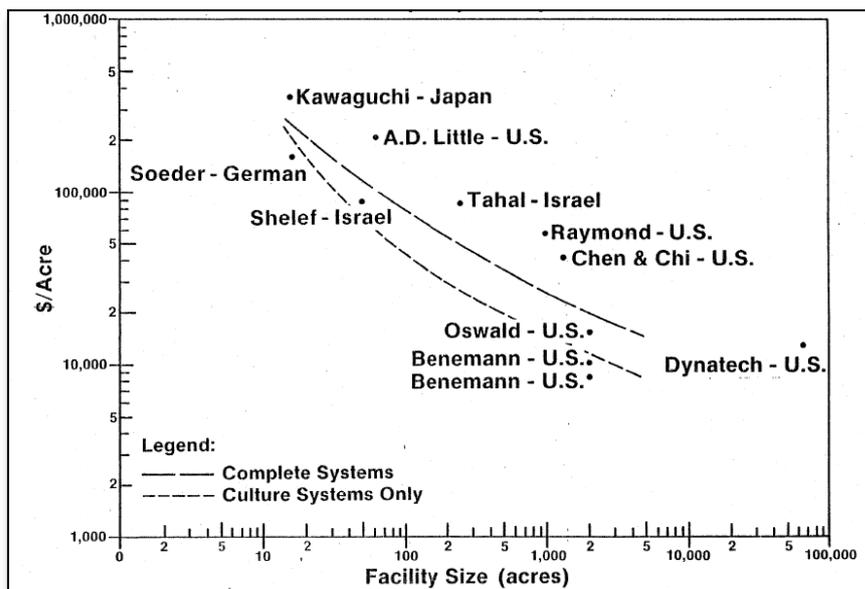


Figura 148 – Relación entre costos de capital y tamaño de la Planta para sistemas de Microalgas – Dólares por Acre (1982) (197)

Basado en trabajos anteriores se puede deducir que la reducción en costos asociada al tamaño de la planta de cultivo es cercano a 0.001 euros por kg de biomasa producida por cada m^2 de incremento en la superficie total de explotación, lo que puede llegar a representar un ahorro de casi el 79% sobre el costo total de producción en el punto óptimo de escala (244). Inclusive en los informes actuales de la literatura tampoco esta exactamente determinada la superficie óptima de cultivo (se proponen escalas de hasta 400 hectáreas) (40). Nótese que las distintas dimensiones vinculadas a los costos de construcción de la Figura 148, son a partir de más de 10 acres equivalentes a aproximadamente 4 hectáreas, que es una superficie 100 veces mayor que la planta piloto de este estudio de 0.4 hectáreas.

Respecto a la proporción de los costos operativos (Figura 149), los costos de mano de obra, son los más significativos.

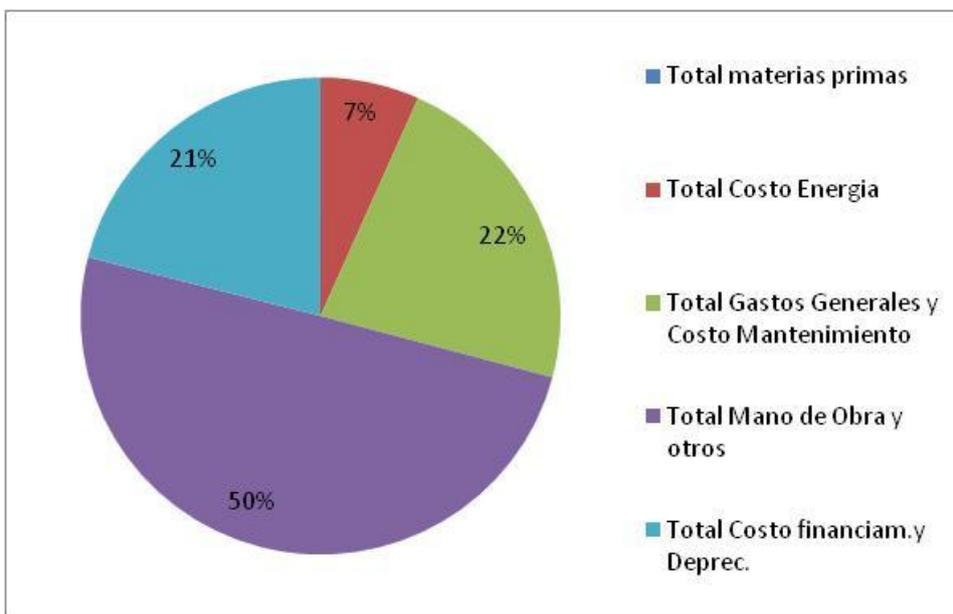


Figura 149 – Proporción costos operativos anuales – Fuente: (100)

Con una ganancia calculada total de \$ 155.508,02 pesos ciento cincuenta y cinco mil quinientos ocho + 02/100 equivalentes a USD 9.719 dólares nueve mil setecientos diecinueve por la generación eléctrica generada on site por el digester anaeróbico (Figura 150), los costos operativos anuales de \$ 2.302.849.68 equivalentes a dólares ciento cuarenta y tres mil novecientos veintiocho + 10/100 (Figura 141), un cargo por el capital de 8% sobre el costo de capital (40) que incluye el pago anual del bono y las depreciaciones por un total de \$613.227 (dólares treinta y ocho mil trescientos veintisiete), el costo anual total de producción es de USD 182.254,78 (dólares ciento ochenta y dos mil doscientos cincuenta y cuatro + 78/100). Con la producción de 5.475 kilos de biodiesel anual, el costo de producción es de USD 32/litro biodiesel u USD 98/gallon. (Figura 151), valor muy por encima de diferentes valores presentados en la literatura.

Calculos	Datos	
(S) Superficie Expuesta	3.333,33	m2
(V) Volumen	1.000.000	litros
Produccion Algas anual(P)	26.766,67	Kg.
Cosecha Anual de Algas (kg)	24.333,38	Kg.
Cosecha Anual de Algas (ton)	24,33	ton
Biomasa a digerir - (Biomasa - Lipidos)	18,25	ton
Litros de Metano por kg Biomasa a digerir	693	litros/kg
Total Litros de Metano	12.647.274	Litros
Total m ₃ de Metano	12.647	m ₃
Contenido Energetico del Metano	9,94	Kwh/m ₃
Total Contenido Energetico en Kwh	125.713,91	Kwh
Costo Energia	1,24	
Total ingreso por Metano	\$ 155.508,02	Pesos
Total ingreso por Metano	\$ 9.719	Dolares

Figura 150 – Cálculo ingreso en pesos y en dólares producido por la generación de metano – Fuente (100)

Resumen		
	\$	USD
Ingresos por generacion .metano (\$ o USD/año)	\$ 155.508	\$ 9.719
Total Gastos Operativos (\$ o USD/año)	\$ -2.302.850	\$ -143.928
Costo financiamiento (\$ o USD/año) /8%	\$ -613.227	\$ -38.327
Total Costo de Produccion	\$ -2.760.568	\$ -172.536
Total litros aceite anual producido por 2 piletones	5.475	5.475
Total costo de produccion por litro (\$ o USD/L)	\$ -504	\$ -32
Total costo produccion por barril (\$ o USD/bbl)		\$ -5.010
Total costos de produccion por gallon (USD/gallon)		\$ -98

Figura 151 – Calculo costo total de producción – Fuente: (100)

En 2007, a petición del Congreso de EE.UU., NREL (245) preparó un informe sobre el estado actual del desarrollo comercial de los biocombustibles de algas. Este informe incluye un análisis tecno-económico basado en una actualización de un hipotético proceso presentado por Benemann y Oswald. Este proceso estaba destinado a

combinar los menores costos de capital y de operación en un proceso integrado. Estos componentes consistieron en:

- Estanques Raceway para el cultivo.
- Floculación para la concentración de la biomasa
- Extracción con corriente caliente de los lípidos
- Separación (sólidos, agua, aceite), centrifuga continua.
- Reciclo de agua hacia piletones de cultivo
- Conversión de sólidos extraídos a través de la digestión anaeróbica para generar energía e inyectarla al proceso integral

Asimismo, el Dr. Ben Amotz, en una presentación (207) respondió a la pregunta acerca de cómo reducir el costo de la Producción de Algas, y la síntesis de su respuesta fue:

- i. Aprovechar los gases provenientes de centrales térmicas, para tener costo 0 en la provisión de Dióxido de Carbono.
- ii. Utilizar el agua de los sistemas de enfriamiento en su trayecto de vuelta al cuerpo de agua. Las centrales térmicas utilizan grandes cantidades de agua para enfriamiento y podemos aprovechar la misma sin costo.
- iii. Cosecha a bajo costo: Realizar la cosecha de manera eficiente. En su proceso en la planta de Israel se cosecha la biomasa algal removiéndola del agua al 15% TSS antes del secado. No hay un método aplicable a todas las especies, ni una centrifuga que funcione mejor.
- iv. Seguir estudiando el mejor método de extracción de aceite, para lograr romper la pared celular, con la mayor eficiencia posible. Para esto,

debemos tomar en consideración la composición de ácidos grasos del alga, para seleccionar la mejor alga para biodiesel.

- v. Estudiar el valor potencial de mercado de los commodities

En 2008, se llevó a cabo un estudio comparativo sobre el costo de producción de microalgas, sobre 12 estudios públicos (Figura 152). El diferencial de costos puede atribuirse en gran medida a los supuestos dispares e incertidumbres en los insumos económicos y de proceso. En todos los casos, los costos presentados, seguían siendo prohibitivos en relación a los costos establecidos para la producción de combustibles fósiles, dejando claramente establecido la necesidad de alcanzar metas para alcanzar la factibilidad para los combustibles de algas, aun para los escenarios más optimistas.(246)

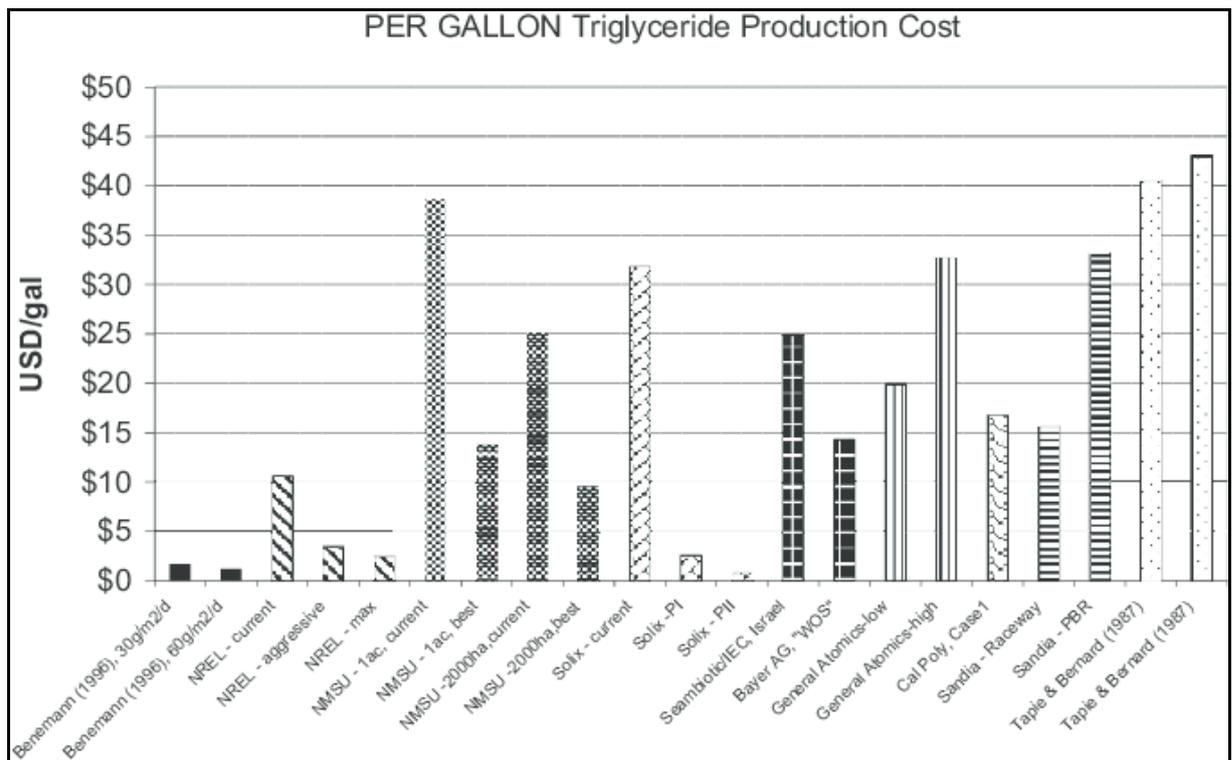


Figura 152 – Costo de Producción a escala industrial, correspondiente a distintas publicaciones ajustada a los costos del 2008. Fuente: (246)

En el mismo informe (246) se muestra un modelo generado a partir de la combinación de los estudios recién mencionados en el párrafo anterior con algunas modificaciones realizadas para buscar armonizar los parámetros y diferencias. A partir de allí se concluye que duplicando la producción y el contenido lipídico de las algas, se puede optimizar la estructura de costos en más de un 50%. Por lo tanto, en una base de alrededor de USD 11.57 TAG/gallon (equivalentes a USD 3.40/litro) que claramente no es competitiva con los combustibles de transporte derivados del petróleo, la viabilidad económica a corto plazo de la producción de biocombustibles de algas será probablemente dependiente de las mejoras de rendimientos y de procesos combinados. Además, la escalabilidad limitada puede atribuirse al alto volumen de materiales para el cultivo de algas y por lo tanto se requieren estudios de resolución más fina y datos de proceso para determinar el factor de escala que permita el despliegue a gran escala. (246)

Algunos autores aclaran que producir biodiesel de microalgas con un costo bajo competitivo requiere primeramente mejoras en la biología de las algas a través de ingeniería genética y metabólica. (41)

Según el Dr. Chisti, en la comparación de fotobioreactores y carruseles para la producción de biodiesel de microalgas, el costo de producir la biomasa es el factor relevante. Se estima que el costo de producción de un kilogramo de biomasa microalgal es \$2.95 para los fotobioreactores y \$3.80 para los carruseles respectivamente. Estas estimaciones asumen que el dióxido de carbono está disponible sin ningún costo. Si la capacidad de producción anual de biomasa se aumenta a 10.000 t, el costo de producción por kilogramo se reduce a aproximadamente \$0.47 y a \$0.60 para fotobioreactores y carruseles. Suponiendo que la biomasa contiene 30% de aceite en

peso, el costo de biomasa para proporcionar un litro de aceite sería algo así como \$1.40 y \$1.81 para los fotobioreactores y los carruseles, respectivamente. En comparación con esto, durante 2006, el aceite de palma crudo, que es probablemente el aceite vegetal más barato, se vendió a un precio promedio de \$ 0.52/L, y en 2015 a un precio promedio de 0.58/L (35). Mientras que en los Estados Unidos, durante 2006 el precio promedio del petrodiesel excluyendo los impuestos y la distribución era de \$ 0.49/L y en 2016 aprox.0.31 USD/L. El biodiesel del aceite de palma cuesta aproximadamente \$0.66/L, o 35% más que el petrodiesel. Esto sugiere que el proceso de conversión del aceite de palma en biodiesel agrega alrededor de \$0.14/L al precio del aceite (27%), para 1996. Para que el biodiesel proveniente del aceite de palma sea competitivo con el petrodiesel, no debería exceder \$0.48/L o de acuerdo a los números más actualizados al 2015 \$0.30/L, asumiendo una ausencia de impuesto sobre el biodiesel. De la misma manera, un precio razonable para el aceite de microalga debería ser \$0.48/L en números de 1996 o \$0.31/L para que el diesel algal sea competitivo con el petrodiesel. El objetivo estratégico es por cierto reducir el costo de producción del aceite algal desde alrededor de \$2.80/L. (35)

Los aceites de microalgas se presentan como potenciales substitutos para reemplazar el petrodiesel. Pero necesitan aproximar su costo al precio del crudo. Para ello se plantea una estrategia productiva basada en la optimización de las microalgas a través de la ingeniería genética, avances en ingeniería de fotobioreactores y en la biorefinería. Una biorefinería microalgal puede simultáneamente producir biodiesel, forraje, fertilizantes, biogás y energía eléctrica. La extracción de otros productos de alto valor relacionados con la industria farmacéutica, cosmética y alimenticia, podría ser factible, dependiendo de las especies de microalgas utilizadas (35).

La economía de producir biodiesel de microalgas tiene que mejorar considerablemente para hacerlo competitivo con el petrodiesel. El reto es encontrar las especies de microalgas capaces de producir la mayor cantidad de aceites para obtener el biocombustible. Para ello, se deben intensificar los estudios tendientes al mejoramiento de las especies productoras de aceites a través de la biología molecular, la ingeniería genética, y la posibilidad de una estrategia productiva basada en el concepto de biorefinería, que permita obtener biodiesel, y utilizar la biomasa residual para subproductos (35).



CAPITULO 6

CONCLUSIONES

6.- Conclusiones

6.1.- Resumen general del proyecto presentado

El presente trabajo, evalúa la factibilidad de producir biodiesel a partir de la producción de microalgas en una planta piloto de 0.4 hectáreas, ubicada en el predio anexo a la Central Térmica San Martín en Timbúes Santa Fe.

La localización surge de un estudio general acerca de los parámetros requeridos para la ubicación geográfica de una planta piloto. La presente tesis también releva la tecnología actual disponible para combustibles y realiza una estimación de costos, de valores energéticos y un diagrama básico de flujo.

6.1.1.- Tecnología considerada

La tecnología considerada en el presente trabajo, fue seleccionada acorde a las principales recomendaciones para la producción de biocombustible de algas. El sistema de cultivo es abierto, en Raceways, utilizando paddlewheels (paletas mezcladoras), tecnología utilizada en algunos pilotos para proyectos de biocombustibles o a nivel producción comercial. El sistema de cosecha que es en tres pasos, biofloculación, sedimentación, centrifugación, está alineado en los dos primeros pasos a distintos informes de experiencias en escala pequeña y al proceso utilizado en depuración de aguas residuales. Asimismo se incorporó una centrifugación para lograr eliminar un porcentaje alto de humedad y permitir la extracción posterior con la pasta seca que es la opción más utilizada. Para esto y como última etapa, se incorporó un Spray Dryer.

Para recuperar el aceite contenido en las algas secas, se utiliza el método de extracción de solvente vía hexano, que se utiliza de manera similar para la extracción en la soja y es recomendado por la literatura ya que es el más económico a nivel comercial. Si bien las plantas de extracción y conversión de aceite en biodiesel son grandes para lograr una economía de escala y en la mayoría de los casos se recomiendan instalaciones centralizadas que procesen la biomasa microalgal de distintas instalaciones, en el presente trabajo se consideró todo el proceso integral en la misma instalación.

Técnicamente, se asumió una productividad promedio 22 grs./m²/día en la biomasa de algas (80mt/ha-año) de los cuales se colecta post cosecha 20 grs./m²/día y un 25 % de contenido de lípidos.

En el diseño de la planta, se diseñaron 4 tamaños de piletones, desde el tamaño de los inóculos, hasta los industriales de 1667 m² cada uno (129 mts. x 12.91 mts, con 30 cm de profundidad). La superficie total destinada a los piletones es de 3.740 m².

Las algas se alimentan del agua proveniente del sistema de enfriamiento de la central y de los gases provenientes de la misma. Una vez extraído el aceite, la biomasa residual ingresa a un digestor anaeróbico desde donde se provee de nutrientes a los piletones y se aprovecha la energía en el proceso.

Los costos correspondientes a los distintos equipos y construcciones, son acordados a diferentes proveedores de la zona, o bien en el caso de la importación del equipo de extracción, se relevaron los costos necesarios para la nacionalización del mismo. No se incluyeron en el trabajo los costos correspondientes al gasoducto y modificaciones necesarias para llevar los gases de la central a los piletones.

Factores ambientales, económicos y sociales pueden influir en la viabilidad comercial de los biocombustibles (247). Dentro de la presente tesis, se tuvieron en cuenta determinados parámetros respecto a la sustentabilidad económica y ambiental de aquellos recursos necesarios para la producción de microalgas con fines energéticos:

- a. La **tierra**: el lugar potencial de asentamiento de la planta piloto es un espacio no utilizado por la central térmica, y en la actualidad no tiene un mejor uso destinado a otro proyecto. Para un proyecto a escala industrial, esta tierra no podría ser viable, ya que está ubicada en una zona altamente productiva, cerca del puerto y con una valuación/hectárea económicamente alta.)
- b. Los principales **nutrientes** (Nitrógeno y Fósforo) provenientes del reciclado vía digestor anaeróbico.
- c. El **Dióxido de carbono** proviene de una fuente de emisión.
- d. La **radiación solar** y los factores climatológicos están dentro de los niveles requeridos.
- e. El **agua** es no potable. En el presente proyecto, consideramos la utilización del agua del Río Paraná. que proviene del sistema de enfriamiento de las calderas y que es devuelta al río.
- f. Los costos consideran un 8% adicional (interés y depreciación) y un bono a 30 años. El costo resultante es el costo de producción por unidad de aceite o energía producida.

6.1.2.- Resultados obtenidos

Ver las Figuras:

- I. Cálculo de la superficie total ocupada por los piletones (Figura 153)
- II. Gasto energético y NER (Figura 154)
- III. Costos de capital (Figura 155)
- IV. Costos operativos (Figura 156)
- V. Resumen de costos anuales incluyendo costos financieros (Figura 157)

Tamaño Bioreactor	Micro		Mini		Inoculo		Industrial	
Volumen	500 litros		5000 litros		50.000 litros		500.000 litros	
(L) Largo de la Pileta	4,08 m.		12,91 m.		40,82 m.		129,10 m.	
(A) Ancho de la Pileta	0,41 m.		1,29 m.		4,08 m.		12,91 m.	
(d) Profundidad	0,30 m.		0,30 m.		0,30 m.		0,30 m.	
(S) Superficie Expuesta	1,67 m ₂		16,67 m ₂		166,67 m ₂		1.666,67 m ₂	
Cantidad	2		2		2		2	
Total Superficie por tamaño	3,33 m ₂		33,33 m ₂		333,33 m ₂		3.333,33 m ₂	
Total Superficie							3.703,33 m ₂	
Adicional por dist. Entre piletones y otros (1%)							37,03 m ₂	
Total Sup. Piletones							3.740,37 m₂	

Figura 153 – Cálculo de la superficie total ocupada por los piletones en la Planta Piloto Propuesta - (nota: a modo general para algunos cálculos de movimiento de suelo, consideraremos 0.4 hs, que incluirían instalaciones: laboratorios etc.)

Gasto Energetico Anual	
Energia cultivo	38.510,45 Mj/año
Energia Cosecha	187.074,67 Mj/año
Energia Extraccion	17.644,74 Mj/año
Energia Conversion	456,25 Mj/año
Total Energia consumida	243.686,11 Mj/año
kg Biodiesel	2.737,51 kg
Gasto Energetico	89,02 Mj/kg
NER	
$\text{NER} = \frac{\text{Energia Primaria (Cultivo, Cosecha incl.Secado)}}{\text{Energia Contenida en el biocombustible}}$	
NER	
Energia cultivo	38.510,45 Mj/año
Energia Cosecha	187.074,67 Mj/año
Total Energia Primaria	225.585,12 Mj/año
Total Energia Contenida en el biodiesel	109.500,21 Mj/año
NER	2,06
Total Energia Primaria	225.585,12
Total Energia contenida en el biodiesel + Metano	335.785,24
NER (biodiesel + Metano)	0,67

Figura154 - Gasto energético y NER correspondiente a la Planta Piloto Propuesta

Costos de Capital	
Equipos	USD
- Raceways	\$ 114.281
- Biofloculacion Sedimentacion	\$ 19.853
- Centrifugadora	\$ 9.375
- Secador Spray	\$ 92.000
- Extraccion Aceite	\$ 31.324
- Reactor Transesterificacion	\$ 2.188
- Digestor Anaerobico	\$ 12.000
Total Equipos Instalados	\$ 281.020
Instrumentacion	\$ 14.051
Sistema de bombeado y tuberias	\$ 56.204
Terreno	\$ 14.000
Obras civiles	\$ 42.153
Ingenieria	\$ 28.102
Subtotal	\$ 154.510
Contingencias	\$ 43.553
Total inversion fija	\$ 479.083

Figura 155 – Resumen costos de capital correspondientes a la Planta Piloto Propuesta

Costos Anuales		Dolares
Materias Primas		0,00
Fertilizantes		0,00
Dioxido de Carbono		0,00
Medios de Produccion		12.151,75
Agua (m3)		0,00
Consumo electrico Anual (kwh)		12.151,75
Costos Fijos		131.776,36
Mano de Obra		90.815,23
Gastos Generales		32.530,52
Costos de Mantenimiento		8.430,61
		0,00
Total materias primas		0,00
Total Medios de Produccion		12.151,75
Total Mano de Obra y otros		131.776,36
Total Costos Operativos Anuales		143.928,10
Depreciaciones y Costo Capital (8%)		38.326,67
Total Costos Anuales		182.254,78

Figura 156 - Resumen costos operativos correspondientes a la Planta Piloto Propuesta

	USD
Ingresos por generacion .metano (\$ o USD/año)	\$ 9.719
Total Gastos Operativos (\$ o USD/año)	\$ -143.928
Costo financiamiento (\$ o USD/año) /8%	\$ -38.327
Total Costo de Produccion	\$ -172.536
Total litros aceite anual producido por 2 piletones	5.475
Total costo de produccion por litro (\$ o USD/L)	\$ -32
Total costo produccion por barril (\$ o USD/bbl)	\$ -5.010
Total costos de produccion por gallon (USD/gallon)	\$ -98

Figura 157 - Resumen de costos anuales incluyendo costos financieros

6.1.3.- Comentarios sobre resultados obtenidos

- a) La dimensión de la planta piloto elegida para la presente tesis es de aprox. 0.4 hectáreas. Dentro los costos operativos, los costos de la mano de obra y la amortización de capital inmovilizado son los más significativos y por lo tanto las primeras partidas que deben ser reducidas. La reducción de la mano de obra no puede hacerse si no es a través de una automatización y simplificación de la instalaciones. Además, para reducir la amortización, es necesario la modificación en la selección de equipos o bien, el aumento de escala que repercute en una reducción general. Los costos de los conceptos y equipos más importantes (Secador Spray, Membrana, Equipo de Extracción) y su volumen, son determinantes en el costo final de producción, y solo equipos a gran escala y con alto grado de automatización, pueden permitir reducir el costo de producción. Para esto sería necesario trabajar a gran escala en procesos simplificados.

- b) En el análisis del NER (Net Energy Ratio), encontramos un valor de 2.06 que indica que la energía primaria, es mayor que la energía contenida en el combustible, o sea que el proceso tal como está definido, consume más energía que la que produce, y alcanzar un mejor balance, requiere de una optimización en los equipos y procesos principalmente de cosecha y secado. Además, al incorporar la digestión anaeróbica en el proceso de producción, notamos que el valor pasa a ser menor que 1 (0.67), mostrando una relación favorable en términos energéticos. O sea que en nuestro estudio, sin considerar la incorporación del digestor anaeróbico, no sería un proceso ambientalmente sostenible.
- c) La obtención de un costo de producción de **-32USD/L** de biodiesel para el presente proyecto, muestra ser superior a los presentados en la mayoría de los estudios de la literatura, que van hasta los **8 USD/L**.

La producción de biocombustible a partir de microalgas, tiene un costo alto, aun considerando la mayor cantidad de factores alineados al menor costo: sistemas abiertos, sistema de cosecha por biofloculación, sedimentación, alta productividad, un promedio alto de contenido de aceite.

Para mejorar la viabilidad económica, se puede recurrir a diferentes alternativas:

- I. Se puede recurrir a créditos relacionados con la operación. En nuestro caso, se consideró el crédito por la producción de metano en el digestor. Una opción mejorada es realizar biocombustibles al mismo tiempo que el tratamiento de

aguas residuales y considerar el crédito por esta actividad, para obtener un costo competitivo (11). Pero a la hora de considerar los parámetros requeridos para considerar la ubicación de un proyecto (climatológicos, sociales, etc.) se limita la aplicación de estos casos.

- II. La posibilidad de obtener créditos a disposición para energías renovables y por carbono mejorarían los costos del proyecto y facilitarían el mismo. En nuestro país, si bien no hay créditos específicos destinados a proyectos en relación a microalgas, encontramos la posibilidad de financiamiento a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el BICE (Banco de Inversión y Comercio Exterior) para proyectos concretos, y del Ministerio de Agroindustria para proyectos de Biorefinerías.
- III. Otra opción sería utilizar la biomasa residual post extracción de aceite, y venderla como coproducto para alimentación animal. La eliminación del biodigestor supondría la necesidad de comprar los nutrientes afuera, o de realizar el biodigestor con biomasa sin costo, proveniente de otro establecimiento.
- IV. La mayor oportunidad de reducción de costos, y extender las áreas geográficas factibles para biocombustibles es en lo biológico, en la medida que se logre generar la mayor productividad de la biomasa y del aceite, a través de la selección de cepas de algas y mejoras por modificación genética (40).

Un requerimiento para alcanzar el potencial de la industria de microalgas es el desarrollo de proyectos de demostraciones pilotos a gran escala para demostrar la viabilidad comercial de producir biocombustibles a partir de microalgas. El costo de estos proyectos será muy alto, y por lo tanto, la aplicación inicial de cultivos en masa de microalgas para la producción de energía renovable y la reducción de los gases de efecto invernadero están en la zona de los residuos industriales, animales y humanos que contienen los nutrientes necesarios para el cultivo de las mismas. Sin embargo, si el aceite de algas puede ser producido como un subproducto junto a productos de algas de mayor valor y se pueden utilizar los créditos de carbono para aumentar los ingresos de estos negocios, el aceite de algas puede jugar un papel en un futuro más cercano en la mezcla utilizada para combustibles en el transporte. (248)

Para sintetizar, la producción de biodiesel de microalgas presenta dificultades técnico-económicas relacionadas principalmente con los métodos de cosecha (separación de la biomasa de un medio líquido muy diluido) y extracción del aceite (que implica romper las células). También existen dificultades desde el mercado, en términos de precios de combustibles. El biocombustible de microalgas aún no puede competir con el de soja y mucho menos con el petróleo. Para que los biocombustibles generados por algas sean un material competitivo y su uso se masifique en la aviación, el precio del petróleo debería ser casi tres veces superior al costo actual de un barril de crudo. (249)

La producción de biodiesel a partir de microalgas no es factible económicamente de acuerdo a los parámetros tomados en la presente Tesis. Para escalas más grandes, es necesario intensificar los estudios tendientes al mejoramiento de las especies productoras de aceite a través de la biología molecular, la ingeniería

genética y la posibilidad de una estrategia productiva basada en el concepto de biorefinería que permitan obtener biodiesel y utilizar la biomasa residual para subproductos. (35).

6.2.- El estado actual de la industria de biocombustible de algas

El mercado mundial de la biomasa de algas está en este momento en una etapa inicial y preparado para tener un crecimiento en los próximos años. Las algas atraen inversores e intereses en biocombustibles, petróleo y en las industrias agroalimentarias. Se cree que tanto Estados Unidos como Europa no logran cumplir con sus objetivos de biocombustibles si lo hacen solamente a través de maíz, de soja, o de colza. El rápido crecimiento en ambos bloques del mercado de biodiesel en el periodo 2007-2010, (Figura 158) ha llevado a una mayor capacidad en las biorefinerías, pero una escasez de materias primas. Se espera una demanda a largo plazo para los biocombustibles en los Estados Unidos, la Unión Europea y Asia que creará nuevas oportunidades para las algas y otras materias primas no alimenticias que permitirán alcanzar los objetivos ambiciosos proyectados para el biodiesel, y el etanol. (250)

World Biodiesel Production and Capacity

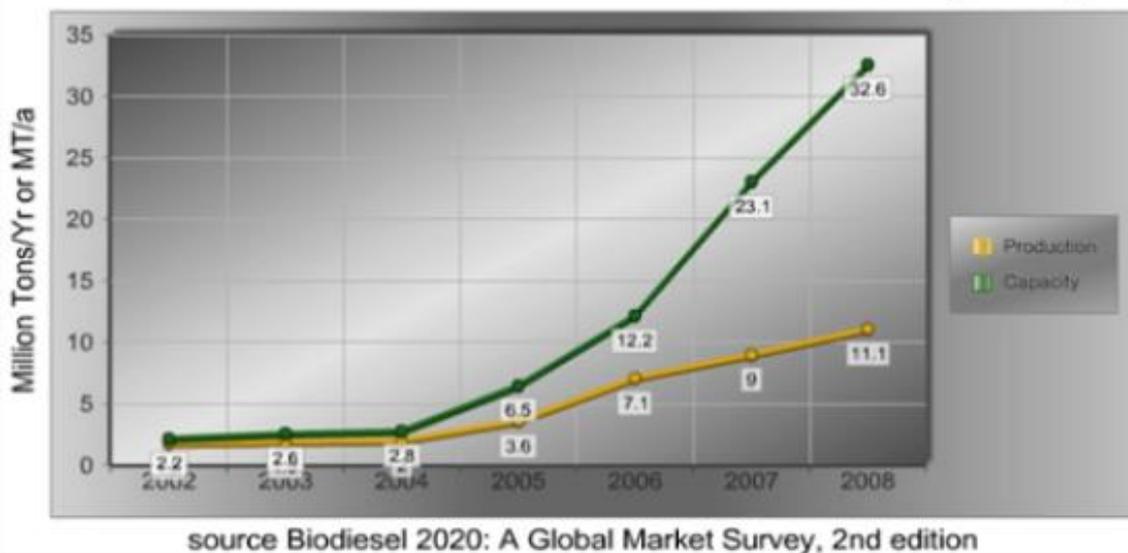


Figura 158 – Producción Mundial de Biodiesel y Capacidad Instalada Mundial al 2008

– Fuente: (250)

En todo el mundo, existe una demanda creciente de alternativas de combustibles y materias primas sostenibles. Comparado con otras materias primas, las algas pueden proporcionar una fuente de alto rendimiento de biodiesel, etanol y combustibles de aviación sin comprometer el suministro de alimentos, selvas tropicales o tierras de cultivo. Las cepas de algas de alta productividad generaran una materia prima muy necesaria para las biorefinerías en todo el mundo (251)

Si se logra implementar mas el uso de microalgas para producir biodiesel, entre 1 y 3% del total de área de cultivo de los Estados Unidos, serian suficientes para producir la biomasa que satisfaga el 50% del combustible que necesita el transporte, y su cultivo no comprometería la producción de alimento, forraje y otros productos. (35)

Los productores y dueños de tecnología de Europa y Estados Unidos, están comenzando a observar los mercados emergentes de crecimiento económico más

rápido en América Latina, Asia, África y Medio Oriente, aumentando la demanda del mercado, y el apoyo del gobierno para lograr un crecimiento comercial acelerado. Esto sigue una tendencia clave por Shell y BP de invertir 12 y 8 billones, respectivamente, para producir por ejemplo en Brasil etanol, bio-butanol, y productos químicos de base biológica. (250)

Actualmente cientos de empresas, compañías, gobiernos, entidades y científicos incluidos países como Estados Unidos, China, India, Australia e Israel, junto a las principales líneas aéreas y empresas de aviación, están activamente trabajando a nivel mundial para realizar biocombustibles y otros productos a partir de algas.

Los gobiernos de los EE.UU., Europa, India, China, Brasil y Canadá aumentaron sus inversiones en este tipo de actividades en colaboración con algunas universidades y laboratorios que se espera van a abrir varias oportunidades de crecimiento para los principales participantes de la industria durante el período de pronóstico 2010 - 2020. (251)

En el año 2010, Pike Research realizó un estudio donde prevé que la producción de biocombustibles derivados de aceite de algas llegará a 61 millones de galones para el 2020. Mientras que apenas significa una gota en el mar para los biocombustibles, esta cifra supone un aumento rápido en la producción durante la próxima década y un valor de mercado de \$ 1.3 mil millones. A nivel mundial, nos anticipa que la producción aumentará a una tasa elevada de crecimiento anual. (252) (Ver Figura 159)

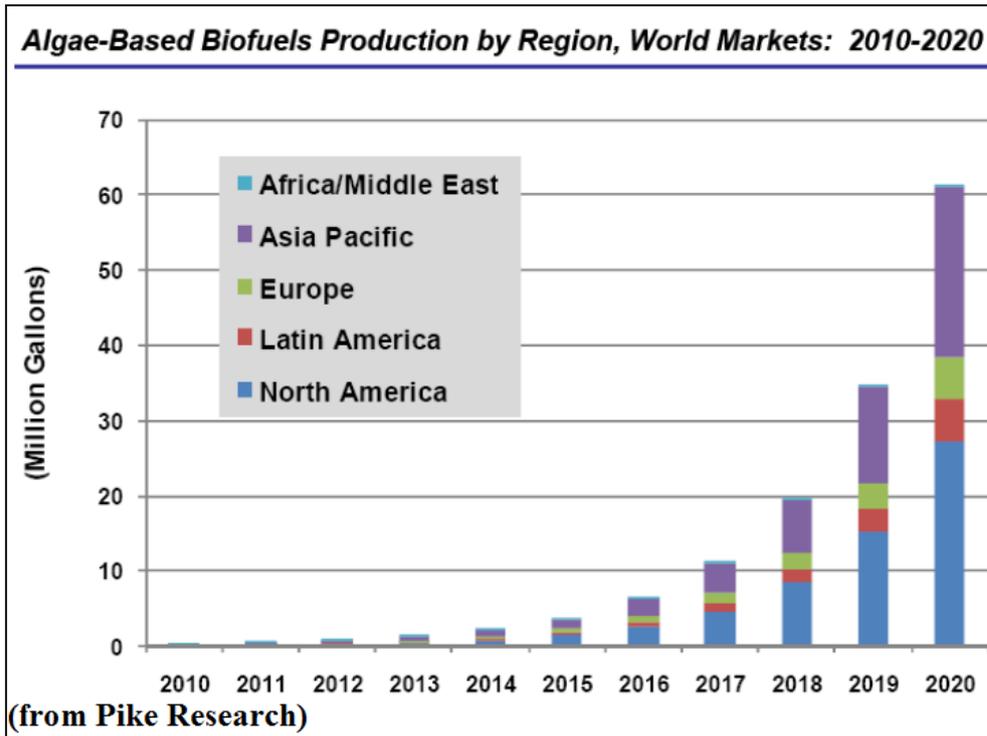


Figura 159 – Producción de biocombustible algas por región 2010 – 2020 – Fuente: (252)

En Estados Unidos, instalaciones de plantas pilotos y de demostración a escala están invadiendo el país. La Unión Europea (UE), hogar de aproximadamente el 30% de la actividad de algas, se enfoca inicialmente en la investigación en universidades pero más tarde estará limitada por la falta de acceso al agua, la tierra y las fuentes de nutrientes. América Latina y Asia Pacífico, que son el hogar de un menor número de proyectos en operación hoy en día, se establecen en ganar cuota de mercado significativa en el largo plazo. Ambas regiones se beneficiarán de la rapidez de expansión de los mercados de biocombustibles, los recursos hídricos, sus amplios terrenos, y la mano de obra barata. Oriente Medio y partes de África son potencialmente candidatos ideales para la producción de algas dada la disponibilidad de zonas desérticas, pero su persistente inestabilidad política, su cambiante infraestructura conjuntamente con sus compromisos con la producción de petróleo, y la falta de acceso al capital, limitarán el crecimiento en esas regiones durante los próximos años. (251)

Ver Figura 160 con la participación por país en la producción mundial de algas al 2020, y particularmente el lugar de Argentina con el 6%. (252)

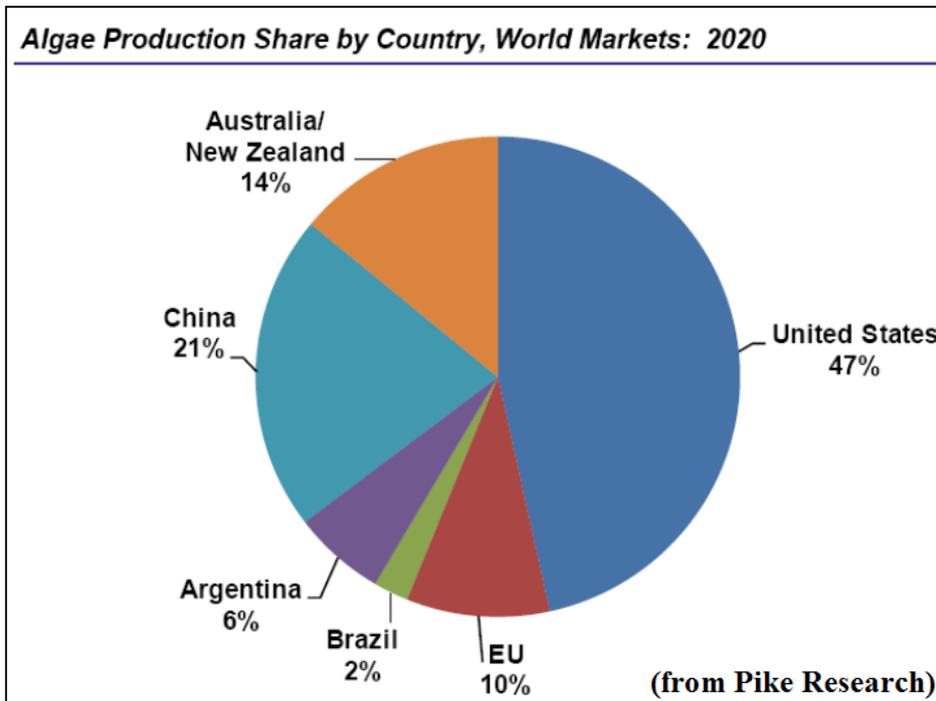


Figura 160 – Participación por país en la producción mundial de algas al 2020 – Fuente: (252)

En Estados Unidos de América, más de 50 institutos de investigación y cien compañías trabajan en la tecnología para toda la cadena de valor, y están fundadas instituciones de investigación que integren la colaboración de universidades, laboratorios y socios públicos-privados. (250)

Algunos actores destacados del mercado de los biocombustibles de algas han participado en actividades de investigación y desarrollo en colaboración con otros agentes del mercado para obtener una ventaja competitiva. Estos son: Exxon Mobil y Synthetic Genomics Inc., Algenol y The Dow Chemical Company, BP Plc y Martek y Royal Dutch Shell Plc y Cellana, Solazyme, Solix Biosystems, Inc., Sapphire Energy,

Inc. y Seambiotic Ltd. (251) (253) Ver Figura 161 y 162 con el detalle de los principales inversores en el mercado.

Nombre	Lugar	Inver-sion USD	Emple-ados	Producto	Capacidad actual	Descripcion
Algenol Biofuels Inc.	Commercial Development Campus Fort Myers, Florida	\$190 million	164	Etanol	10,000 gallons per acre per year	La Cia. patento tecnologia propia para produccion etanol utilizando radiacion solar, CO2, tierra marginal, y agua salada. El residuo de la biomasa algal se utiliza en tecnologia de conversion para producir diesel, jet fuel y gasolina. Algenol opera a nivel comercial con 60,000ft2 de laboratorio y oficinas, y cultivo en sistema abierto en ponds de 4-acre por unidad y 36-acre escala piloto de biorefineria integrada.
Sapphire energy	Research and Development Site Las Cruces, New Mexico	\$ 350 million	150	Crudo Verde, sustituto directo del petroleo	100 barrels of green crude per day.	Sapphire Energy es pionero en esta nueva industria de produccion de Crudo Verde. Crudo verde es un combustible renovable, que puede reemplazar al petroleo, realizado con algas, radiacion y CO2 . Es compatible con la infraestructura actual y genera bajas emisiones de carbono. Ademas es escalable. Esta compania fue la primera en testear con exito su combustible jet en dos lineas aereas comerciales en el 2009 (Continental and Japan Airlines). Sus prestaciones operativas son 100 acres de estanques a cielo abierto aunque a full capacity las instalaciones seran de 300 acres/
BioProcess Algae	Company Headquarters Portsmouth, Rhode Island	\$ 50 millions	40	Animal Feed Nutritional Fuel	One metric ton of biomass per day	BioProcess Algae, disena, construye y opera a nivel comercial bioreactores que permiten una conversion eficiente de luz solar y Dioxido de Carbono en una materia prima de alto valor. La Compania esta enfocada en lograr las materias primas que cubran las necesidades nutricionales animales y combustibles para el transporte de alternativas económicas con los balances de carbono favorables . En la actualidad está en marcha una planta de demostración en el Green Plains Renewable Energy , Inc. planta de etanol en Shenandoah , Iowa . Los biorreactores de cultivadores estan atadas directamente en el gas de escape de CO2 de una central termica y han estado operando continuamente desde la inoculación en octubre de 2009 .
Heliae	Company Headquarters Gilbert, Arizona	N/D	104	nutraceu-tical and cosmetics products		Heliae is currently building a 20-acre commercial production facility located adjacent to its headquarters and demonstration facility in Gilbert, AZ. The commercial facility is being built in phases, with a target completion of phase 1 in the third quarter of 2013. Heliae's first commercial facility will focus on nutraceu-tical and cosmetics products with commercial off-takes already in place for the production capacity of the facility.

Figura 161 – Algunas empresas, universidades o laboratorios involucrados en el desarrollo del mercado – Fuente: (253)

Nombre	Lugar	Inver- sion USD	Emple- ados	Producto	Capacidad actual	Descripcion
Aurora Algae	R&D and Pilot Processing Facility Hayward, California	N/D	70	Biofuel • Omega-3 Essential Fatty Acids • Protein and Animal Feed	Six 1-acre production ponds and more than 40 smaller ponds producing 15 tons of biomass per month.	Aurora Algae es una empresa de bioenergía que produce combustible a partir de un proceso de producción propio patentado. Tecnología para método a gran escala de producción de biocombustible. El proceso productivo es bajo en emisiones y no compite con recursos agrarios, tiene rendimientos óptimos industriales. Cuando se produce en combinación con otros co-productos de alto valor, el biocombustible de esta empresa puede venderse a costos competitivos del mercado.
Cellana Inc	Kona Demonstration Facility Kailua-Kona, Hawaii	\$ 20 millions	25-50	Omega-3 Nutritional Oils • Food and Feed Supplements • Biocrude Oil	N/D	Producción e investigación en 6-acres. Hasta ahora, más de 20 toneladas de biomasa seca de algas se produjeron utilizando el proceso Cellana's ALDUOTM process con diferentes tipos de algas, haciendo de ALDUOTM uno de los sistemas abiertos más flexibles, testeados y validados en el mundo. Cellana está en el proceso de evaluación comercial en Hawaii, U.S., una región de África, y en el sur de Asia. El modelo de biorefinería integrada implica contratos respecto a biocombustibles, alimento, y aceites
Duke Energy and the University of Kentucky	East Bend Demonstration Union, Kentucky	\$200,000	N/D	CO2 Remediation Services • Algal Biomass • Fuel and Aquaculture Feeds	26000 litros	Duke Energy is una holding multinacional con foco en energía eléctrica. Tiene activos y segmentos de negocios distintos en diversos lugares del mundo que incluyen inversión en energías renovables. La University of Kentucky's Center for Applied Energy Research (UK CAER) es un centro interdisciplinario de investigación con foco en la energía necesaria de los Commonwealth of Kentucky. El centro crea oportunidades de negocios e instaló un photobioreactor operado y expandido por Duke Energy's East Bend ubicado en Union, KY. El PBR convierte el CO2 en flue gas a nutriente para el alga vía fotosíntesis. La biomasa es cosechada y se convierte en productos de valor agregado. Tiene un sistema de consumo bajo de energía de todo el proceso reciclando el agua y los nutrientes.
Earthrise Nutritionals	Earthrise Calipatria Imperial Valley, California		60	Spirulina and Spirulina-based formulated greens products	Spirulina powder are produced each year in 37 ponds roughly 1.3 acres each.	Es la compañía de mayor producción del mundo de el alga Spirulina. Distribuye esta alga y co-productos en más de 20 países en el mundo. En este momento Earthrise ha celebrado un contrato de colaboración con uno de los mayores productores de biocombustibles a nivel mundial.
Phycal	Pilot Algal Biorefinery Wahiawa, Hawaii	\$65 millions	18-36	Algal Oil • Bioproducts • Jet Fuel		Phycal's Pilot Algal Biorefinery validará tres sistemas de cultivo a escala: piletones a sistema abierto, fermentadores and Heteroboost™ – que es un sistema patentado por ellos híbrido de estanque/fermentador.

Figura 161 (cont.) - Algunas empresas, universidades o laboratorios involucradas en el desarrollo del mercado – (253)

ALGAE FINANCE, INVESTMENT AND GRANTS - SELECTED PROJECTS

Organization	Investment	Project Scope/R&D
Sapphire Energy	\$100 million in R&D from Bill Gates' Cascade Investments and Rockefeller Foundation	Algae for biocrude demonstration project in Las Cruces, California, and the production of renewable gasoline
Solazyme	\$75 million in R&D finance so far from private investors, Chevron	Algae for biocrude, jet fuel and biodiesel in San Francisco, California
UK Carbon Trust	\$40 million challenge for algae commercialisation by 2020	In October 2008, UK Carbon trust announced a fund to award up to \$40 million in grants for algae projects
Aurora Biofuels	Raised a second round of funding of \$20 million from Oak Investment Partners, Gabriel Venture Partners and Noventi	Aurora Biofuels is an algae-to-biodiesel startup with roots at University of California at Berkeley.
Algaelink	Undisclosed amount from KLM airlines, new Chinese ventures	New investments in the Netherlands based algae production manufacturer.
Petrosun	\$40 million in funding from China	Formation of Petrosun China, a 50/50 joint venture with Shanghai Jun Ya Yan Technology Development
NREL	\$25 million from 1970s to 1990s	Renewed investment in 2008 from Chevron, the US DOE, and several other firms.

source: Algae 2020 - Advanced Biofuels Markets and Commercialization Outlook from Emerging markets Online

Figura 162 – Alguno de los proyectos actuales, inversor y objetivo – Fuente: (250)

Es importante destacar, que hay un mercado de inversión y crecimiento que crece con 2 estrategias: la primera direcciona la tecnología patentada a socios con capital para invertir y desarrollar a escala industrial dicha tecnología. La otra estrategia es para los productores que exportan tecnología a socios locales en lugares geográficos que cuentan con la radiación, el nivel de gastos, el crecimiento del mercado y el apoyo del gobierno. (250)

En nuestro país, este mercado está en una etapa de desarrollo mucho más inicial todavía, hay equipos de trabajos e investigación en distintas provincias y algunas empresas privadas o creadas en el ámbito privado a partir de la asociación con algún equipo de trabajo de alguna Facultad. También encontramos plantas pilotos, y empresas

que producen biodiesel como actividad secundaria a la principal que es la venta del alga como proteína. Aquí abajo listamos los más importantes:

- ✓ Universidad de Cuyo – Responsable: Dr. Jorge Baron (Equipo de investigación que estudia desde el punto de vista técnico-económico la producción de algas para extracción de aceite y obtención de biocombustibles.
- ✓ AlgaTec S.A. (emprendimiento de algas Unicelulares entre la Fundación de la Universidad de Cuyo (FUNC), Energy Traders S.A. (ETSA) y Generadora Córdoba S.A. (GCSA), Objetivo: Evaluar la potencialidad de las algas para capturar el CO₂ (dióxido de carbono) de los gases de combustión industrial y la producción de energías alternativas, biodiesel y biocombustibles sólidos.
- ✓ Universidad de Buenos Aires –Facultad de Farmacia y Bioquímica – Responsable: Dra. Albertina Moglioni – (Equipo de investigación - Objetivo: Optimización de la producción de biodiesel a partir de aceite de microalgas)
- ✓ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería – Responsable: Daniela Romano
- ✓ Oil Fox S.A. - Responsable: Lic. Jorge Kaloustian – Objetivo: Producción de biodiesel a partir de algas, producción y venta Spirulina como proteína.
- ✓ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ciencias Naturales, Sede Trelew – Prof. Isabel Albarracín – Objetivos: investigación y desarrollo: · Mantenimiento de un cepario de especies locales u obtenidas de colecciones extranjeras, que se encuentran disponibles tanto para actividades docentes como de investigación. Además, se cuenta con especies aclimatadas en efluentes urbanos y de mataderos, Uso de microalgas para depuración de efluentes, Bioensayos de eco toxicidad orientados a evaluar el impacto de

plaguicidas y herbicidas que se usan en el Valle Inferior del Río Chubut; y el uso de algas como indicadores de contaminación en el Río Chubut.

- Uso de microalgas en la producción de biofertilizantes y alimentos funcionales.
 - Selección de especies adecuadas para la obtención de biodiesel, cultivadas en efluentes cloacales locales. (Nota: el Laboratorio de Microalgas nunca ha contado con presupuesto, ni privado ni estatal. Se mantiene con venta de cepas, dictado de cursos, pasantías y con algunos proyectos subsidiados".)
- ✓ Convenio entre Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco Facultad de Ciencias Naturales - Sede Trelew y Universidades Italianas -
Objetivo: **generación de biodiesel a partir de microalgas**
 - ✓ Universidad Nacional del Sur – Dra. Leonardi – Especializada en las potencialidades de las microalgas
 - ✓ Ministerio de Agroindustria – Dr. Juan Nori/Lic. Fernando Celasci – Departamento Microalgas
 - ✓ Universidad Tecnológica Nacional sede Mar del Plata – Equipo de investigación entre UTN, CONICET y técnicos de apoyo de la carrera de Tecnicatura en Acuicultura y Procesamiento Pesquero, dictada en la UTN Mar del Plata –
Objetivo: realizar el cultivo, a escala piloto, de especies seleccionadas de microalgas marinas, como materia prima para la producción de aceite para biodiesel.

Es importante mencionar algunos indicadores, además de los distintos equipos de trabajo, que demuestran el impulso que se está comenzando a dar a las algas como fuente potencial de bioenergía para nuestro país:

En el año 2014, la Dirección de Agroenergía, que depende del Ministerio de Agroindustria, convocó a investigadores de diferentes instituciones público-privadas del país que trabajan en el tema de las microalgas para crear la Red de Microalgas de Argentina, con integrantes de todo el país (por ejemplo, Universidad Nacional de Cuyo, Oil Fox, Dr. Velasco, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Dra. Albarracín por Universidad San Juan Bosco en Patagonia, etc.).

En el departamento de “Microalgas”, el equipo de trabajo promueve la temática en 3 ejes: Remediación, Valor Agregado y Producción de energía. Uno de los objetivos es institucionalizar de manera formal este Departamento, y para esto, se apoyan en la red interconectada tal que permita una mejor comunicación de información además de poder concretar proyectos de desarrollo para nuestro país. Por ejemplo actualmente se trabaja en dos proyectos de biorremediación: uno sobre efluentes de un tambo y otro sobre la parte líquida de los residuos sólidos urbanos, ambos en la localidad de Lincoln, en la provincia de Buenos Aires. Asimismo se creó la Antena de Vigilancia Tecnológica en Microalgas. Esta 'antena' recopila información en tres grandes ramas de interés: bioprocesos (diferentes formas de cultivar y/o de cosechar las microalgas), biorremediación y bioproductos (biodiesel, bioetanol, energías alternativas, carbohidratos, proteínas, vitaminas y compuestos antioxidantes y colorantes de gran valor agregado). (254) (255)

La sanción y la promulgación de la Ley 27.191, Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía se efectuó en el 2015. En una clara señal de continuidad jurídica, el actual Gobierno reglamentó la normativa a través de la Resolución 531 del Ministerio de Energía y Minería (La Ley declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con

destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad. En la actualidad, la República Argentina cuenta con una capacidad instalada cercana a los 800 megavatios para la generación de energía renovable. La Ley 27.191 tiene por objetivo la contribución de fuentes de energía renovables hasta alcanzar el ocho por ciento (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, para el 2018 y el 20 por ciento para el 2025. De esta manera, el país se propone alcanzar los 10 mil megavatios renovables en 10 años). Alineado con esto, se lanza el programa “Renovar” (256) que es un plan para impulsar las energías renovables 2016-2025. Mediante la resolución 72/2016 se aprobó el "Procedimiento para la Obtención del Certificado de Inclusión en el Régimen de Fomento de las Energías Renovables", que será aplicable a los titulares de proyectos de inversión y/o concesionarios. Los mismos obtendrán el Certificado de Inclusión en el Régimen de Fomento de Energías Renovables y los beneficios promocionales solicitados, en caso de resultar adjudicatarios y celebrar el contrato de abastecimiento de energía eléctrica respectivo con el ente contratante. La norma también aprueba el "Procedimiento para el control de las inversiones y la aplicación de los beneficios fiscales", aplicable a todos los beneficiarios del régimen de fomento de las energías renovables.

Para resumir, **la industria de los biocombustibles de algas está empezando a despegar**. EE.UU. sigue siendo una fuerza importante en ayudar a impulsar ese desarrollo. En muchos casos, inclusive está involucrado en las principales colaboraciones de alguna manera o industrias estadounidenses están entrando en algunos países debido a sus condiciones ambientales favorables para la producción de algas (por ejemplo, Australia) (257).

Los países en desarrollo por su lado, son los que están situados en las áreas geográficamente interesantes y viables para el cultivo de las algas, tienen mano de obra barata para el manejo operativo requerido, y son los más prometedores como potenciales productores de biocombustibles de algas, se dice que a partir de ellos se consolidara una nueva industria generando empleos, producto bruto e independencia energética. (258)

6.3.- Argentina

En Argentina, en el último quinquenio, en promedio las exportaciones de manufacturas de origen industrial (MOI) fueron del orden de U\$S 25 mil millones por año, y las compras al exterior de ese sector fueron del orden de U\$S 55 mil millones anuales, por lo que la balanza comercial sectorial tuvo un déficit que promedió los U\$S 30 mil millones anuales. Es decir, en dicho período, el sector industrial local importó U\$S 2.2 por cada dólar exportado (259).

Los excepcionales precios de la soja eclipsaron el problema, pero a partir de 2011 (y con precios de la soja deprimidos) el déficit energético cobró visibilidad en la balanza de pagos. Entre 2005 y 2014 el saldo comercial del sector energético pasó de un superávit de u\$s6.000 millones, a un déficit de más de u\$s6.000 millones. Una vez más surgieron algunos de los dilemas del conocido *stop-and-go* (260): es posible aumentar las exportaciones industriales y a la vez bajar las importaciones (con la consiguiente caída en el nivel de actividad y el empleo? A mediados de 2015, un grupo de ex secretarios de Energía presentó "La Energía en Argentina, desafíos políticos, técnicos y económicos 2016-2019", una propuesta que fue apoyada por los principales candidatos presidenciales. El documento contiene un panorama de la realidad energética argentina

y propone un conjunto de acciones concretas para los próximos cuatro años. En su análisis, los autores alertan sobre la situación crítica del sector. El plan que esboza se basa en cinco pilares: recuperar el auto-abastecimiento energético, sanear las cuentas del sector reduciendo los subsidios, promover inversiones privadas a través de licitaciones internacionales, impulsar la eficiencia y el uso racional de la energía, y diversificar la matriz energética con mayor participación de las energías renovables. (259) (261) (262)

En ese marco, el biodiesel a partir de algas unicelulares permitiría precisamente diversificar fuentes de energía, incorporando la energía solar utilizable mediante la fotosíntesis de las microalgas, con la ventaja respecto a los biocombustibles tradicionales de no competir con la producción de alimentos y no requerir suelos agrícolas.

Argentina cuenta con grandes extensiones de tierra no apta o no ideal para usos agrícolas, que sí permitirían realizar el cultivo de microalgas.

Respecto a los recursos humanos, institucionales y tecnológicos, Argentina tiene reconocidas capacidades en materia energética; es líder regional en la utilización de la energía nucleoelectrónica, tiene la infraestructura de transporte y distribución de gas natural más importante de la región, tiene la experiencia y el conocimiento para llevar a cabo grandes emprendimientos hidroeléctricos con altísima integración de la industria nacional, y posee una industria petrolera importante en el contexto de América Latina. (261) (262)

La producción de biodiesel a partir de microalgas está en franco proceso de investigación y desarrollo en distintas regiones del mundo. Es por eso que Argentina, que tiene los recursos naturales, tecnológicos y humanos está en una situación de pares

respecto a otros países, pudiendo convertirse en pionero en este tipo de energía renovable.



7.- ANEXOS

ANEXO I – LISTADO DE CENTRALES EN LA REPUBLICA ARGENTINA – Fuente: (157)

CENTRAL	JURISDICCION	Tipo de Propiedad	Company	SISTEMA/MERCADO	TIPO DE CENTRAL	Tipo de Fuente	Potencia Instalada (MW)
ARRECIFES (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	20,0
ATUCHA I	BUENOS AIRES	NAC	NUCLEOELCTRICA ARGENTINA SA	Central pertencier	NUCLEAR	NU	370,0
BAHIA BLANCA (PIEDRA BUENA)	BUENOS AIRES	PRIV	PAMPA ENERGIA	Central pertencier	TERMICA	TV	620,0
BLAGADO (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	40,8
CAPITAN SARMIENTO (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	5,0
COLON BUENOS AIRES (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,3
ECOENERGIA (PETROBRAS)	BUENOS AIRES	PRIV	PETROBRAS ARGENTINA S.A.	Central pertencier	TERMICA	TV	13,2
GENERAL VILLEGAS (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	23,5
JUNIN (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	22,4
LAS ARMAS (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	10,0
LAS ARMAS II (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	23,0
LINCOLN (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,0
LOBOS (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,7
MANUEL BELGRANO	BUENOS AIRES	PRIV	TERMOELCTRICA MANUEL BELGRANO SA	Central pertencier	TERMICA	CG	572,0
MANUEL BELGRANO	BUENOS AIRES	PRIV	TERMOELCTRICA MANUEL BELGRANO SA	Central pertencier	TERMICA	CG	278,0
MAR DE AJÓ	BUENOS AIRES	PRIV	CENTRALES DE LA COSTA ATLANTICA S.A.	Central pertencier	TERMICA	TG	34,0
MAR DEL PLATA (9 DE JULIO)	BUENOS AIRES	PRIV	CENTRALES DE LA COSTA ATLANTICA S.A.	Central pertencier	TERMICA	TG	124,3
MAR DEL PLATA (9 DE JULIO)	BUENOS AIRES	PRIV	CENTRALES DE LA COSTA ATLANTICA S.A.	Central pertencier	TERMICA	TV	60,0
MAYOR BURATOVICH	BUENOS AIRES	COOP	COOPERATIVA ELECTRICA Y DE SERVICIOS PUBLICOS LTDA	Central interconnect	EOLICA	EO	1,2
MIRAMAR I (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	20,0
NEOCOCHEA	BUENOS AIRES	PRIV	CENTRALES DE LA COSTA ATLANTICA S.A.	Central pertencier	TERMICA	TV	209,0
OLAVARRIA DELIVERY (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	36,8
ORENSE	BUENOS AIRES	COOP	COOPERATIVA ELECTRICA LTDA	Central interconnect	TERMICA	DI	1,2
PARANA	BUENOS AIRES	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central pertencier	TERMICA	CG	529,0
PARANA	BUENOS AIRES	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central pertencier	TERMICA	CG	319,3
PEHUAJÓ	BUENOS AIRES	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA NORTE SA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,0
PEHUAJÓ (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	22,4
PINAMAR (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	21,0
FUNTA ALTA - CENTENARIO	BUENOS AIRES	COOP	COOPERATIVA DE LUZ Y FUERZA ELECTRICA LTDA	Central interconnect	EOLICA	EO	1,8
SALTO (ENARSA)	BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	22,5
SAN CLEMENTE DEL TUYU	BUENOS AIRES	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ATLANTICA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	14,9
SAN NICOLAS	BUENOS AIRES	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central pertencier	TERMICA	CG	24,0
SAN NICOLAS	BUENOS AIRES	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central pertencier	TERMICA	TV	620,0
TENARIS SIDERCA CETE II	BUENOS AIRES	PRIV	SIDERCA SAIC	Central pertencier	TERMICA	TG	163,2
VILLA GESSELL	BUENOS AIRES	PRIV	CENTRALES DE LA COSTA ATLANTICA S.A.	Central pertencier	TERMICA	TG	130,0
COSTANERA	CAPITAL FEDERAL	PRIV	ENDESA COSTANERA SA	Central pertencier	TERMICA	CG	744,8
COSTANERA	CAPITAL FEDERAL	PRIV	ENDESA COSTANERA SA	Central pertencier	TERMICA	CG	427,4
COSTANERA	CAPITAL FEDERAL	PRIV	ENDESA COSTANERA SA	Central pertencier	TERMICA	TV	1.131,0
NUOVO PUERTO	CAPITAL FEDERAL	PRIV	CENTRAL PUERTO S.A.	Central pertencier	TERMICA	CG	515,0
NUOVO PUERTO	CAPITAL FEDERAL	PRIV	CENTRAL PUERTO S.A.	Central pertencier	TERMICA	CG	252,7
NUOVO PUERTO	CAPITAL FEDERAL	PRIV	CENTRAL PUERTO S.A.	Central pertencier	TERMICA	TV	420,0
PUERTO NUEVO	CAPITAL FEDERAL	PRIV	CENTRAL PUERTO S.A.	Central pertencier	TERMICA	TV	599,0
ACONQUILIA	CATAMARCA	PROV	ENERGIA DE CATAMARCA S.A.P.E.M.	Central aislada	TERMICA	DI	1,2
CATAMARCA (EDECAT)	CATAMARCA	PROV	ENERGIA DE CATAMARCA S.A.P.E.M.	Central pertencier	TERMICA	DI	16,2
CATAMARCA CAPITAL - PREDIO EX CARCEL	CATAMARCA	PROV	ENERGIA DE CATAMARCA S.A.P.E.M.	Central pertencier	TERMICA	DI	5,4
CATAMARCA CAPITAL - PREDIO CHOYA	CATAMARCA	PROV	ENERGIA DE CATAMARCA S.A.P.E.M.	Central pertencier	TERMICA	DI	7,4
CATAMARCA DELIVERY (ENARSA)	CATAMARCA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	19,2
HITA CATAMARCA (ENARSA)	CATAMARCA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	7,0
PARKUE INDUSTRIAL CATAMARCA (ENARSA)	CATAMARCA	PRIV	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,0
TREVINOS (ENARSA)	CATAMARCA	PRIV	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	9,0
TINGASTA (ENARSA)	CATAMARCA	PRIV	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,0
CHARATA (ENARSA)	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	16,0
JUAN JOSE CASTELLI (ENARSA)	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,0
LAS PALMAS (ENARSA)	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	6,0
NUEVA POMPEYA	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	3,2
SAENZ PEÑA I (ENARSA)	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	20,0
SAENZ PEÑA II (ENARSA)	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,0
VILLA ANGELA (ENARSA)	CHACO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,0
ALTO RIO SENGUERR	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	1,1
CAMARONES	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	1,2
COMODORO RIVADAVIA	CHUBUT	PRIV	CENTRALES TERMICAS PATAGONICAS SA	Central pertencier	TERMICA	CG	41,2
COMODORO RIVADAVIA	CHUBUT	PRIV	CENTRALES TERMICAS PATAGONICAS SA	Central pertencier	TERMICA	CG	21,8
COMODORO RIVADAVIA	CHUBUT	PRIV	CENTRALES TERMICAS PATAGONICAS SA	Central pertencier	TERMICA	TG	82,5
COMODORO RIVADAVIA - ANTONIO MORAN	CHUBUT	PRIV	CENTRALES TERMICAS PATAGONICAS SA	Central pertencier	TERMICA	CG	16,6
COMODORO RIVADAVIA (CERRO NEGRO)	CHUBUT	COOP	COOPERATIVA POPULAR LIMITADA DE COMODORO RIVADAVIA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,0
COMODORO RIVADAVIA (FLAYA SUD)	CHUBUT	COOP	COOPERATIVA POPULAR LIMITADA DE COMODORO RIVADAVIA	Central interconnect	TERMICA	DI	9,0
EL MAITEN	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	3,2
FLORENTINO AMEGHINO	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	60,0
FUTALEUFU	CHUBUT	PRIV	HIDROELCTRICA FUTALEUFU S.A.	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	472,0
GOBERNADOR COSTA	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	2,6
GUALIAINA	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	1,2
PARKUE EOLICO DIADEMATA	CHUBUT	PROV	HYDRO SA	Central pertencier	EOLICA	EO	6,0
PARKUE EOLICO RAWSON I	CHUBUT	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	EOLICA	EO	48,8
PARKUE EOLICO RAWSON II	CHUBUT	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	EOLICA	EO	28,8
PATAGONIA	CHUBUT	PRIV	ENERGIA DEL SUR SA	Central pertencier	TERMICA	CG	75,0
PATAGONIA	CHUBUT	PRIV	ENERGIA DEL SUR SA	Central pertencier	TERMICA	CG	45,7
PUERTO MADRYN	CHUBUT	PRIV	CENTRALES TERMICAS PATAGONICAS SA	Central pertencier	TERMICA	TG	40,0
RIO MAYO	CHUBUT	PROV	DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS PUBLICOS	Central aislada	TERMICA	DI	1,4
13 DE JULIO	CORDOBA	PRIV	GENERADORA CORDOBA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	26,0
BELL VALLS (ENARSA)	CORDOBA	PROV	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	15,5
BENJAMIN REOLIN	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	38,8
CASSAFFOUSTH	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	17,3
CRUZ DEL EJE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	1,7
CRUZ DEL EJE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	3,4
DEAN FUNES	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	DI	1,6
DEAN FUNES	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TG	34,0
DEAN FUNES	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TV	33,0
EMBALSE	CORDOBA	NAC	NUCLEOELCTRICA ARGENTINA SA	Central pertencier	NUCLEAR	NU	649,0
FITZ SIMON	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	10,8
GENERAL LEVALLE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TG	62,0
ISLA VERDE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	DI	3,1
ISLA VERDE (ENARSA)	CORDOBA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	25,0
LA CALERA	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	5,0
LA VIÑA	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	16,0
LOS MOLINOS I	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	59,0
LOS MOLINOS II	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	4,5
MODESTO MARANZANA	CORDOBA	PRIV	GENERACION MEDITERRANEA SA	Central pertencier	TERMICA	CG	60,0
MODESTO MARANZANA	CORDOBA	PRIV	GENERACION MEDITERRANEA SA	Central pertencier	TERMICA	CG	20,0
PIEDRAS MORAS	CORDOBA	PRIV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	5,3
FILAR BICENTENARIO	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	CG	312,0
FILAR BICENTENARIO	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	CG	156,0
FILAR ZANICHELLI	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TV	216,0
RIO CEBALLOS	CORDOBA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	5,0
RIO CUARTO	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	DI	1,6
RIO CUARTO	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TG	34,0
RIO GRANDE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA CON BOMBEO	HB	750,0
SAN FRANCISCO	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TG	40,0
SAN FRANCISCO 2	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	DI	11,7
SAN ROQUE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	HIDRÁULICA	HI	26,0
SUDOESTE	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TG	140,0
VILLA MARIA (LAS PLAYAS)	CORDOBA	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA	Central pertencier	TERMICA	TG	45,0
CORRIENTES	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central pertencier	TERMICA	DI	1,2
CAA CATI	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,4
CORRIENTES (ENARSA)	CORRIENTES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	20,0
ESQUINA	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	2,2
ESQUINA (ENARSA)	CORRIENTES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	16,5
GOYA	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,3
GOYA	CORRIENTES	PRIV	ELECTROPATAGONIA SA	Central pertencier	TERMICA	TG	17,3
GOYA (ENARSA)	CORRIENTES	PROV	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertencier	TERMICA	DI	13,0
ITA IBAE	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,1
ITUZAINGO	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,3
LA CRUZ	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,3

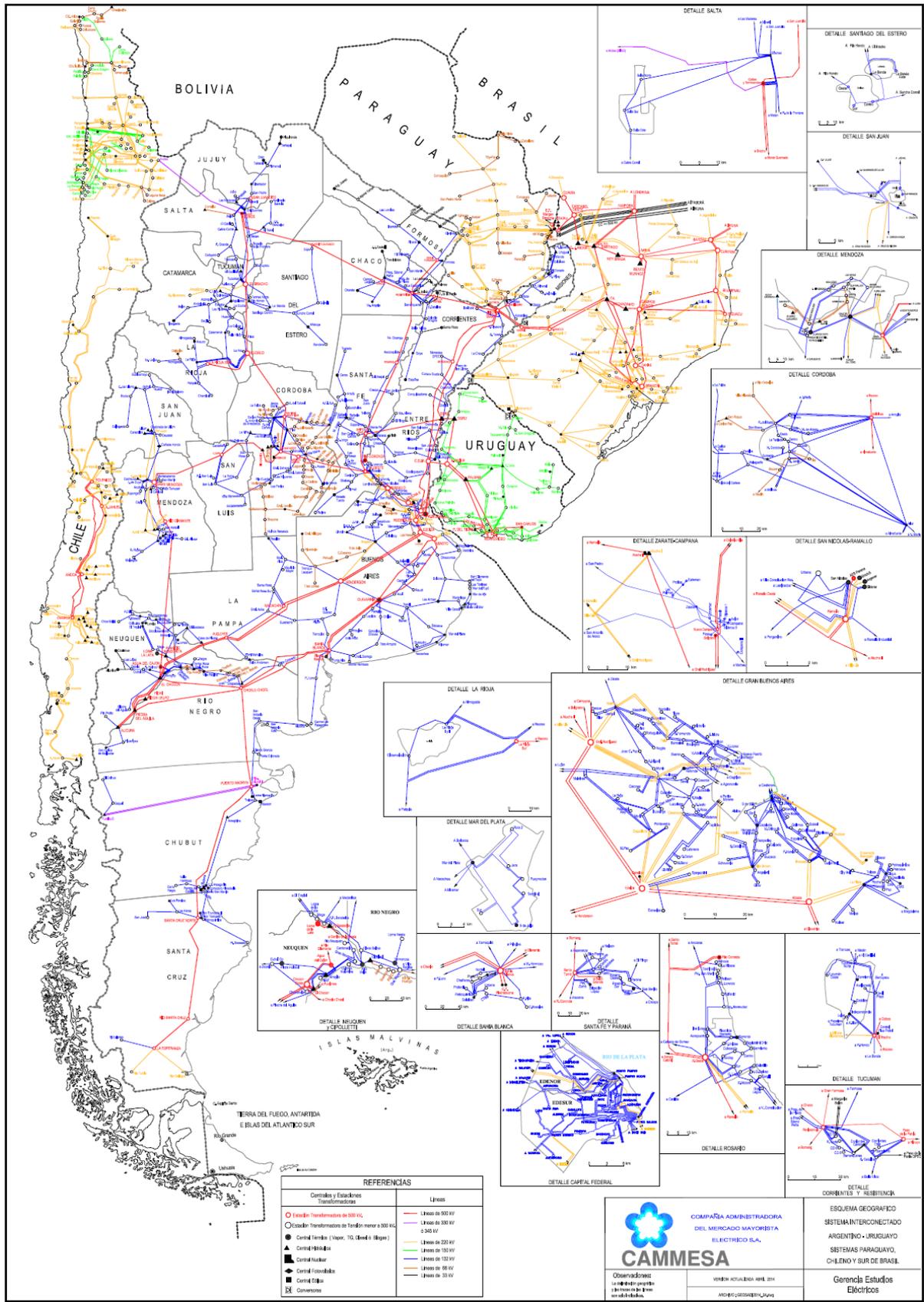
ANEXO I – LISTADO DE CENTRALES EN LA REPUBLICA ARGENTINA (Cont.)

CENTRAL	JURISDICCION	Tipo de Propiedad	Company	SISTEMA/MERCADO	TIPO DE CENTRAL	Tipo de Equipo	Potencia Instalada (MW)
MBURUCUYA	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,0
MERCEDES	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	2,3
MONTE CASEROS	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,5
PASO DE LA PATRIA (ENARSA)	CORRIENTES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,0
PASO DE LOS LIBRES	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	2,1
PERUGORRIA	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	1,1
SANTA ROSA (ENARSA)	CORRIENTES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	6,0
SANTO TOMÉ	CORRIENTES	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORRIENTES	Central interconnect	TERMICA	DI	2,7
YACURETA (MITAD ARGENTINA)	CORRIENTES	ENAC	ENTIDAD BINACIONAL YACURETA	Central interconnect	TERMICA	HI	1.650,0
CONCEPCION DEL URUGUAY (ENARSA)	ENTRE RIOS	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	TG	41,8
PARANA (ENARSA)	ENTRE RIOS	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	TG	40,0
SALTO GRANDE (MITAD ARGENTINA)	ENTRE RIOS	ENAC	EMPRESA TECNICA MIXTA SALTO GRANDE	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	945,0
VIALE (ENARSA)	ENTRE RIOS	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	10,0
FORMOSA	FORMOSA	PRIV	ELECTROPATAGONIA SA	Central interconnect	TERMICA	TG	17,3
FORMOSA II (ENARSA)	FORMOSA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	30,0
INGENIERO JUAREZ (ENARSA)	FORMOSA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	4,0
LAGUNA BLANCA (ENARSA)	FORMOSA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	7,0
LAS LOMITAS (ENARSA)	FORMOSA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	8,0
PALMAR LARGO	FORMOSA	PROV	REFSA (RECURSOS Y ENERGIA FORMOSA SA)	Central aislada	TERMICA	DI	1,7
PIRANE (ENARSA)	FORMOSA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	15,0
DIQUE	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	CENTRAL DIQUE S.A	Central interconnect	TERMICA	TG	67,6
DOCK SUD	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	CENTRAL DOCK SUD S.A	Central interconnect	TERMICA	CG	512,9
DOCK SUD	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	CENTRAL DOCK SUD S.A	Central interconnect	TERMICA	CV	284,6
DOCK SUD	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	CENTRAL DOCK SUD S.A	Central interconnect	TERMICA	TG	74,8
ENSENADA DE BARRAGAN (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	TG	667,0
GENELBA	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	PETROBRAS ARGENTINA S.A.	Central interconnect	TERMICA	HI	437,4
GENELBA	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	PETROBRAS ARGENTINA S.A.	Central interconnect	TERMICA	CV	236,2
GENELBA	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	PETROBRAS ARGENTINA S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	164,6
LA PLATA (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	40,4
LA PLATA COGENERACION	GRAN BUENOS AIRES	PRIV	LA PLATA COGENERACION SA	Central interconnect	TERMICA	TG	128,0
MAGDALENA (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	25,0
MATHEU (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	TG	41,0
BENEDICOS DE ESCALADA (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	28,0
SAN MARTIN NORTE IIA (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	11,5
SAN MIGUEL NORTE III (ENARSA)	GRAN BUENOS AIRES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,1
LA GUACA	JUJUY	PRIV	EMPRESA JUJENA DE ENERGIA SA	Central aislada	TERMICA	HI	5,1
LAS MADERAS	JUJUY	PRIV	HIDROCUYO SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	30,0
LIBERTADOR GENERAL SAN MARTIN (ENARSA)	JUJUY	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	15,0
MIRAFLORES	JUJUY	PRIV	EMPRESA JUJENA DE ENERGIA SA	Central aislada	TERMICA	DI	4,9
PALPAL	JUJUY	PRIV	CENTRALES TERMICAS DEL NOA SA	Central interconnect	TERMICA	CG	33,6
PIEDRA NEGRA	JUJUY	PRIV	EMPRESA JUJENA DE ENERGIA SA	Central aislada	TERMICA	DI	12,2
RIO REYES	JUJUY	PRIV	EMPRESA JUJENA DE ENERGIA SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	7,0
SAN PEDRO	JUJUY	PRIV	CENTRALES TERMICAS DEL NOA SA	Central interconnect	TERMICA	CG	6,5
CASA DE PIEDRA	LA PAMPA	PROV	ENTE EJECUTIVO PRESA EMBALSE "CASA DE PIEDRA"	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	60,0
GENERAL ACHA	LA PAMPA	COOP	COOPERATIVA DE SERVICIOS PUBLICOS DE GENERAL ACHA LTDA	Central interconnect	EOLICA	EO	1,8
LOS DIVISADEROS	LA PAMPA	PROV	ADMINISTRACION PROVINCIAL DE ENERGIA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	10,0
RESALCO (ENARSA)	LA PAMPA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	24,0
SANTA ISABEL	LA PAMPA	PROV	ADMINISTRACION PROVINCIAL DE ENERGIA	Central interconnect	TERMICA	DI	1,3
CHILECITO	LA RIOJA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE LA RIOJA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	10,4
CHILECITO (ENARSA)	LA RIOJA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	10,0
LA RIOJA	LA RIOJA	PRIV	GENERACION RIOJANA S.A.	Central interconnect	TERMICA	DI	8,8
LA RIOJA	LA RIOJA	PRIV	GENERACION RIOJANA S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	46,8
LA RIOJA DELIVERY (ENARSA)	LA RIOJA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	18,0
LA RIOJA SUR (ENARSA)	LA RIOJA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	10,0
PARQUE EOLICO ARAUCO SAPEM I	LA RIOJA	PROV	PARQUE EOLICO ARAUCO SAPEM	Central interconnect	EOLICA	EO	25,2
AGUA DEL TORDO	MENDOZA	PRIV	HIDROELECTRICA RIO DIAMANTE SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	130,0
ALVAREZ CONDARCO	MENDOZA	PRIV	CEMPESA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	59,0
CACHEUTA	MENDOZA	PRIV	CEMPESA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	120,0
CRUZ DE PIEDRA	MENDOZA	PRIV	CENTRALES TERMICAS MENDOZA S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	17,9
EL CARRIZAL	MENDOZA	PRIV	CEMPESA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	17,0
EL TISRE	MENDOZA	PRIV	HIDROELECTRICA RIO DIAMANTE SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	14,4
GENERAL SAN MARTIN	MENDOZA	PRIV	GENERADORA ELECTRICA MENDOZA S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	6,0
LOS ODRONELES	MENDOZA	PRIV	GENERADORA ELECTRICA MENDOZA S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	6,6
LOS REYUNOS	MENDOZA	PRIV	CENTRALES TERMICAS MENDOZA S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA CON BOMBEO	HI	224,0
LUJAN DE CUYO	MENDOZA	PRIV	CENTRALES TERMICAS MENDOZA S.A.	Central interconnect	TERMICA	CG	257,6
LUJAN DE CUYO	MENDOZA	PRIV	CENTRALES TERMICAS MENDOZA S.A.	Central interconnect	TERMICA	CV	121,7
LUJAN DE CUYO	MENDOZA	PRIV	CENTRALES TERMICAS MENDOZA S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	50,5
LUJAN DE CUYO	MENDOZA	PRIV	CENTRALES TERMICAS MENDOZA S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	120,0
NIHUIL I	MENDOZA	PRIV	HIDROELECTRICA LOS NIHULES SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	74,2
NIHUIL II	MENDOZA	PRIV	HIDROELECTRICA LOS NIHULES SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	133,1
NIHUIL III	MENDOZA	PRIV	HIDROELECTRICA LOS NIHULES SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	53,0
NIHUIL IV	MENDOZA	PRIV	HIDROELECTRICA LOS NIHULES SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	22,4
FUENTE DEL INCA	MENDOZA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA MENDOZA SA	Central aislada	TERMICA	DI	15,0
USPALLATA	MENDOZA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA MENDOZA SA	Central aislada	TERMICA	DI	1,2
ALEM (ENARSA)	MISIONES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	ENERGIA	DI	1,4
ARISTOBULO DEL VALLE (ENARSA)	MISIONES	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	15,0
COMANDANTE ANDRESITO	MISIONES	PROV	ELECTRICIDAD DE MISIONES S.A.	Central interconnect	TERMICA	DI	3,0
LA TABLADA	MISIONES	PROV	ELECTRICIDAD DE MISIONES S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	22,2
OBERA	MISIONES	PROV	ELECTRICIDAD DE MISIONES S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	17,6
POSADAS	MISIONES	PROV	ELECTRICIDAD DE MISIONES S.A.	Central interconnect	TERMICA	DI	11,2
SAN PEDRO	MISIONES	PROV	ELECTRICIDAD DE MISIONES S.A.	Central interconnect	TERMICA	DI	2,2
IRIGUIYU	MISIONES	PROV	ELECTRICIDAD DE MISIONES S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	120,0
AGUA DEL CAJON	NEUQUEN	PRIV	CAPEX SA	Central interconnect	TERMICA	CG	370,0
AGUA DEL CAJON	NEUQUEN	PRIV	CAPEX SA	Central interconnect	TERMICA	CV	301,2
ALCURA	NEUQUEN	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	1.950,0
ALTO VALLE	NEUQUEN	PRIV	DUKE ENERGY ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	CG	50,0
ALTO VALLE	NEUQUEN	PRIV	DUKE ENERGY CERROS COLORADOS SA	Central interconnect	TERMICA	CG	30,0
ALTO VALLE	NEUQUEN	PRIV	DUKE ENERGY CERROS COLORADOS SA	Central interconnect	TERMICA	TG	17,5
ALUMINE	NEUQUEN	PROV	ENTE PROVINCIAL DE ENERGIA DEL NEUQUEN	Central interconnect	TERMICA	DI	1,6
ALUMINE (ENARSA)	NEUQUEN	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	6,3
ARROYITO	NEUQUEN	NAC	HIDROELECTRICA EL CHOCON S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	120,0
CAVAHUE (ENARSA)	NEUQUEN	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,0
EL CHOCON	NEUQUEN	PRIV	HIDROELECTRICA EL CHOCON S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	1.200,0
FILO MORADO	NEUQUEN	PRIV	YPF S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	67,5
LAS COLORADAS	NEUQUEN	PROV	ENTE PROVINCIAL DE ENERGIA DEL NEUQUEN	Central aislada	TERMICA	DI	1,0
LOMA DE LA LATA	NEUQUEN	PRIV	PAMPA ENERGIA	Central interconnect	TERMICA	CG	375,0
LOMA DE LA LATA	NEUQUEN	PRIV	PAMPA ENERGIA	Central interconnect	TERMICA	CV	165,0
MEDANTO (RINCON DE LOS SAUCES)	NEUQUEN	PRIV	MEDANTO SA	Central interconnect	TERMICA	DI	32,0
PIEDRA DEL AGUILA	NEUQUEN	PRIV	HIDROELECTRICA PIEDRA DEL AGUILA SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	1.400,0
FLANICIE BANDERITA	NEUQUEN	PRIV	DUKE ENERGY ARGENTINA SA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	472,0
SAN MARTIN DE LOS ANDES	NEUQUEN	PROV	ENTE PROVINCIAL DE ENERGIA DEL NEUQUEN	Central interconnect	TERMICA	DI	4,2
VILLA LA ANOSTURA	NEUQUEN	PROV	ENTE PROVINCIAL DE ENERGIA DEL NEUQUEN	Central aislada	TERMICA	DI	11,3
VILLA TRAFUL	NEUQUEN	PROV	ENTE PROVINCIAL DE ENERGIA DEL NEUQUEN	Central aislada	TERMICA	DI	1,1
BARILOCHE (EMILIO FREY)	RIO NEGRO	COOP	COOPERATIVA DE ELECTRICIDAD BARILOCHE LTDA	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	1,6
BARILOCHE (ENARSA)	RIO NEGRO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	20,0
BARILOCHE (ING° PECHON)	RIO NEGRO	COOP	COOPERATIVA DE ELECTRICIDAD BARILOCHE LTDA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,1
BARILOCHE (ING° PECHON)	RIO NEGRO	COOP	COOPERATIVA DE ELECTRICIDAD BARILOCHE LTDA	Central interconnect	TERMICA	TG	8,9
BARILOCHE (PUERTO MORENO)	RIO NEGRO	COOP	COOPERATIVA DE ELECTRICIDAD BARILOCHE LTDA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,4
CIPOLLETTI (ENARSA)	RIO NEGRO	PROV	DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	5,8
EL BOLSON	RIO NEGRO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,0
GENERAL ROCA	RIO NEGRO	PRIV	EMPRESA DE ENERGIA RIO NEGRO S.A.	Central aislada	TERMICA	DI	11,7
GUILLELMO CESPEDES	RIO NEGRO	PROV	DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	1,3
JULIAN ROMERO	RIO NEGRO	PROV	DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	6,2
LOMA ATRAVESADA	RIO NEGRO	PRIV	EMPRESA DE ENERGIA RIO NEGRO S.A.	Central aislada	HIDRAULICA	HI	2,3
PICHI PICUN LEUFU	RIO NEGRO	PRIV	PETROBRAS ARGENTINA S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	265,0
ROCA	RIO NEGRO	PRIV	CENTRAL TERMICA ROCA S.A.	Central interconnect	TERMICA	TG	130,0
SALTO ANDERSEN	RIO NEGRO	PROV	DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	7,9
VILLA REGINA (ENARSA)	RIO NEGRO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	5,0
CARRA CORRAL	SALTA	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	102,0
CACHI	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	1,4
CAFAYATE	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	4,2
CICLO COMBINADO SALTA	SALTA	PRIV	AES - TERMOANDES S.A.	Central interconnect	TERMICA	CG	414,0
CICLO COMBINADO SALTA	SALTA	PRIV	AES - TERMOANDES S.A.	Central interconnect	TERMICA	CG	229,0
EL TUNAL	SALTA	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A.	Central interconnect	HIDRAULICA	HI	11,0
GENERAL GOEMES	SALTA	PRIV	PAMPA ENERGIA	Central interconnect	TERMICA	TG	100,0
GENERAL GOEMES	SALTA	PRIV	PAMPA ENERGIA	Central interconnect	TERMICA	CG	261,0
ORAN (ENARSA)	SALTA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	15,0
ORAN (MITRE)	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central interconnect	TERMICA	DI	10,1

ANEXO I – LISTADO DE CENTRALES EN LA REPUBLICA ARGENTINA (Cont.)

CENTRAL	JURISDICCION	Tipo de Propiedad	Company	SISTEMAMERCADO	TIPO DE CENTRAL	Tipo de Equipo	Potencia Instalada (M
PIQUERENDA	SALTA	PRIV	EMDISER SA GENERACION SALTA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	30,4
RIO CORRALITO	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central interconect	HIDRÁULICA	HI	13,2
SALTA (ENARSA)	SALTA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	18,0
SAN ANTONIO DE LOS COBRES	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central aislada	TÉRMIICA	DI	1,8
TARTAGAL	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	4,6
TARTAGAL	SALTA	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA DE SALTA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	28,1
TARTAGAL (ENARSA)	SALTA	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	10,0
CUESTA DEL VIENTO	SAN JUAN	PROV	ENERGIA PROVINCIAL SOCIEDAD DEL ESTADO	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	10,6
FOTVOLTAICA CAÑADA HONDA (ENARSA)	SAN JUAN	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	SOLAR	SO	5,0
LOS CARACOLES	SAN JUAN	PROV	ENERGIA PROVINCIAL SOCIEDAD DEL ESTADO	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	121,4
PLANTA PILOTO FOTVOLTAICA SAN JUAN 1	SAN JUAN	PROV	ENERGIA PROVINCIAL SOCIEDAD DEL ESTADO	Central pertenecier	SOLAR	SO	1,2
PRESIDENTE SARMIENTO	SAN JUAN	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	31,5
QUEBRADA DE ULLUM	SAN JUAN	PROV	ENERGIA PROVINCIAL SOCIEDAD DEL ESTADO	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	45,0
SALTO DE LA LOMA	SAN JUAN	PRIV	SERVICIOS DE INGENIERIA Y ELECTROMECHANICA SRL	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	1,2
SALTO DE LA LOMA	SAN JUAN	PRIV	SERVICIOS DE INGENIERIA Y ELECTROMECHANICA SRL	Central interconect	TÉRMIICA	DI	1,4
SAN AGUSTIN DEL VALLE FERTIL	SAN JUAN	PRIV	ENERGIA SAN JUAN SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	3,6
TAMBERIAS	SAN JUAN	PRIV	ENERGIA SAN JUAN SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	4,4
ULLUM	SAN JUAN	PRIV	AES ARGENTINA GENERACION S.A	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	45,0
28 DE NOVIEMBRE	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	5,4
EL CALAFATE	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	12,9
EL CHALTEN	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	2,1
GOBERNADOR GREGORES	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	4,3
JARAMILLO	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	1,0
LOS ANTIQUOS	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	6,6
PERITO MORENO	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	3,7
PICO TRUNCADO - JORGE ROMANUTTI	SANTA CRUZ	MUN	MUNICIPALIDAD DE PICO TRUNCADO	Central interconect	EÓLICA	EO	2,4
PICO TRUNCADO I	SANTA CRUZ	PRIV	CENTRALES TÉRMICAS PATAGONICAS SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	45,8
PUERTO SAN JULIAN	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	5,8
PUERTO SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	6,4
RIO GALLEGOS I (RIO CHICO)	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	TG	116,3
RIO GALLEGOS II	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	12,9
RIO TURBIO	SANTA CRUZ	PROV	SERVICIOS PUBLICOS SOCIEDAD DEL ESTADO	Central aislada	TÉRMIICA	DI	13,3
BRIGADIER LOPEZ (ENARSA)	SANTA FE	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	280,0
CERES (ENARSA)	SANTA FE	PRIV	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	18,0
RAFAELA (ENARSA)	SANTA FE	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	19,2
SORRENTO	SANTA FE	PRIV	GENERACION ROSARIO SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TV	228,0
TIMBUES	SANTA FE	PRIV	TERMIOLECTRICA JOSE DE SAN MARTIN SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	CG	572,0
TIMBUES	SANTA FE	PRIV	TERMIOLECTRICA JOSE DE SAN MARTIN SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	CV	277,0
TOSTADO	SANTA FE	PROV	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE SANTA FE SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	3,2
VENADO TUERTO	SANTA FE	COOP	COOPERATIVA LTDA. DE CONSUMO POPULAR Y SERVICIOS ANEXOS	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	19,3
VENADO TUERTO	SANTA FE	COOP	COOPERATIVA LTDA. DE CONSUMO POPULAR Y SERVICIOS ANEXOS	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	7,5
VENADO TUERTO (ENARSA)	SANTA FE	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	19,2
ANATUYA (ENARSA)	SANTIAGO DEL ESTERO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	19,2
ANATUYA II (ENARSA)	SANTIAGO DEL ESTERO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	DI	11,5
LA BANDA	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	GRUPO ALBANESE SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	32,0
LOS JURIES	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	1,1
LOS QUIROGA	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	HIDROELECTRICA RIO HONDO SA	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	2,5
MONTE QUEMADO	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	2,1
PAMPA DE LOS GUANACOS	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	2,6
QUIMIL	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	3,0
RIO HONDO	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	HIDROELECTRICA RIO HONDO SA	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	19,0
TINTINA	SANTIAGO DEL ESTERO	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO SA	Central interconect	TÉRMIICA	DI	2,4
G.D.II (ENARSA)	TIERRA DEL FUEGO	NAC	ENERGIA ARGENTINA SA	Central aislada	TÉRMIICA	DI	15,0
RIO GRANDE	TIERRA DEL FUEGO	COOP	COOPERATIVA ELECTRICA DE RIO GRANDE	Central aislada	TÉRMIICA	DI	2,2
RIO GRANDE	TIERRA DEL FUEGO	COOP	COOPERATIVA ELECTRICA DE RIO GRANDE	Central aislada	TÉRMIICA	TG	79,1
TERMIOLECTRICA	TIERRA DEL FUEGO	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA	Central aislada	TÉRMIICA	TG	51,9
TOLHUIN	TIERRA DEL FUEGO	PROV	DIRECCION PROVINCIAL DE ENERGIA	Central aislada	TÉRMIICA	DI	4,4
AMAICHA DEL VALLE	TUCUMAN	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA TUCUMAN SA	Central aislada	TÉRMIICA	DI	1,6
EL CADILLAL	TUCUMAN	PRIV	HIDROELECTRICA TUCUMAN SA	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	14,0
ESCABA	TUCUMAN	PRIV	HIDROELECTRICA TUCUMAN SA	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	24,0
INDEPENDENCIA	TUCUMAN	PRIV	GENERACION INDEPENDENCIA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	110,5
PLUSPETROL NORTE	TUCUMAN	PRIV	PLUSPETROL ENERGY SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	246,0
PUEBLO VIEJO	TUCUMAN	PRIV	HIDROELECTRICA TUCUMAN SA	Central pertenecier	HIDRÁULICA	HI	19,2
SAN MIGUEL DE TUCUMAN	TUCUMAN	PRIV	PLUSPETROL ENERGY SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	CG	246,0
SAN MIGUEL DE TUCUMAN	TUCUMAN	PRIV	PLUSPETROL ENERGY SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	CV	150,0
SARMIENTO	TUCUMAN	PRIV	CENTRALES TÉRMICAS DEL NOA SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	TG	10,5
TAFI DEL VALLE	TUCUMAN	PRIV	EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA TUCUMAN SA	Central aislada	TÉRMIICA	DI	8,8
TUCUMAN	TUCUMAN	PRIV	PLUSPETROL ENERGY SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	CG	288,0
TUCUMAN	TUCUMAN	PRIV	PLUSPETROL ENERGY SA	Central pertenecier	TÉRMIICA	CV	150,0

ANEXO II – MAPA GEOSADI: Fuente: (158)



ANEXO III: Inventario Plantas de Tratamiento de Agua y Efluentes (Listado sin depurar) Fuente: (159)

Código	Provincia
0.1	<u>Capital Federal</u>
0.2	<u>Buenos Aires</u>
0.3	<u>Catamarca</u>
0.4	<u>Chaco</u>
0.5	<u>Chubut</u>
0.6	<u>Córdoba</u>
0.7	<u>Corrientes</u>
0.8	<u>Entre Ríos</u>
0.9	<u>Formosa</u>
0.10	<u>Jujuy</u>
0.11	<u>La Pampa</u>
0.12	<u>La Rioja</u>
0.13	<u>Mendoza</u>
0.14	<u>Misiones</u>
0.15	<u>Neuquén</u>
0.16	<u>Río Negro</u>
0.17	<u>Salta</u>
0.18	<u>San Juan</u>
0.19	<u>San Luis</u>
0.20	<u>Santa Cruz</u>
0.21	<u>Santa Fe</u>
0.22	<u>Santiago del Estero</u>
0.23	<u>Tierra del Fuego</u>
0.24	<u>Tucumán</u>

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

LOCALIDAD	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento líquidos Cloacales
CAPITAL FEDERAL	1	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

PRESTADOR	PROVINCIA	LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
Aguas Bonaerenses SA	BUENOS AIRES	9 DE JULIO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	ADOLFO GONZALES CHAVES (Est. G. Chaves)	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	ALEJANDRO KORN	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	AYACUCHO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	BAHIA BLANCA	2	1
ABSA	BUENOS AIRES	BRAGADO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	CABILDO	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	CARLOS CASARES	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	CARLOS TEJEDOR	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	CARMEN DE PATAGONES	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	CHIVILCOY	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	CITY BELL	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	COPETONAS	1	0
ABSA	BUENOS AIRES	CORONEL VIDAL	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	DOLORES	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	FRENCH	1	0
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL ALVEAR	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL ARENALES	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL BELGRANO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL DANIEL CERRI (Est. Grif. Cerrí)	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL GUIDO	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL JUAN MADARIAGA	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL LAMADRID	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL LAVALLE	1	0
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL PIRAN	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GENERAL VILLEGAS (Est. Villegas)	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - FLORENCIO VARELA	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - LA PLATA	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - SAN VICENTE	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	GUAMINI	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	GUERNICA	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	HILARIO ASCASUBI	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	INGENIERO WHITE	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	JUAN A. PRADERE	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	LA PLATA - BERISSO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	LA PLATA - ENSENADA	1	0
ABSA	BUENOS AIRES	LABARDEN	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	LAS FLORES	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	LINCOLN	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	LOS TOLDOS	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	MAGDALENA	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	MAIPU	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	MANUEL B. GONNET (Est. French)	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	MAYOR BURATOVICH	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	MEDANOS	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	NAVARRO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	PASTEUR	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	PEDRO LURO	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	PEHUAJO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	PILA	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	PUNTA ALTA (Est. Almirante Solier)	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	RAMALLO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	RANCHOS	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	ROQUE PEREZ	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	SALLIQUELO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	SAN CAYETANO	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	SAN MIGUEL DEL MONTE	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	STROEDER	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	SUIPACHA	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	TAPALQUE	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	TIMOTE	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	TORNQUIST	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	VEDIA	1	1
ABSA	BUENOS AIRES	VERONICA	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	VILLA ELISA	0	0
ABSA	BUENOS AIRES	VILLA GESELL	0	1
ABSA	BUENOS AIRES	VILLALONGA	1	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	EZEIZA	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - ALMIRANTE BROWN	0	0

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

PRESTADOR	PROVINCIA	LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - AVELLANEDA	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - ESTEBAN ECHEVERRIA	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - GENERAL SAN MARTIN	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - LA MATANZA	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - LANUS	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - LOMAS DE ZAMORA	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - MORON	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - QUILMES	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - SAN FERNANDO	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - SAN ISIDRO	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - TIGRE	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - TRES DE FEBRERO	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - VICENTE LOPEZ	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	HURLINGHAN	0	0
AGUAS ARGENTINAS S.A.	BUENOS AIRES	ITUZAINGO	0	0
AGUAS DE BALCARCE S.A.	BUENOS AIRES	BALCARCE	0	0
AGUAS DE CAMPANA S.A.	BUENOS AIRES	CAMPANA	2	0
AGUAS DE LA COSTA S.A.	BUENOS AIRES	MAR DE AJO	1	0
AGUAS DE LA COSTA S.A.	BUENOS AIRES	SAN BERNARDO	0	0
AGUAS DE LAPRIDA S.A.	BUENOS AIRES	LAPRIDA	0	0
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - BELEN DE ESCOBAR	0	1
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - GENERAL RODRIGUEZ	0	1
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - MERLO	0	1
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - MORENO	0	1
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	JOSE C. PAZ	0	0
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	MALVINAS ARGENTINAS	0	0
AGUAS DEL GRAN BUENOS AIRES S.A.	BUENOS AIRES	SAN MIGUEL	0	1
COOP DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS DE SANTA TERESITA	BUENOS AIRES	SANTA TERESITA-MAR DEL TUYU	0	1
COOP. DE AGUA POTABLE Y OTROS SERV. PCOS. DE CORONEL BRANDSEN	BUENOS AIRES	CORONEL BRANDSEN	0	0
COOP. DE AGUA POTABLE Y OTROS SERV. PCOS. DE GENERAL LAS HERAS	BUENOS AIRES	GENERAL LAS HERAS (Est. Las Heras)	0	0
COOP. DE AGUA POTABLE Y OTROS SERV. PCOS. DE GENERAL PINTO	BUENOS AIRES	GENERAL PINTO	0	0
COOP. DE AGUA POTABLE Y OTROS SERV. PCOS. DE HENDERSON	BUENOS AIRES	HENDERSON	0	1
COOP. DE AGUA Y LUZ DE PINAMAR LTDA. (C.A.L.P. LTDA.)	BUENOS AIRES	PINAMAR	0	1
COOP. DE ELECTRICIDAD RURAL Y SERV. ANEXOS DE ADOLF CARHUE	BUENOS AIRES	CARHUE	0	0
COOP. DE PROV. DE OBRAS Y SERV. PCOS. DE SAN CLEMENTE DEL TUYU	BUENOS AIRES	SAN CLEMENTE DEL TUYU	1	1
COOP. DE PROVISION DE AGUA POTABLE Y OTROS SERV. PCOS. DE LOS CARDALES-LOS CEDROS-EXALTACION DE LA PATAGONIA	BUENOS AIRES	LOS CARDALES-LOS CEDROS-EXALTACION DE LA PATAGONIA	0	0
COOP. DE USUARIOS DE ELECTRICIDAD Y DE CONSUMO DE GAS	BUENOS AIRES	CASTELLI	0	0
COOP. ELECTRICA DE AMEGHINO LTDA.	BUENOS AIRES	FLORENTINO AMEGHINO	0	0
COOP. ELECTRICA DE AZUL LTDA.	BUENOS AIRES	AZUL	0	0
COOP. ELECTRICA DE CORONEL PRINGLES LTDA.	BUENOS AIRES	CORONEL PRINGLES (Est. Pringles)	0	0
COOP. ELECTRICA DE DARREGUEIRA LTDA.	BUENOS AIRES	DARREGUEIRA	0	0
COOP. ELECTRICA Y DE SERVICIOS ANEXOS DE DIONISIA LTDA.	BUENOS AIRES	COMANDANTE NICANOR OTAMENDI	0	0
COOP. ELECTRICIDAD Y SERV. PCOS. DE TRES LOMAS LTDA.	BUENOS AIRES	TRES LOMAS	0	0
COOPERATIVA DE ELECTRICIDAD SERVICIOS Y OBRAS PUBLICAS	BUENOS AIRES	SAN BERNARDO	0	1
COOPERATIVA DE PROVISION DE OBRAS SERVICIOS PUBLICOS	BUENOS AIRES	LAS TONINAS	0	1
COOPERATIVA ELECTRICA Y SERVICIOS LTDA. ZARATE	BUENOS AIRES	LIMA	0	0
COOPERATIVA ELECTRICA Y SERVICIOS LTDA. ZARATE	BUENOS AIRES	ZARATE	0	0
COOPERATIVA LIMITADA DE COMSUMO DE ELECTRICIDAD Y SERVICIOS	BUENOS AIRES	OLAVARRIA	0	0
COOPERATIVA SANTA CLARA DEL MAR Y LA COSTA LTDA.	BUENOS AIRES	SANTA CLARA DEL MAR	0	0
DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS DE LA MUNICIPALIDAD DE MIRAMAR	BUENOS AIRES	MIRAMAR	0	0
MUNICIPALIDAD DE 25 DE MAYO	BUENOS AIRES	25 DE MAYO		
MUNICIPALIDAD DE ALBERTI	BUENOS AIRES	ALBERTI (Est. Andrés Vaccarezza)	0	0
MUNICIPALIDAD DE BARADERO	BUENOS AIRES	BARADERO	0	0
MUNICIPALIDAD DE BARTOLOME MITRE (ARRECIFES)	BUENOS AIRES	ARRECIFES	0	0
MUNICIPALIDAD DE BENITO JUAREZ	BUENOS AIRES	BENITO JUAREZ (Est. Juárez)	0	0
MUNICIPALIDAD DE CARMEN DE ARECO	BUENOS AIRES	CARMEN DE ARECO	0	0
MUNICIPALIDAD DE CHACABUCO	BUENOS AIRES	CHACABUCO	0	2
MUNICIPALIDAD DE CHASCOMUS	BUENOS AIRES	CHASCOMUS	0	0
MUNICIPALIDAD DE COLON	BUENOS AIRES	COLON	0	0
MUNICIPALIDAD DE CORONEL BRANDSEN	BUENOS AIRES	CORONEL BRANDSEN	0	0
MUNICIPALIDAD DE CORONEL PRINGLES	BUENOS AIRES	CORONEL PRINGLES (Est. Pringles)	0	0
MUNICIPALIDAD DE CORONEL SUAREZ	BUENOS AIRES	CORONEL SUAREZ	0	0
MUNICIPALIDAD DE EXALTACION DE LA CRUZ (CAPILLA DEL SEÑOR)	BUENOS AIRES	CAPILLA DEL SEÑOR (Est. Capilla)	0	0
MUNICIPALIDAD DE GENERAL PINTO	BUENOS AIRES	GENERAL PINTO	0	0
MUNICIPALIDAD DE JUNIN	BUENOS AIRES	JUNIN	0	1
MUNICIPALIDAD DE LOBERIA	BUENOS AIRES	LOBERIA	0	1
MUNICIPALIDAD DE LOBOS	BUENOS AIRES	LOBOS	0	0
MUNICIPALIDAD DE LUJAN	BUENOS AIRES	LUJAN	0	0
MUNICIPALIDAD DE MARCOS PAZ	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - MARCOS PAZ	0	0
MUNICIPALIDAD DE MERCEDES	BUENOS AIRES	MERCEDES	1	0
MUNICIPALIDAD DE MONTE HERMOSO	BUENOS AIRES	MONTE HERMOSO	0	0
MUNICIPALIDAD DE NECOCHEA	BUENOS AIRES	NECOCHEA-QUEQUEN	0	0
MUNICIPALIDAD DE PERGAMINO	BUENOS AIRES	PERGAMINO	0	0
MUNICIPALIDAD DE PIGÜE	BUENOS AIRES	PIGÜE	0	0
MUNICIPALIDAD DE RAUCH	BUENOS AIRES	RAUCH	0	0
MUNICIPALIDAD DE RIVADAVIA	BUENOS AIRES	AMERICA	0	0
MUNICIPALIDAD DE ROJAS	BUENOS AIRES	ROJAS	0	0
MUNICIPALIDAD DE SALADILLO	BUENOS AIRES	SALADILLO	0	0
MUNICIPALIDAD DE SALTO	BUENOS AIRES	SALTO	0	0
MUNICIPALIDAD DE SAN ANDRES DE GILES	BUENOS AIRES	SAN ANDRES DE GILES	0	1
MUNICIPALIDAD DE SAN ANTONIO DE ARECO	BUENOS AIRES	SAN ANTONIO DE ARECO	0	0
MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS DE BOLIVAR	BUENOS AIRES	SAN CARLOS DE BOLIVAR (Est. Bolivar)	0	1
MUNICIPALIDAD DE SAN NICOLAS DE LOS ARROYOS	BUENOS AIRES	SAN NICOLAS DE LOS ARROYOS	1	0
MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO	BUENOS AIRES	SAN PEDRO	0	0
MUNICIPALIDAD DE TANDIL	BUENOS AIRES	TANDIL	0	0
MUNICIPALIDAD DE TRENQUE LAUQUEN	BUENOS AIRES	TRENQUE LAUQUEN	0	0
MUNICIPALIDAD DE TRES ARROYOS	BUENOS AIRES	TRES ARROYOS	0	0
OBRAS SANITARIAS MAR DEL PLATA S.E.	BUENOS AIRES	BATÁN	0	1
OBRAS SANITARIAS MAR DEL PLATA S.E.	BUENOS AIRES	MAR DEL PLATA	0	1
SUDAMERICANA DE AGUAS S.A.	BUENOS AIRES	GRAN BUENOS AIRES - PILAR	0	7

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Catamarca	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
GRAN SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA-CAPITAL	7	0
BAÑADO DE OVANTA	0	0
RECREO	1	1
BELEN	1	1
TINOGASTA	3	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

Chaco	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
MACHAGAI	1	1
PUERTO TIROL	0	1
CORZUELA	0	0
FONTANA	0	0
JUAN JOSE CASTELLI	0	0
LAS BREÑAS	0	0
PRESIDENCIA DE LA PLAZA	0	1
AVIA TERAÍ	0	0
BARRANQUERA	2	0
CAMPO LARGO	0	0
CORONEL DU GRATY	0	0
GENERAL JOSE DE SAN MARTIN	1	1
GENERAL PINEDO	0	0
GRAN RESISTENCIA	0	10
LA LEONESA	0	2
LAS PALMAS	1	0
PAMPA DEL INDIÓ	1	0
PAMPA DEL INFIERNO	0	0
PRESIDENCIA ROQUE SAENZ PEÑA	1	4
PUERTO VILELA	0	0
QUITILIPÍ	0	3
SAN BERNARDO	0	0
SANTA SYLVINA	0	0
TACO POZO	0	0
TRES ISLETAS	0	0
VILLA ANGELA	0	14
VILLA BERTHET	2	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

Chubut	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
TRELEW	1	0
ESQUEL	1	1
TREVELIN	0	1
COMODORO RIVADAVIA	2	2

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Córdoba	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
PLAZA SAN FRANCISCO	0	1
GRAN CORDOBA - CAPITAL	2	0
HUERTA GRANDE	0	0
LA FALDA	0	0
LA FALDA-VILLA GIARDINO	0	0
VALLE HERMOSO	0	0
LA FALDA	1	0
GENERAL LEVALLE	1	0
INRIVILLE	0	0
POZO DEL MOLLE	0	0
CANALS	0	0
DEVOTO	0	0
LEONES	0	0
RIO TERCERO	0	1
TANCACHA	0	0
LOS SURGENTES	0	1
SANTA ROSA DE CALAMUCHITA	1	0
MARCOS JUAREZ	0	1
BERROTARAN	0	0
OLIVA	0	0
EMBALSE	0	0
ALLENDE	0	0
LUQUE	0	0
MINA CLAVERO	0	0
VILLA CURA BROCHERO	0	0
RIO CEBALLOS	0	0
LAGUNA LARGA	0	0
MONTE BUEY	0	1
ONCATIVO	0	0
JUSTINIANO POSSE	0	1
VILLA DE SOTO	0	0
VILLA GENERAL BELGRANO	0	0
COSQUIN-SANTA MARIA DE PUNILLA	0	0
COSQUIN-BIALET MASSE	1	0
VILLANUEVA	0	1
MENDIOLAZA	1	0
UNQUILLO	0	0
CRUZ ALTA	0	0
VICUÑA MACKENNA	1	0
VILLA HUIDOBRO (Est. Cañada Verde)	1	0
MALVINAS ARGENTINAS	0	0
FREYRE	0	1
COLONIA CAROYA	0	0
ALMAFUERTE	0	0
VILLA MARIA-VILLA NUEVA	0	1
CRUZ DEL EJE	1	1
DEAN FUNES	0	0
LA CALERA-DUMESNIL	1	1
ALTA GRACIA	1	1
BELL VILLE	2	0
VALLE HERMOSO	1	0
ALCIRA (Est. Gigena)	0	0
GENERAL DEHEZA	0	1
VILLA CARLOS PAZ	1	0
CAPILLA DEL MONTE	1	1
VILLA DOLORES	1	0
LAS VARILLAS	0	0
MONTE MAIZ	0	1
ARIAS	0	0
ARROYITO	0	0
COSQUIN-BIALET MASSE	0	0
GRAN CORDOBA - CAPITAL	0	2
CORRAL DE BUSTOS	0	0
GENERAL CABRERA	0	1
GENERAL DEHEZA	0	0
HUERTA GRANDE	0	0
LA CARLOTA	0	1
HERNANDO	0	1
VILLA DEL ROSARIO	0	0
LA CUMBRE	0	0
LABORDE	0	0
LABOULAYE	0	1
LEONES	0	1
MONTECRISTO	0	0
MORTEROS	0	1
RIO SEGUNDO	0	0
RIO PRIMERO	0	0
SALSIPUEDES	0	0
SANTA ROSA DE RIO PRIMERO (Est. Villa Santa Rosa)	0	0
VILLA DEL TOTORAL	0	0
VILLA GIARDINO	0	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Corrientes LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
BELLA VISTA	0	1
CORRIENTES	1	0
CURUZU CUATIA	0	1
ESQUINA	1	1
GOYA	1	0
MERCEDES	0	1
MONTE CASEROS	1	1
PASO DE LOS LIBRES	1	1
SALADAS	0	1
SANTO TOME	1	1
SAN LUIS DEL PALMAR	0	0
SAN ROQUE	0	0
SAUCE	0	1
ITUZAINGO	0	0
LA CRUZ	0	0
MBURUCUYA	0	0
ITATI	1	0
GOBERNADOR AGRIMENSOR VALENTIN VIRASORO	0	1
EMPEDRADO	0	0
ITUZAINGO	1	1
SANTA LUCIA	0	1
ALVEAR	0	0
LA CRUZ	0	1
MBURUCUYA	0	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

Entre Ríos LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
MACIA	0	1
SAN JOSE FELICIANO	0	0
BOVRIL	0	2
CHAJARI	0	1
COLON	1	1
CRESPO	0	7
DIAMANTE	0	0
FEDERAL	0	1
GENERAL RAMIREZ	0	3
GUALEGUAYCHU	1	1
LA PAZ	0	1
MARIA GRANDE	0	2
SAN BENITO	0	1
SAN JOSE	0	2
SAN JOSE FELICIANO	0	1
SANTA ELENA	1	0
VIALE	0	2
VILLA ELISA	0	2
VILLAGUAY	0	1
PARANA (Gran Paraná)	1	0
NOGOYA	0	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Formosa	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
CLORINDA	1	1
FORMOSA	3	0
COMANDANTE FONTANA	1	0
IBARRETA	0	0
LAGUNA BLANCA	0	0
LAS LOMITAS	0	0
PALO SANTO	0	0
EL COLORADO	0	0
INGENIERO GUILLERMO N. JUAREZ	0	0
PIRANE	0	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

Jujuy	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
ABRA PAMPA	1	1
FRAILE PINTADO	1	1
GRAN SAN SALVADOR DE JUJUY	1	1
HUMAHUACA	1	1
LA QUIACA	1	1
LIBERTADOR GENERAL SAN MARTIN (Est. Ledesma)	1	0
MONTEERRICO	1	0
PALPALA (Est. Grl. Manuel N. Savio)	1	0
PERICO	1	1
SAN PEDRO (Est. San Pedro de Jujuy)	1	1
YUTO	1	1
CAIMANCITO	1	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

La Pampa	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
GENERAL ACHA	0	0
GENERAL PICO	0	1
EDUARDO CASTEX	0	0
INTENDENTE ALVEAR	0	0
VICTORICA	0	0
REALICO	0	0
GENERAL ACHA	0	1
25 DE MAYO		SI
SANTA ROSA - CAPITAL	0	2
SANTA ROSA - TOAY	0	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

La Rioja	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
CHILECITO	2	0
AIMOGASTA	0	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Mendoza	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
GRAN MENDOZA - LUJAN DE CUYO	2	0
PERDRIEL	0	0
GRAN MENDOZA - MAIPU	3	1
TUPUNGATO	0	1
GENERAL ALVEAR (Est. Colonia Alvear Norte)		
GRAN MENDOZA - CAPITAL	5	2
JUNIN	0	1
LA CONSULTA	0	0
LA PAZ	0	0
MALARGÜE	1	0
RIVADAVIA	0	1
SAN MARTIN	0	1
SAN RAFAEL	1	1
TUNUYAN	0	1
VILLA TULUMAYA	0	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

Misiones	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
LIBERTAD	0	0
CAMPO VIERA	0	0
BERNARDO DE IRIGOYEN	0	0
SAN VICENTE	1	0
CONCEPCION DE LA SIERRA	1	0
ARISTOBULO DEL VALLE	1	0
ELDORADO	6	3
LEANDRO N. ALEM	2	0
SAN JAVIER	0	0
APOSTOLES	1	2
PUERTO RICO	1	1
JARDIN AMERICA	2	0
ESPERANZA	4	0
WANDA	1	0
ALMIRANTE BROWN		
CANDELARIA	1	0
OBERA	1	1
MONTECARLO	3	2
PUERTO IGUAZU	5	1
SAN PEDRO	1	0
PUERTO PIRAY	2	0
GRAN POSADAS Y GARUPA	8	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Salta LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
AGUARAY	1	0
CAFAYATE	1	1
CAMPO QUIJANO	0	0
CERRILLOS	0	0
EL GALPON (Est. Foguista J. F. Juárez)	0	1
EL QUEBRACHAL	0	0
EMBARCACION	0	1
GENERAL GÜEMES (Est. Güemes)	1	1
GENERAL MOSCONI (Est. Vespuccio)	0	0
GRAN SALTA - CAPITAL	4	3
HIPOLITO YRIGOYEN (Est. Tabacal)	0	0
JOAQUIN V. GONZALEZ	0	1
LA MERCED	0	0
LAS LAJITAS	0	0
METAN	1	1
PICHANAL	0	0
PROFESOR SALVADOR MAZZA (Est. Pocitos)	0	0
ROSARIO DE LA FRONTERA	0	1
ROSARIO DE LERMA	1	1
SAN RAMON DE LA NUEVA ORAN (Est. Orán)	1	1
TARTAGAL	2	1
VAQUEROS	2	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

San Juan LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
CAUCETE	NO	SI
GRAN SAN JUAN - CAPITAL	1	1
SAN JOSE DE JACHAL	1	0
VILLA ABERASTAIN	1	0
VILLA GENERAL SAN MARTIN (EST. ALBARDÓN Y EST. LAS LOMAS)	1	0
VILLA MEDIA AGUA	1	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

San Luis LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
MERLO	6	0
TILISARAO	1	0
QUINES	0	0
JUSTO DARACT	0	1
JUANA KOSLAY		
LA TOMA	1	0
VILLA MERCEDES	2	1
SAN LUIS	2	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

**ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA
Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)**

Santa Fé	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
LOCALIDAD		
CASILDA	1	1
ESPERANZA	0	0
FIRMAT	1	1
GRAN SANTA FE	1	0
RAFAELA	0	0
RECONQUISTA	1	0
RUFINO	1	1
SAN GUILLERMO	1	0
SUARDI	1	1
SUNCHALES	1	0
VILLA OCAMPO	1	0
EL TREBOL	0	0
EMPALME VILLA CONSTITUCION	0	0
ELORTONDO	0	0
VENADO TUERTO	1	1
MALABRIGO	0	0
WHEELWRIGHT	0	0
HELVECIA	1	0
LAGUNA PAIVA	1	0
TOTORAS	0	0
SAN VICENTE	1	0
ROMANG	0	0
SAN JAVIER	1	0
ARMSTRONG	0	0
CALCHAQUI	5	0
SAN CRISTOBAL	1	0
VERA (Est. Gobernador Vera)	0	0
LAS TOSCAS	1	0
CARCARAÑA	0	0
LAS PAREJAS	0	0
ROLDAN	0	0
FRAY LUIS BELTRAN	0	0
PUERTO G. SAN MARTIN	0	0
SAN GENARO-SAN GENARO NORTE	0	0
ALCORTA	Hi	
RECREO	0	0
TOSTADO	1	0
CERES	1	2
AVELLANEDA	1	0
SAN JOSE DEL RINCON	0	0
PEREZ	1	0
ARROYO SECO	0	1
LAS ROSAS	0	0
SAN JORGE	0	0
SAN JUSTO	0	0
SANTO TOME	1	1

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO III – INVENTARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y EFLUENTES (Cont.) (Listado sin depurar)

Santiago del Estero LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
AÑATUYA		
CLODOMIRA	0	0
QUIMILI	1	0
SANTIAGO DEL ESTERO-CAPITAL	0	2
SANTIAGO DEL ESTERO-LA BANDA-BANDA	0	0
SUNCHO CORRAL	0	0
TERMAS DE RIO HONDO (Las Termas de Río Hondo)	0	0
REAL SAYANA	2	0
BELTRAN	0	0
FERNANDEZ	0	0
VILLA SAN MARTIN (Est. Loreto)	1	0
SUMANPA	0	0
EL ZANJON	0	0
CAMPO GALLO	1	0
BANDERA	1	0
FRIAS	0	0
MONTE QUEMADO	1	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

Tucumán LOCALIDAD	Plantas de tratamiento	
	Plantas de tratamiento de Agua	Plantas de tratamiento de Cloaca
INGENIO SAN PABLO	0	0
RANCHILLOS	0	0
RIO SECO	0	0
GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN - LULES (El Manantial)	0	0
RANCHILLOS	0	0
VILLA QUINTERO	0	0
AGUILARES		
BELLA VISTA	0	0
CONCEPCION	0	0
GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN - CAPITAL (San Miguel de Tucumán)	3	0
GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN - LULES (El Manantial)	0	0
GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN - TAFI VIEJO	0	0
GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN - YERBA BUENA (Yerba Buena)	0	0
JUAN BAUTISTA ALBERDI	0	0
MONTEROS	0	0
RIO SALI	0	0
SIMOCA	0	0
VILLA MORENO	0	0

Fuente: Ente Nacional de Obras Hídicas y Saneamiento (ENOSHA, 2004)

ANEXO IV- PASO 2 - PLANILLA GENERAL

NRO.	PROVINCIA	CIUDAD		LATITUD	ASNM	CT (central Termica)	TIPO DE EQUIPO	PLANTA DE TRATAMIENTO CLOCAL	TEMPERATURA MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO	TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO	HELIOFANIA	DIAS LIBRE DE HELADAS	PRECIPITACION
FUENTES: (*)				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Bs.As.	San Nicolas	San Nicolás I	-33,34	18	1	CGCV	1	17,1	11,3	22,9	7,23	322	1054,4
2	Bs.As.	San Nicolas	AES Parana	-33,34	18	1	CGCV	1	17,1	11,3	22,9	7,23	322	1054,4
3	Bs.As.	Mar de Ajo	Mar de Ajo	-36,71	6	1	TG	1	22	8,7	23,3	6,00	298	555
4	Bs.As.	General Villegas	General Villegas	-35,2	106	1	DI		15,6	8,6	24,2	6,00	283	1200
5	Bs.As.	Bragado	Bragado (ENARSA)	-35,12	50	1	TG		16,2	13,2	22	6,00	315	900
6	Bs.As.	Campana	Manuel Belgrano	-34,17	20	1	CG	1(A)	17,4	9,4	22,8	7,23	330	1058
7	Bs.As.	Campana	Manuel Belgrano	-34,17	20	1	CV	1(A)	17,4	9,4	22,8	7,23	330	1058
8	Bs.As.	Ramallo	Tenaris Siderca Cete II	-33,47	37	1	TG	1(A)	17,1	11,3	22,9	7,23	322	973
9	Sta.Fe	Venado Tuerto	Venado Tuerto	-33,67	112	1	TG	1	16,3	8	31	5,88	306	845
10	Sta.Fe	Sauce Viejo	Brigadier Lopez	-31,7	18	1	TG	1 (*)	18,5	13,3	25,7	6,83	339	975
11	Sta.Fe	Rosario	Timbues(V.O y S.M)	-32,92	25	1	CG/CV	1(A)	17,1	11,2	23,5	7,23	321	993,7
12	Córdoba	Rio Cuarto	Central Las Ferias	-33,12	421	1	TG/CG/CV	1	15	8,9	24,9	6,45	255	349,4
13	Córdoba	Villa Maria	Central LasPlayas	-32,41	96	1	TG	1	16,8	10,8	24,8	6,85	313	762
14	Cordoba	Rio Tercero	Central Termica 13 de Julio	-32,18	548	1	TG	1	16,6	9,5	24,7	6,93	297	700
15	Córdoba	San Francisco	San Francisco	-31,43	104	1	TG	1	18	10,4	26,9	7,10	269	850
16	Cordoba	Cordoba	Central Sudoeste	-31,25	352	1	TG	1	18	12,1	25,2	7,10	324	770
17	Cordoba	Cordoba	Dean Funes	-31,25	352	1	TG	1	18	12,1	25,2	7,10	324	770
18	Cordoba	Cordoba	Modesto Maranzana	-31,25	352	3	TG/CV/CG	1	18	12,1	25,2	7,10	324	770
19	Cordoba	Gral. Levalle	Levalle	-34,01	40	1	TG	1	17,1	9,6	25,1	7,40	338	769
20	Cordoba	Pilar	Pilar	-31,67	338	1	CG/CV/TV	1	17,1	9,7	25,3	7,32		690,3
21	Ent.Ríos	Concepcion del Uruguay	Concepcion del Uruguay	-32,48	17	1	TG	1(A)	18,3	12,3	24	7,00	334	1122
22	Ent.Ríos	Parana	Parana	-31,78	78	1	TG	1	18	16,6	24,4	7,27	347	1100
23	Corrien.	Goya	Goya	-29,17	84	1	TG	1(A)	20,5	15,7	28,3	6,96	340	1386
24	Chaco	Roque Saenz Peña	Roque Saenz Peña	-26,87	90	1	DI	1	21,5	14,8	28,8	6,88	346	809
25	Formosa	Formosa	Formosa	-26,11	57	1	TG		22,3	17	28,1	7,35	360	1419
26	LaRioja	LaRioja	La Rioja	-29,38	429	1	TG		22	13,7	28,9	7,23	334	493,28
27	Misiones	Posadas	La Tablada	-27,19	124	1	TG	1	21	15,9	29,5	5,80	360	1664
28	Salta	Güemes	Güemes	-24,72	718	1	TG/TV	1	17	10,4	24,1	5,34	292	533
29	Salta	ID	Tartagal	-22	450	1	TG	1	21	15,6	27,5	5,41	357	970,4
30	Santiago del Estero	La Banda	(1")	-27,73	191	1	TG	0	21	14,2	28,5	5,98	329	355

1(*) No es planta de tratamiento local sino, posibilidad de tomar nutrientes de desechos de fabricas alimenticias del parque industrial

1(A) No hay planta de tratamiento cerca, sino posibilidades de tomar nutrientes de industria cercana

(*) Referencias hoja posterior

1(") Uso Santiago Del Estero como Referencias climaticas por estar cerca

4 Referencias:

- TG Turbina de gas
- TV Turbinas de vapor
- DI Diesel
- CG Componente Turbogas de ciclos combinados
- CV Componente Turbovapor de ciclos combinados

No pude verificar dato

uso Bella Vista

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA

PROVINCIA: BUENOS AIRES

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION												
				PROVINCIA	LOCALIZACION Buenos Aires		LOCALIZACION Buenos Aires		LOCALIZACION Buenos Aires General Villegas		LOCALIZACION Buenos Aires Bragado		LOCALIZACION Buenos Aires Campana		LOCALIZACION Buenos Aires Ramallo	
				CIUDAD	San Nicolas	Ponderacion	Mar de Ajo	Ponderacion	General Villegas	Ponderacion	Bragado	Ponderacion	Campana	Ponderacion	Ramallo	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%	4	18%	1	5%	2	9%	2	9%	4	18%	4	18%	
2		Acceso a Nutrientes	16,0%	4	16%	4	16%	3	12%	3	12%	4	16%	4	16%	
3		Factores Climaticos	16,0%		14%		14%		13%		13%		14%		14%	
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%	3	4%	2	3%	2	3%	2	3%	3	4%	3	4%	
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%	4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%	4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	
	3,4	Precipitaciones	3,0%	3	2%	4	3%	3	2%	3	2%	3	2%	3	2%	
4		Dist y Acceso al Agua	18,0%	4	18%	4	18%	1	5%	2	9%	3	14%	4	18%	
5		Transporte	7,0%	4	7%	3	5%	3	5%	3	5%	4	7%	4	7%	
6		Recursos Humanos	8,0%	4	8%	4	8%	3	6%	3	6%	4	8%	4	8%	
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%	2	9%	3	13%	1	4%	2	9%	3	13%	3	13%	
TOTALES			100%		90%		78%		54%		63%		89%		94%	

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: CORDOBA

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION															
				PROVINCIA	LOCALIZACION Cordoba		LOCALIZACION Cordoba San Francisco												
				CIUDAD	Bell Ville	Ponderacion	Gral. Levalle	Ponderacion	Pilar	Ponderacion	Rio Tercero	Ponderacion	Rio IV	Ponderacion	Villa Maria	Ponderacion	Francisco	Ponderacion	
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		3	14%	2	9%	4	18%	1	5%	4	18%	1	5%	2	9%	
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		4	16%	3	12%	4	16%	4	16%	3	12%	3	12%	3	12%	
3		Factores Climaticos	16,0%			13%		13%		14%		13%		12%		12%		13%	
	3.1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		3	4%	3	4%	3	4%	3	4%	2	3%	2	3%	3	4%	
	3.2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	4	5%	
	3.3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	4	3%	
	3.4	Precipitaciones	3,0%		2	2%	2	2%	3	2%	2	2%	2	2%	2	2%	2	2%	
4		Acceso al Agua	18,0%		4	18%	1	5%	1	5%	4	18%	3	14%	3	14%	1	5%	
5		Transporte	7,0%		3	5%	3	5%	3	5%	3	5%	3	5%	3	5%	3	5%	
6		Recursos Humanos	8,0%		4	8%	3	6%	4	8%	4	8%	4	8%	4	8%	4	8%	
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		1	4%	2	9%	3	13%	4	17%	2	9%	2	9%	1	4%	
TOTALES			100%			78%		59%		79%		82%		77%		64%		56%	

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: CORRIENTES

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION	
				PROVINCIA	LOCALIZACION
				CIUDAD	Corrientes
				Goya	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%	1	5%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%	3	12%
3		Factores Climaticos	16,0%		15%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%	3	4%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%	4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%	4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%	4	3%
4		Acceso al Agua	18,0%	3	14%
5		Transporte	7,0%	3	5%
6		Recursos Humanos	8,0%	3	6%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%	4	17%
TOTALES			100%		73%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: CHACO

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION		
				PROVINCIA	LOCALIZACION	
				CIUDAD	Saenz Peña	Ponderacion
				Chaco		
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		1	5%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		3	12%
3		Factores Climaticos	16,0%			13%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		3	4%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		1	5%
5		Transporte	7,0%		2	4%
6		Recursos Humanos	8,0%		3	6%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		4	17%
TOTALES			100%			61%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: ENTRE RIOS

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION				
				PROVINCIA	LOCALIZACION Entre Rios		LOCALIZACION Entre Rios Concepcion del Uruguay	
				CIUDAD	Parana	Ponderacion	del Uruguay	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		2	9%	2	9%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		4	16%	3	12%
3		Factores Climaticos	16,0%			13%		13%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		3	4%	3	4%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%	4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%	4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2	2%	2	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		3	14%	3	14%
5		Transporte	7,0%		4	7%	4	7%
6		Recursos Humanos	8,0%		4	8%	4	8%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		3	13%	3	13%
TOTALES			100%			80%		76%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: FORMOSA

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION		
				PROVINCIA	LOCALIZACION	
				CIUDAD	Formosa	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		1,5	7%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		3	12%
3		Factores Climaticos	16,0%			15%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		4	5%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		4	18%
5		Transporte	7,0%		2	4%
6		Recursos Humanos	8,0%		4	8%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		3	13%

TOTALES 100%

76%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (cont.)

PROVINCIA: LA RIOJA

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION	
				PROVINCIA	LOCALIZACION
				CIUDAD	La Rioja Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		1 5%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		3 12%
3		Factores Climaticos	16,0%		15%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		4 5%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4 5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4 3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2 2%
4		Acceso al Agua	18,0%		2 9%
5		Transporte	7,0%		2 4%
6		Recursos Humanos	8,0%		3 6%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		3 13%
TOTALES			100%		62%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: MISIONES

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION		
				PROVINCIA CIUDAD	LOCALIZACION Misiones La Tablada-Posadas	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		1	5%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		3	12%
3		Factores Climaticos	16,0%			11%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		1	1%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		4	18%
5		Transporte	7,0%		2	4%
6		Recursos Humanos	8,0%		3	6%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		2	9%
TOTALES			100%			63%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: SALTA

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION					
				PROVINCIA	LOCALIZACION Salta		LOCALIZACION Salta		
				CIUDAD	Guemes	Ponderacion	Tartagal	Ponderacion	
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		4	18%		1	5%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		4	16%		4	16%
3		Factores Climaticos	16,0%			11%			13%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		1	1%		2	3%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%		4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%		4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2	2%		3	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		3	14%		3	14%
5		Transporte	7,0%		2	4%		2	4%
6		Recursos Humanos	8,0%		4	8%		2	4%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		1	4%		3	13%
TOTALES			100%			74%			67%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: SANTA FE

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION						
				PROVINCIA	LOCALIZACION Santa Fe		LOCALIZACION Santa Fe Venado		LOCALIZACION Santa Fe	
				CIUDAD	Sauce Viejo	Ponderacion	Tuerto	Ponderacion	Timbues	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		1	5%	1	5%	4	18%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		4	16%	3	12%	4	16%
3		Factores Climaticos	16,0%			14%		12%		13%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		3	4%	2	3%	3	4%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%	4	5%	4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%	4	3%	4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		3	2%	2	2%	2	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		4	18%	2	9%	4	18%
5		Transporte	7,0%		4	7%	3	5%	4	7%
6		Recursos Humanos	8,0%		4	8%	4	8%	4	8%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		3	13%	2	9%	3	13%
TOTALES			100%		80%		59%		93%	

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

ANEXO V: MATRIZ DE DECISION - LOCALIZACION PLANTA PILOTO PROYECTO BIODIESEL DE MICROALGAS EN ARGENTINA (Cont.)

PROVINCIA: SANTIAGO DEL ESTERO

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS	PONDERACION ASIGNADA	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION		
				PROVINCIA	LOCALIZACION Santiago del Estero	
				CIUDAD	La Banda	Ponderacion
1		Fuente Generacion CO2	18,0%		1	5%
2		Acceso a Nutrientes	16,0%		2	8%
3		Factores Climaticos	16,0%			12%
	3,1	Distribucion promedio heliofania efectiva (7,7)	5,0%		2	3%
	3,2	Temperatura media anual (no menor a 12)	5,0%		4	5%
	3,3	Dias libres de heladas (+ de 200)	3,0%		4	3%
	3,4	Precipitaciones	3,0%		2	2%
4		Acceso al Agua	18,0%		4	18%
5		Transporte	7,0%		3	5%
6		Recursos Humanos	8,0%		4	8%
7		Disponibilidad de Superficie para implantacion de proyecto	17,0%		3	13%
TOTALES			100%			69%

Criterio de Evaluacion	
Valor	Significado
0	No cumple
1	Cumplimiento minimo
2	Cumplimiento medio
3	Alto Cumplimiento o Cumple la condicion en su totalidad pero hay presencia de algun factor que hace que no se lo considere al 100%
4	Cumple al 100%

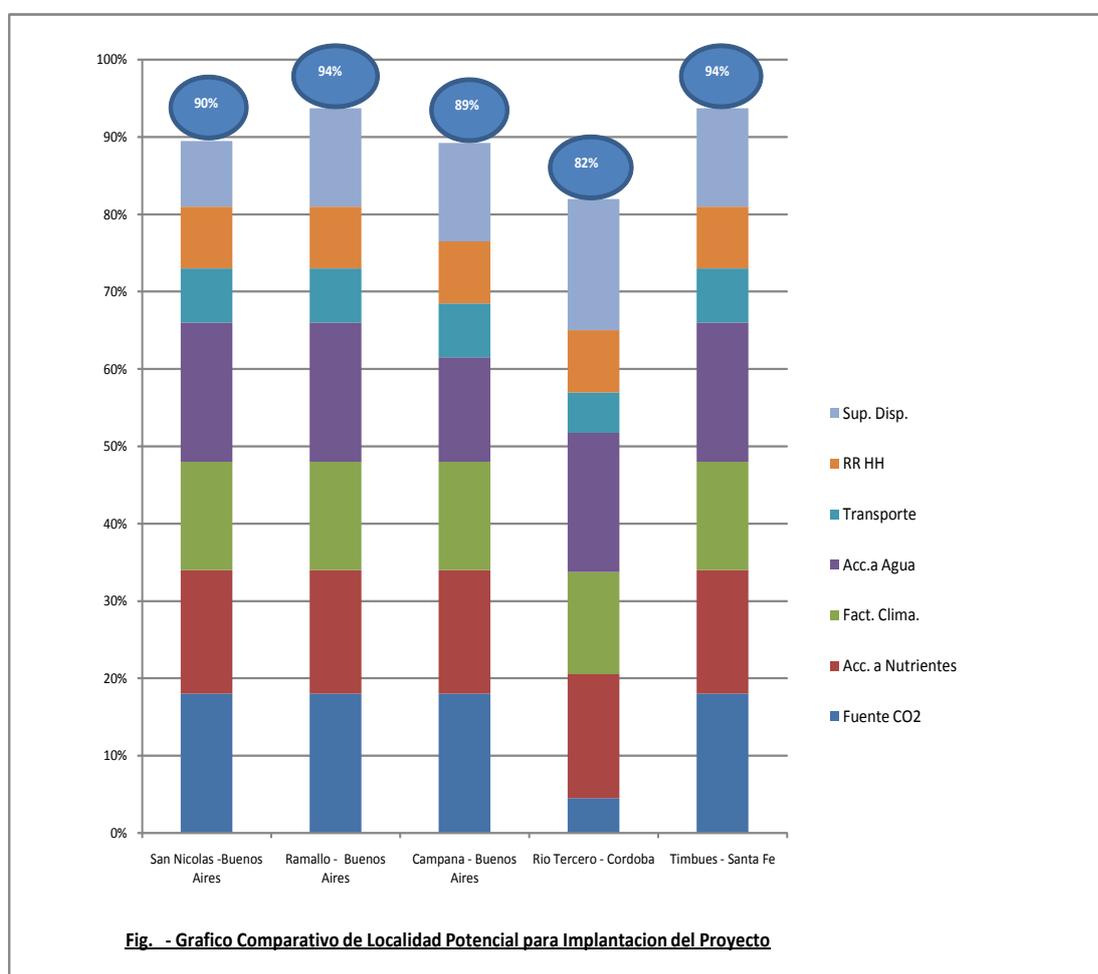
ANEXO VI - CT - Potencias y Factor de carga 2012

NRO.	PROVINCIA	CIUDAD		LATITUD	ASNMM	CT (central Termica)	TIPO DE EQUIPO *	POTENCIA MW	Energia Potencial Anual	Energia Anual 2012 (MWh)	% UTILIZACION
1	Bs.As.	San Nicolas	San Nicolás I	-33,34	28	1	CC	675	5.913.000	2.506.984	42%
2	Bs.As.	San Nicolas	AES Parana	-33,34	28	1	TG	845	7.402.200	5.427.406	73%
3	Bs.As.	Mar de Ajo	Mar de Ajo	-36,71	6	1	TG	34	297.840	22.691	8%
4	Bs.As.	General Villegas	General Villegas	-35,2	106	1	DI	23,5	205.860	33.161	16%
5	Bs.As.	Bragado	Bragado (ENARSA)	-35,12	50	1	TG	49,8	436.248	90.145	21%
6	Bs.As.	Campana	Manuel Belgrano	-34,17	20	1	CG	572	5.010.720	3.841.614	77%
7	Bs.As.	Campana	Manuel Belgrano	-34,17	20	1	CV	251	2.198.760	1.933.544	88%
8	Bs.As.	Ramallo	Tenaris Siderca Cete II	-33,47	37	1	TG	163,2	1.429.632	1.103.160	77%
9	Sta.Fe	Venado Tuerto	Venado Tuerto	-33,67	112	1	TG	46	402.960	16.620	4%
10	Sta.Fe	Sauce Viejo	Brigadier Lopez	-31,7	18	1	TG	280	2.452.800	291.001	12%
11	Sta.Fe	Rosario	Timbues(V.O y S.M)	-32,92	25	1	CG/CV	J.M:837	7.332.120	5.026.758	69%
12	Córdoba	Rio Cuarto	Central Las Ferias	-33,12	421	1	TG	34	297.840	9.455	3%
13	Cordoba	Cordoba	Modesto Maranzana	-31,25	352	3	TG/CV/CG	250	2.190.000	849.336	39%
14	Córdoba	Villa Maria	Central LasPlayas	-32,41	96	1	TG	48	420.480	32.828	8%
15	Cordoba	Rio Tercero	Central Termica 13 de Julio	-32,18	548	1	TG	26	227.760	23.261	10%
16	Córdoba	San Francisco	San Francisco	-31,43	104	1	TG	40	350.400	63.980	18%
17	Cordoba	Cordoba	Central Sudoeste	-31,25	352	1	TG	140	1.226.400	-	0%
18	Cordoba	Cordoba	Dean Funes	-31,25	352	1	TG/TV	67	586.920	22.363	4%
19	Cordoba	Gral. Levalle	Levalle	-34,01	40	1	TG	62	543.120	82.343	15%
20	Cordoba	Pilar	Pilar	-31,67	338	1	CG/CV/TV	683	5.983.080	3.290.863	55%
21	Ent.Ríos	Concepcion del Uruguay	Concepcion del Uruguay	-32,48	17	1	TG	41	359.160	80.284	22%
22	Ent.Ríos	Parana	Parana	-31,78	78	1	TG	40	350.400	88.693	25%
23	Corrien.	Goya	Goya	-29,17	84	1	TG	32	280.320	25.081	9%
24	Chaco	Roque Saenz Peña	Roque Saenz Peña	-26,87	90	1	DI/TG	20	175.200	13.776	8%
25	Formosa	Formosa	Formosa	-26,11	57	1	DI	30	262.800	45.854	17%
26	LaRioja	LaRioja	La Rioja	-29,38	429	1	TG	46	402.960	16.987	4%
27	Misiones	Posadas	La Tablada	-27,19	124	1	TG	22	192.720	2.624	1%
28	Salta	Güemes	Güemes	-24,72	718	1	TG/TV	361	3.162.360	1.591.059	50%
29	Salta	ID	Tartagal	-22	450	1	TG	28	245.280	-	0%
30	Santiago del Estero	La Banda	(1")	-27,73	191	1	TG	32	280.320	28.191	10%

- * Referencias:
- TG Turbina de gas
 - TV Turbinas de vapor
 - DI Diesel
 - CG Componente Turbogas de ciclos combinados
 - CV Componente Turbovapor de ciclos combinados

ANEXO VII: LOCALIDADES CON MAYOR PONDERACION - GRAFICO

Nro.	sub.nro	CRITERIOS DE ANALISIS					
			San Nicolas - Buenos Aires	Ramallo - Buenos Aires	Campana - Buenos Aires	Rio Tercero - Cordoba	Timbues - Santa Fe
1		Fuente CO2					
2		Acc. a Nutrientes	18%	18%	18%	5%	18%
3		Fact. Clima.	16%	16%	16%	16%	16%
4		Fact. Clima.	14%	14%	14%	13%	14%
5		Acc.a Agua	18%	18%	14%	18%	18%
6		Transporte	7%	7%	7%	5%	7%
7		RR HH	8%	8%	8%	8%	8%
		Sup. Disp.	9%	13%	13%	17%	13%
TOTALES			90%	94%	89%	82%	94%



ANEXO VIII – DIMENSION TOTAL DE LA PLANTA PILOTO

PROPUESTA Y ESCALADO DE CULTIVOS

Este Anexo describe los lineamientos básicos de diseño de la planta piloto propuesta.

Consideraciones:

- A. El método de cultivo utilizado es a Sistema Abierto, en Piletones tipo Raceway con paletas mezcladoras, como la mayoría de los sistemas comerciales.
- B. El procesamiento de la biomasa, se logra con la extracción con disolvente para recuperar el aceite. Se realiza digestión anaeróbica de la extracción residual para recuperar biogás.
- C. Se utiliza como fuente de CO₂, los gases provenientes de la Central Térmica Timbúes y el mismo se incorpora al cultivo de las algas a través de sumideros que funcionan continuamente para eliminar cualquier limitación de carbono en la tasa de crecimiento de las algas
- D. Se utiliza como fuente de nutrientes, los provenientes de la planta de tratamiento en el polo cerealero o Solamb. Se entrega a la planta piloto el efluente cloacal depurado de aquello que no es aceptable.
- E. Como se sugiere en la literatura, asumimos que el alga cultivada se mantiene por inoculación, y las algas se han desarrollado específicamente para el propósito que nos ocupa. Detalle de cómo se procede en la inoculación se aprecia en punto

II. Escalado de Cultivos

- F. La locación seleccionada es la que surge como resultado del capítulo 3, Localización, anexa a la Central Térmica San Martín en Timbúes, Provincia de Santa Fe.
- G. Los lineamientos corresponden únicamente al área ocupada por los piletones, sin estar consideradas las superficies ocupadas por otras infraestructuras como ser depósitos, espesadores, laboratorios y oficina.

I. Cultivo mediante Raceway

Como relevamos en el capítulo II, el diseño de Raceway (Ver Figura 163) se encuentra estandarizado (180).

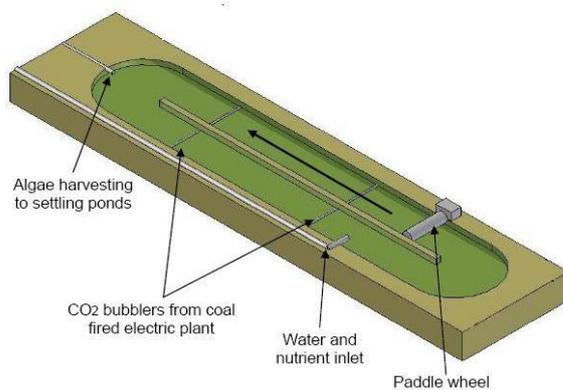


Figura 163: Esquema de diseño típico de Raceway para la producción de microalgas. Cada carril suele tener 6 o 7 metros de ancho, pero el largo puede variar considerablemente para alcanzar áreas de irradiación solar de 1000 a 10000 m². (1)

II. Escalado de cultivos

Uno de los puntos críticos en la producción a gran escala de microalgas es la transferencia desde las colecciones tipo hasta los sistemas de crecimiento. (40) (263)

Las algas son transferidas desde medios agarizados en ambientes controlados de apenas

unos 20 ml de cultivo, hasta sistemas de envergadura de miles de litros a cielo abierto. Este paso exige generar el volumen de cultivo que permita el inóculo de los grandes sistemas, así como la adaptación progresiva de las algas a un entorno sumamente cambiante (263). La finalidad del escalado, es la de generar la biomasa necesaria para el inóculo de los sistemas de cultivo masivo y la adaptación progresiva de las algas a las condiciones finales de producción (40)

Respecto a este punto, la literatura ofrece diferentes metodologías de escalado (40) (263) Se puede mantener un óptimo de escalado de los cultivos con volúmenes de inóculo (cultivo de media densidad en crecimiento exponencial) de 1/10. Para los sistemas de cultivos propuestos se pueden mantener Raceway de bajo volumen (Raceway de escalado) de 3-10 m² (300-1000 litros de cultivo) para el cultivo previo antes de la transferencia al piletón de mayor envergadura. (263) El Dr. Ben Amotz, en su conferencia sobre Biocombustibles de 3ra generación propone un diseño de escalado para las plantas piloto, que fue tomada para la Planta Piloto en Israel. (79) Ver Figura 164

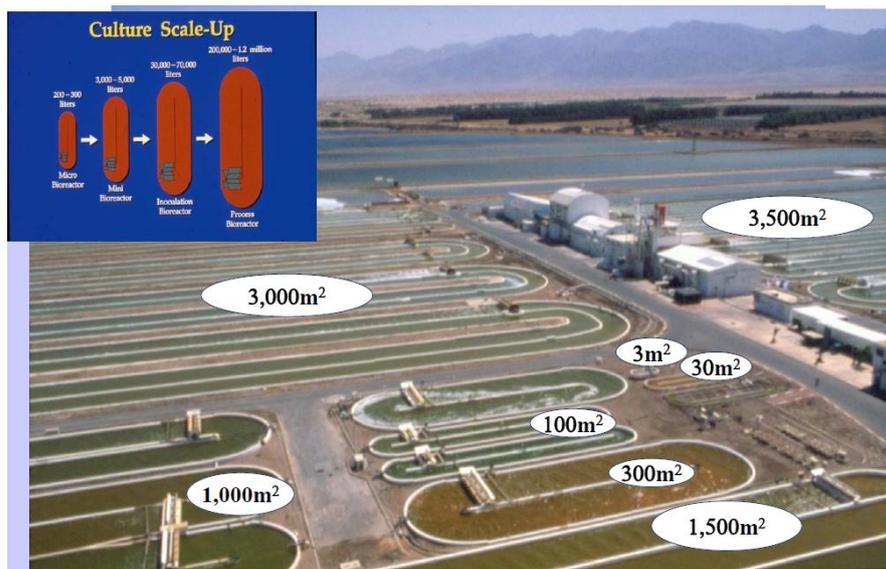


Figura 164 - Escalado de cultivo de *Dunaliella* en Eilat, Israel - Fuente (79)

Para verlo de una manera más gráfica, el sistema de la inoculación es una configuración escalada que como dijimos en los párrafos anteriores, aumenta 10 veces en cada etapa, y es adecuado para una planta a escala industrial de hasta 4 hectáreas. Este sistema es uno de los muchos escenarios que permitirían la inoculación de los Raceway más grandes. El concepto se inicia con fotobioreactores (PBR) que crecen con 50 litros de cultivo. Estos, harían crecer inóculos de cultivo para Raceway básicos equipados para 500 litros de cultivo. En cada etapa del sistema de inóculos de estanques, los nutrientes y el agua (10 veces ampliación) estarán presentes y se combinarán con los inóculos para el crecimiento continuo. Los inóculos de 500 litros alimentarían a piletones de 5,000 litros (5-m³). Este estanque serviría entonces para un estanque mucho más grande de 50.000 litros (50 m³) y así sucesivamente. La quinta pista de rodadura en la secuencia tendría un total aproximado de 5.000.000 (5000 m³) Litros de algas, que contiene teóricamente cultivo iniciador suficiente para inocular un poco más de (4) estanques de cultivo de 4 ha. Suponiendo (100) Estanques de 4 ha, (25) sistemas de 5-inóculos tendrían que ser construidos (104). Ver Figura 165.

Obviamente, esto es una gran adición a la (10) 1000-m² (300 m²) de estanques tratados en informes anteriores, como el del Dr. Lundquist, pero esos informes no describen en detalle en cuanto a cómo funcionaría su sistema de inóculos (104).

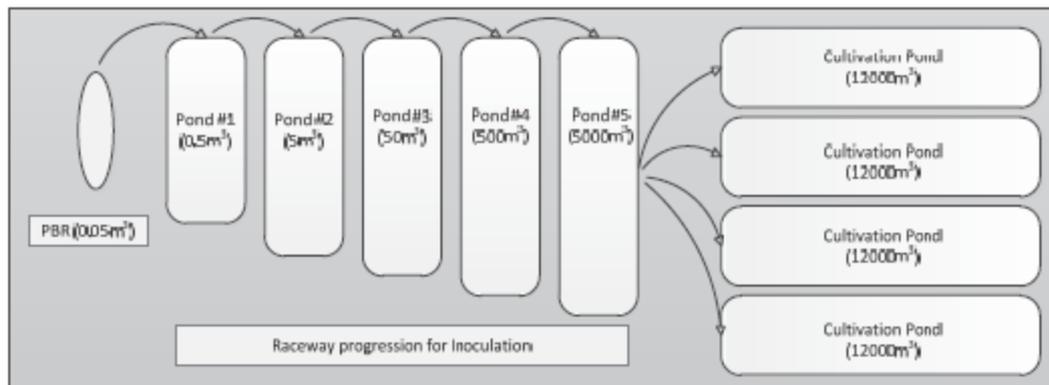


Figura 165 - Configuración piletas inóculos – Fuente: (104)

En nuestro proyecto, se propone un escalado de cultivos con volúmenes de inóculo de 1/10, comenzando con 50 litros provenientes de la cámara de cultivo en laboratorio, hasta piletones de 500.000 L que siguen en diseño a la proposición del Dr. Ben Amotz. Ver Figuras 166 y 167.

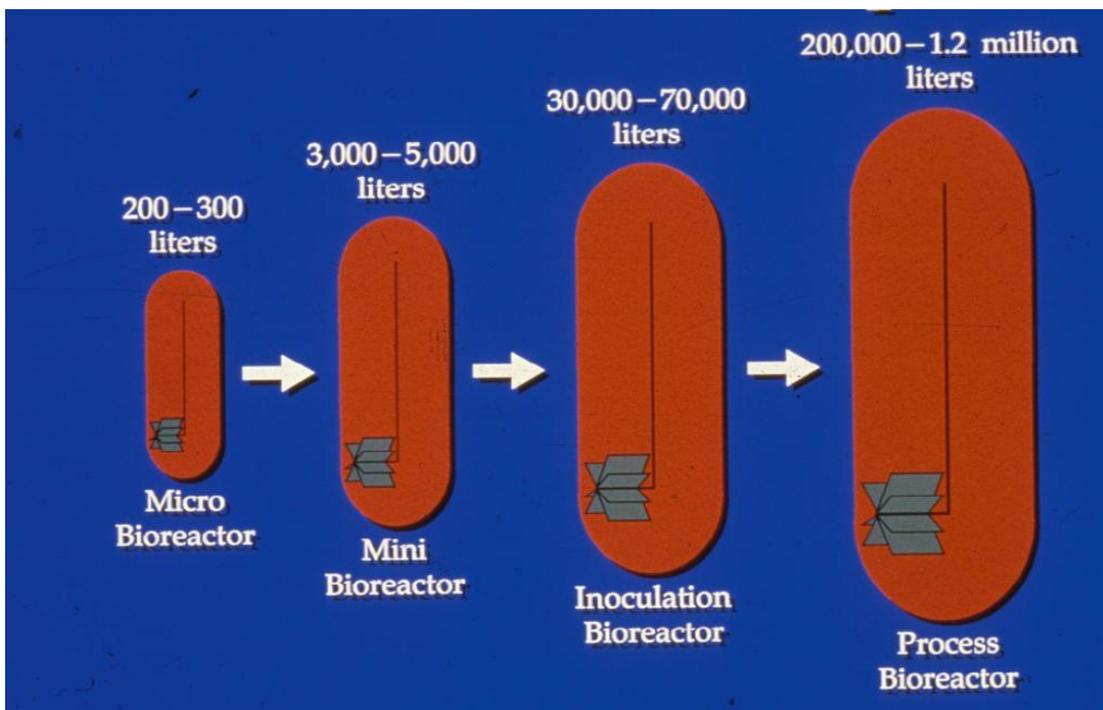


Figura 166 - Diseño de escalado propuesto por el Dr. Ben Amotz y acorde al layout de la planta de Israel Seambiotic – Fuente: (79)

Tamaño Bioreactor	Micro		Mini		Inóculo		Industrial	
Volumen	500	litros	5000	litros	50.000	litros	500.000	litros

Figura 167 – Volumen de inóculos / Raceway propuestos para la Planta Piloto – Fuente: (100)

III. Dimensión

El diseño básico adoptado para el Piletón, proviene de diversos estudios (40) (79): un Raceway de un solo bucle. Su construcción suele ser en cemento, pudiendo llevar el revestimiento plástico para evitar corrosión, facilitar mantenimiento y mejorar las condiciones de flujo de cultivo. También es posible que puedan ser construidas en el terreno, y en este caso debe contarse con un recubrimiento para mantener la estructura de la laguna, normalmente en geotextil.

La profundidad seleccionada será de 0.3 metros, lo suficientemente bajo para que la luz solar pueda penetrar inclusive en las partes más profundas de esta. Por otra parte, mientras más bajas sean las lagunas, una mayor área es necesaria para mantener un mismo volumen de cultivo, y por lo tanto mayor es el requerimiento energético por unidad de volumen para hacer circular el fluido producto del efecto del roce del agua con la superficie de la laguna. Por lo general se diseñan lagunas con una profundidad de entre 20 y 30 cm (180) (40)

Para los piletones individuales, el radio, largo y ancho del canal afecta el costo, los canales estrechos son más costosos debido a la mayor necesidad de materiales para el perímetro de construcción del estanque, y los canales más amplios son más costosos debido a las ruedas de paletas más amplias y la mayor necesidad de estaciones de carbonatación. También, canales excesivamente anchos serán propensos a conducir a patrones serpenteantes de flujo, a aumentar la influencia del viento y a la sedimentación

de algas dentro de las zonas sin mezclar. Los canales de 30 metros de ancho son casi dos veces más anchos que los que se utilizan en la mayor producción de biocombustibles de algas utilizando Raceway en Nueva Zelanda (40). El ancho y el largo pueden variar aunque un ancho de carril de 6 metros es común, y el largo puede variar sin problemas para alcanzar el área total irradiada por reactor deseado. (180)

Como cada Raceway necesita las paletas mezcladoras y otros anexos, el área del Raceway debe ser lo más larga posible para una economía de escala. De todas maneras, el largo del canal está limitado por la necesidad de recarbonatización a la cultura (provisión de CO₂), la cual, en verano, con el pico de productividad, impone un límite. La longitud también está limitada por la elevación requerida para vencer la pérdida de carga del flujo alrededor del circuito de canal, considerando una profundidad de agua estándar de 30 cm. El máximo razonable limitado por ruedas de paletas conduce a una longitud de circuito máxima de alrededor de 1.400 mts. Las dimensiones correspondientes de los estanques individuales seleccionados en el estudio del Dr. Benemann son de 60 m de ancho por 690 m de largo, y el área resultante de cada estanque es de 4 hectáreas. (40)

En el caso de la experiencia que está realizando Algatec S.A. en Rio Tercero, el Piloto se extiende sobre una hectárea de superficie, con laboratorios, galpones, maquinarias e infraestructura (con piletones de aproximadamente 100 mts de largo). A posterior, se pasa a la escala de desarrollo industrial sobre 10 hectáreas. (85) (167)

En nuestro caso, seguimos las indicaciones del estudio del Dr. Benemann en aspectos generales y del Dr. Ben Amotz en detalle (Ver Figura 168), para la configuración de los piletones. También se siguió la disposición de la planta Seambiotic de Israel, que mantiene 2 piletones por cada tamaño. (Ver Figura 169)

Length, Width & Depth

Length and Width:

To develop the lengths of the units, recall that 1 acre = 43,560 ft.², therefore 10 acres = 435,600 ft² and the length of one side of a square 10 acre plot is $\sqrt{435,600} = 660$ ft: to allow for end construction use, one acre plot 623 ft long will be $43560/623 = 70$ feet wide. And since there will be 2 parallel channels in each pond, each channel will be about 35 feet wide. Total mean water path length through this circuit will be $(623 + 35) \times 2 = 1,316$ feet. These lengths and widths are only approximate.

The length of channel, its roughness or "n" value, and the flow velocity to be used determine hydraulically permissible depths. The general relationships derived from Mannings equation for open channel flow are shown in Equation 13:

$$h_L/L = V^2/(1.486/n)^2 R^{4/3} \quad (13)$$

in which h_L is the head loss in feet, L is the channel length in feet, V is the flow velocity in the channel in feet per second, n is the roughness coefficient for the channel (dimensionless), R is the hydraulic radius. Each of these factors is discussed below.

Figura 168- Recomendaciones para establecer el ancho y largo de los canales – Fuente: (79)



Figura 169 – Seambiotic, Israel – Fuente: (79)

De esta manera, determinamos la medida de los inóculos/Raceway propuestos. En la columna de formulas, se encuentra el detalle de las mismas. A partir del volumen propuesto (ejemplo 500.000 L) y la profundidad (0,3 metros), se establecen los parámetros de largo, ancho, ancho del canal y sección para cada piletón (Ver Figura 170), donde a partir de la cual, el área ocupada por los piletones seria de aproximadamente 0.4 hectárea (Ver Figura 171)

Tamaño Bioreactor	Micro		Mini		Inoculo		Industrial		Formulas
Volumen	500	litros	5000	litros	50.000	litros	500.000	litros	Variables elejidas: Volumen, Profundidad, velocidad, K, perdida sumideros, n y eficiencia
(L) Largo de la Pileta	4,08	m.	12,91	m.	40,82	m.	129,10	m.	$L = \text{Raiz Cuad.}(10 \cdot S)$
(A) Ancho de la Pileta	0,41	m.	1,29	m.	4,08	m.	12,91	m.	$A = S/L$
(R) Ancho del Canal (Radio)	0,20	m.	0,65	m.	2,04	m.	6,45	m.	$R = A/2$
(d) Profundidad	0,30	m.	0,30	m.	0,30	m.	0,30	m.	Ojo! $L < 2 \cdot R$
(S) Superficie Expuesta	1,67	m ²	16,67	m ²	166,67	m ²	1.666,67	m ²	$S = (V/1000)/d$
(V) Volumen	500	litros	5.000	litros	50.000	litros	500.000	litros	$V = 0,3 \text{m} \times S$
(s) Seccion del canal	0,06	m ²	0,19	m ²	0,61	m ²	1,94	m ²	$s = d \cdot R$
Produccion Algas anual(P)	13	Kg.	134	Kg.	1.338	Kg.	13.383	Kg.	$P = 0,022 \text{Kg.} \times S \times 365 \text{días}$
CO2 Necesario Max.anual	27	Kg.	268	Kg.	2.677	Kg.	26.767	Kg.	$\text{CO}_2 = 2 \text{ Kg.} \times P$

Figura 170 – Tamaño de Piletones Propuestos para cultivo de Microalgas – Fuente: (79) (40) (100)

Tamaño Bioreactor	Micro		Mini		Inoculo		Industrial	
Volumen	500 litros		5000 litros		50.000 litros		500.000 litros	
(L) Largo de la Pileta	4,08 m.		12,91 m.		40,82 m.		129,10 m.	
(A) Ancho de la Pileta	0,41 m.		1,29 m.		4,08 m.		12,91 m.	
(d) Profundidad	0,30 m.		0,30 m.		0,30 m.		0,30 m.	
(S) Superficie Expuesta	1,67 m ₂		16,67 m ₂		166,67 m ₂		1.666,67 m ₂	
Cantidad	2		2		2		2	
Total Superficie por tamaño	3,33 m ₂		33,33 m ₂		333,33 m ₂		3.333,33 m ₂	
Total Superficie							3.703,33 m ₂	
Adicional por dist. Entre piletones y otros (1%)							37,03 m ₂	
Total Sup. Piletones							3.740,37 m₂	

Figura 171 – Cálculo de la Superficie Total ocupada por los piletones – Fuente (100)

ANEXO IX – COTIZACION CAMPO TIMBUES

Campo en Venta en Timbues Santa Fe



Timbúes -10,5 has- Vendo

USD 350.000

Ruta 11 - km 338 - Camino
Público, Timbues - Santa Fe

Código: CPV24039

Actualizado: mas de 6 meses

Habitaciones: 5

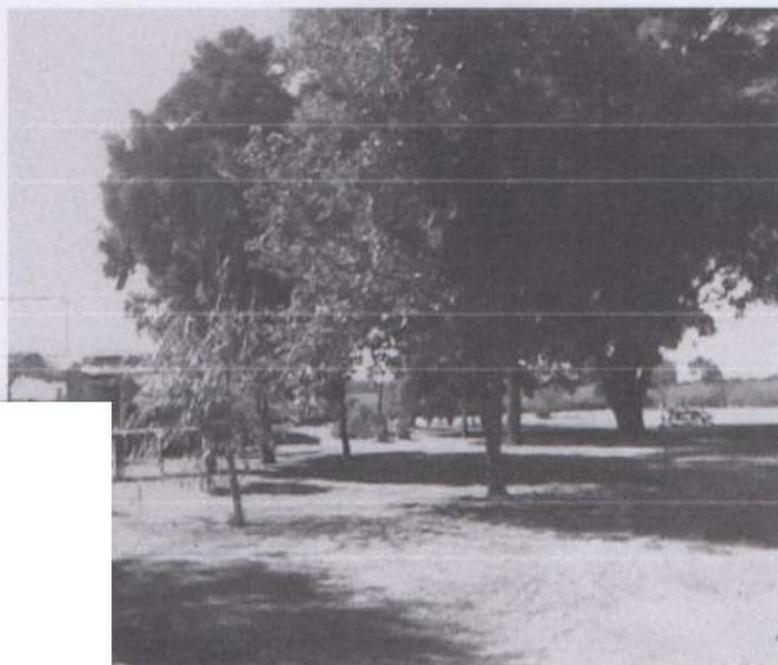
Baños: 2

FOTOS

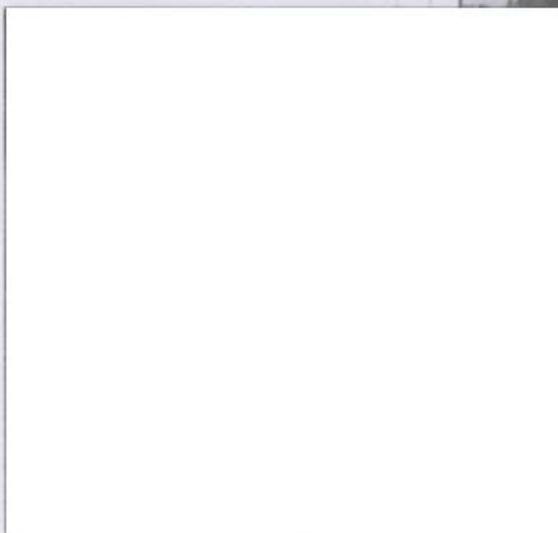
DESCRIPCIÓN

CARACTERISTICAS

MAPA



Compartir por WhatsApp

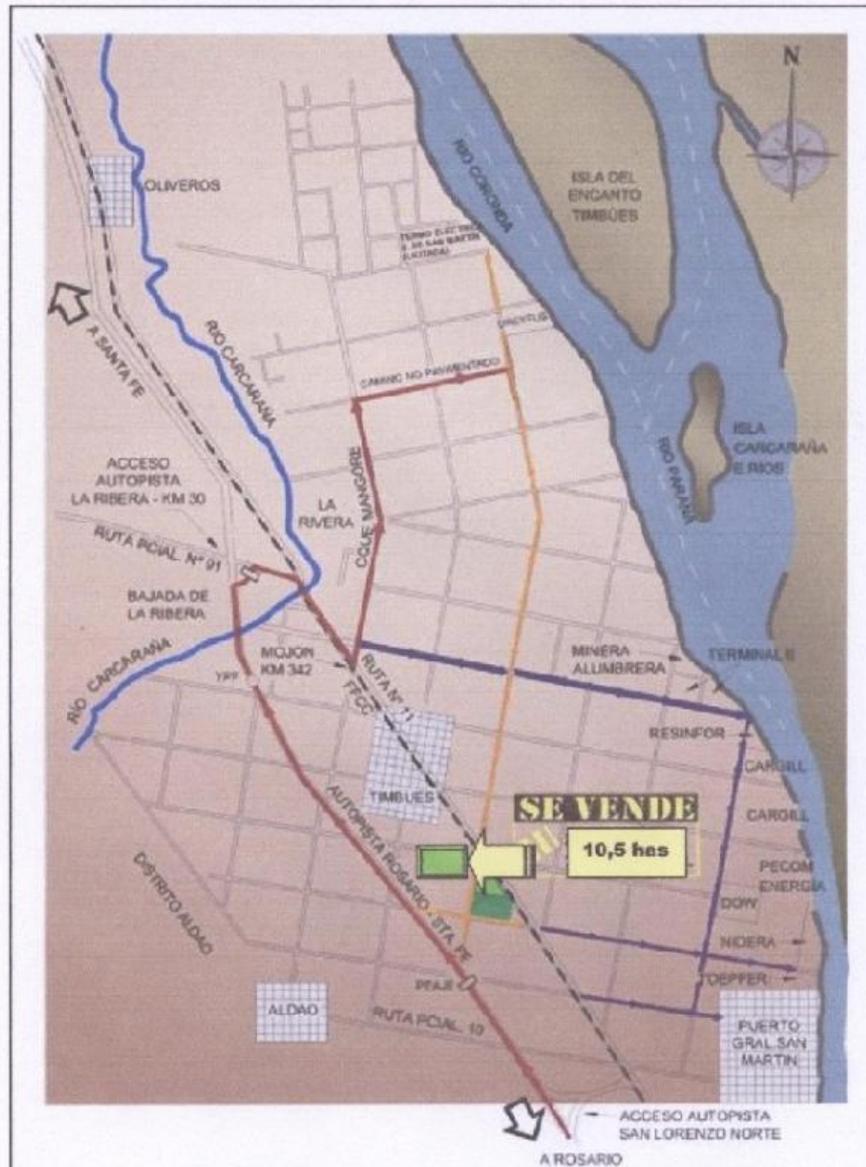


Descripción

10,5 has. Ubicadas en el Área de Potencial Desarrollo: Comercial, de Servicios e Industrial (según ordenanza comunal)

Campo Agrícola suelo 1. Casco de un poco más de ½ Hectárea, cuenta con una casa de 3 dormitorios completa de 130m², casa para caseros de un dormitorio de 60m², deposito para herramientas y facturas, 2 galponcitos para la guarda de alimentos para los animales y herramientas varias, parideras de material, corral, amplio espacio verde para el uso de actividades varias, árboles añosos y frutales. Excelentemente ubicado; a 300 mts. de la Ruta 11 a la

ANEXO IX – COTIZACION CAMPO TIMBUES (Cont.)



ANEXO X – COTIZACION MOVIMIENTO SUELOS PROVEEDOR ANTONIO Y TERESA RUSSO S.A.



Antonio y Teresa Russo S.C.

Movimiento de Suelos – Alquiler de Equipos Viales

Rosario, 29 de Marzo de 2016

Cdra. CARLA ZANNOL

P r e s e n t e

De nuestra consideración:

Por medio de la presente cotizamos a Ud. trabajos de movimiento de suelos a realizar para obra piletones de cultivo de microalgas ubicada en la localidad de Timbúes.

Descripción de los trabajos:

- ~ Superficie piletones: 3.740 m²
- ~ Resto superficie para construcción de galpones, oficinas, etc.: 1.260 m²
- ~ Limpieza suelo pasto del total del predio
- ~ Excavación de suelo vegetal para piletones en 30 cm de espesor con retiro del producido del predio
- ~ Escarificado y compactación del fondo de piletones.
- ~ Excavación suelo vegetal en 30 cm para galpones, oficinas, etc. con retiro del producido fuera del predio
- ~ Provisión, relleno y compactación con suelo seleccionado en 30 cm de espesor

Precio total de los trabajos: **\$ 750.000 + IVA**

Notas:

- El precio incluye provisión de equipos, mano de obra, materiales, seguros de equipos y del personal y elementos de seguridad según normas vigentes.
- El precio cotizado es aproximado de acuerdo a las pautas especificadas
- Validez de la oferta: 30 días. Luego consultar
- Forma de pago: Anticipo del 30% para acopio de materiales. Resto a convenir

Atentamente

ING. EDUARDO IBÁÑEZ
ANTONIO Y TERESA RUSSO S.C.

ANEXO XI – PRESUPUESTO POR TRABAJOS PROVEEDOR SORJA S.A.

RE: piletón algas- Tesis

Miércoles, 30 de marzo de 2016

13:46

Asunto	RE: piletón algas- Tesis
De	Ing. Fernanda Aseff - Sorja S.A.
Para	'Carla'
Enviado	miércoles, 30 de marzo de 2016 9:47

Carla, en el precio unitario de la construcción del muro, el 50% corresponde a mano de obra, el otro 50% corresponde a materiales y herramientas menores.

Saludos.

Fer

De: Carla [<mailto:zannolc@fibertel.com.ar>]

Enviado el: martes, 29 de marzo de 2016 11:49 a.m.

Para: 'Ing. Fernanda Aseff - Sorja S.A.'

Asunto: RV: piletón algas- Tesis

Buen día Maria Fernanda,

Mil gracias. Lo miro y te llamo

Saludos

011 47232762

011 15 6 020 5374

De: Ing. Fernanda Aseff - Sorja S.A. [<mailto:mfernanda.aseff@sorja.com.ar>]

Enviado el: martes, 29 de marzo de 2016 11:21

Para: 'Carla'

Asunto: RE: piletón algas- Tesis

Buen día Carla.

Te paso los precios unitarios de los trabajos a realizar para la construcción de los piletones. Yo consideré realizar los piletones de acuerdo a lo que se observa en la tercera foto del último mail que me mandaste. Allí se ve un piletón realizado con bloques de cemento tipo "CORCEBLOCK", no enterrado, sino que los 60 cm se cuentan desde el nivel de terreno terminado, y el piso del piletón es directamente el suelo compactado y perfilado (estos bloques miden 20 cm de ancho, 20 cm de alto y 40 cm de largo). Consideré que este muro se apoye sobre una viga de fundación de 20 cm de ancho x 30 cm de alto. Esta opción es más rápida y económica que la de hacer un tabique de hormigón armado. El tabique central de cada piletón tiene las mismas características que el perimetral. Luego habrá que realizar el revestimiento de paredes y piso con el manto de polietileno de alta densidad.

Entiendo que la secuencia de los trabajos a realizar, sería:

1. Desmote del horizonte vegetal, en un espesor promedio de entre 20 cm y 50 cm
2. Relleno con suelo seleccionado compactado de la excavación anterior. Si los niveles de proyecto son los del terreno actual, se considera que el espesor del relleno es igual al espesor del desmote. Si el proyecto indica que el nivel de proyecto debe ser superior al nivel del terreno actual, habrá que agregarle los espesores necesarios para alcanzar las cotas de proyecto.
3. Ejecución de los tabiques de bloques de cemento, con su correspondiente viga de fundación.
4. Revestimiento de paredes y piso con el manto de polietileno de alta densidad.

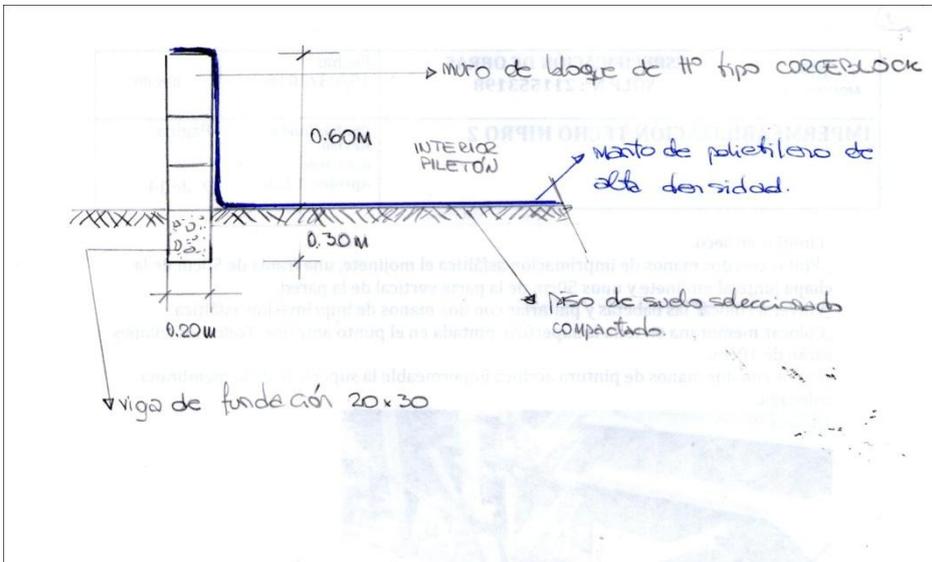
PRECIO UNITARIOS:

- | | |
|--|--------------------|
| 1. <u>DESMONTE:</u> | \$ 175/m3 + |
| IVA – incluye el retiro de la tierra extraída fuera del precio | |
| 2. <u>RELLENO CON SUELO SELCCIONADO COMPACTADO:</u> | \$ 270/m3 + IVA |
| 3. <u>TABIQUE DE BLOQUES DE CEMENTO:</u> | \$ 1.920/m2 + IVA |
| 4. <u>PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE MANTO DE POLIETILENO:</u> | U\$S 9,85/m2 + IVA |
| 5. <u>Compactación del fondo de la excavación:</u> | \$ 20/m2 + IVA |

Saludos.

Te adjunto un croquis esquemático de lo que consideré.
Cualquier consulta llámame

Saludos,
Ma. Fernanda



**ANEXO XII – COTIZACION PRESUPUESTO MEMBRANA –
POLIETILENO ALTA DENSIDAD – PROVEEDOR HUGO
CHINELLATO**

Hola Carla.

Te voy adelantando esto que me mandó el Sr. Hugo Chinellato, dueño de una empresa que provee e instala la manta de PVC que creo es lo que reviste los piletones.

Fíjate si es esto, como para empezar a armar el presupuesto.

Saludos,

Fernanda

De: HUGO CHINELLATO - GTM [mailto:hugo.chinellato@gtmsrl.com.ar]

Enviado el: lunes, 28 de marzo de 2016 02:22 p.m.

Para: 'Ing. Fernanda Aseff - Sorja S.A.'

Asunto: RE: piletón algas- Tesis

Hola Fernanda.

Si no entendí mal son aproximadamente 3.300 m2 de revestimiento, con solapado y desperdicios tendríamos 3.600 m2.

El polietileno alta densidad esp.1,5 mm colocado esta U\$S 9.85 más IVA el m2 colocado.

También en adjunto, te envié uno folletos con la características del material, controles y las condiciones que debería tener el piso de tierra para luego colocar la membrana.

Espero que esto sea de utilidad.

Cualquier consulta llámame, o a quien le haga falta una aclaración se contacte con migo.

Cel. 03476-15612217

Saludos

Hugo

**ANEXO XII – COTIZACION PRESUPUESTO MEMBRANA –
POLIETILENO ALTA DENSIDAD (Cont.)**



ESPECIFICACIONES POLIMANTA® LISA HDPE

La POLIMANTA® HDPE ENGEPOL es una geomembrana manufacturada con resinas de polietileno de alta densidad e elevado peso molecular. La POLIMANTA® HDPE fue desarrollada para aplicaciones en condiciones severas de sollicitación química y física: rellenos sanitarios, mineración e otras aplicaciones de almacenamiento de fluidos y residuos.

Propiedades	Métodos Ensayos	HDPE – Lisa					
		0,75 (30)	0,80 (32)	1,0 (40)	1,5 (60)	2,0 (80)	2,5 (100)
Espesor (prom. min.)	ASTM D 5199 mm (mil)	0,75 (30)	0,80 (32)	1,0 (40)	1,5 (60)	2,0 (80)	2,5 (100)
Densidad (min.)	ASTM D 792 g/cm ³		≥ 0,94	≥ 0,94	≥ 0,94	≥ 0,94	≥ 0,94
Propiedades de Tensión (prom. min.)	ASTM D 638 Tipo IV						
• Tensión Elástica	kN/m (lb/in)	11 (63)	12 (69)	15 (86)	22 (126)	29 (166)	37 (212)
• Tensión de Rotura	kN/m (lb/in)	20 (114)	22 (126)	27 (155)	40 (229)	53 (303)	67 (383)
• Alargamiento Elástico	%	12	12	12	12	12	12
• Alargamiento en la Rotura	%	700	700	700	700	700	700
Resistencia al Rasgado (prom. min.)	ASTM D 1004 N (lb)	93 (21)	100 (22)	125 (28)	187 (42)	249 (56)	311 (70)
Resistencia a la Perforación (prom. min.)	ASTM D 4833 N (lb)	240 (54)	256 (57)	320 (72)	480 (108)	640 (144)	800 (180)
Contenido de Negro de Humo	ASTM D 1603 (%)	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
Dispersión del Negro de Humo	ASTM D 5596	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota	Nota

- Notas: 1. Dispersión del Negro de Humo para 10 diferentes testigos: 9 testigos en las Categorías 1 o 2 y 1 en la Categoría 3.
2. Los datos contenidos en esta tabla pueden ser cambiados sin previo aviso.

DIMENSIONES DE LOS ROLLOS PARA TRANSPORTE POR CAMIÓN

Espesor		Ancho m	Largo m	Área m ²	Peso del Rollo Kg
mm	mil				
0,75	30	5,90	100	590	440
0,80	32	5,90	100	590	468
1,0	40	5,90	100	590	579
1,50	60	5,90	50	295	440
2,0	80	5,90	50	295	579
2,50	100	5,90	50	295	718

Nota: Engepol fabrica cualquier espesor entre 0,5 y 6,0 mm, bajo consulta.

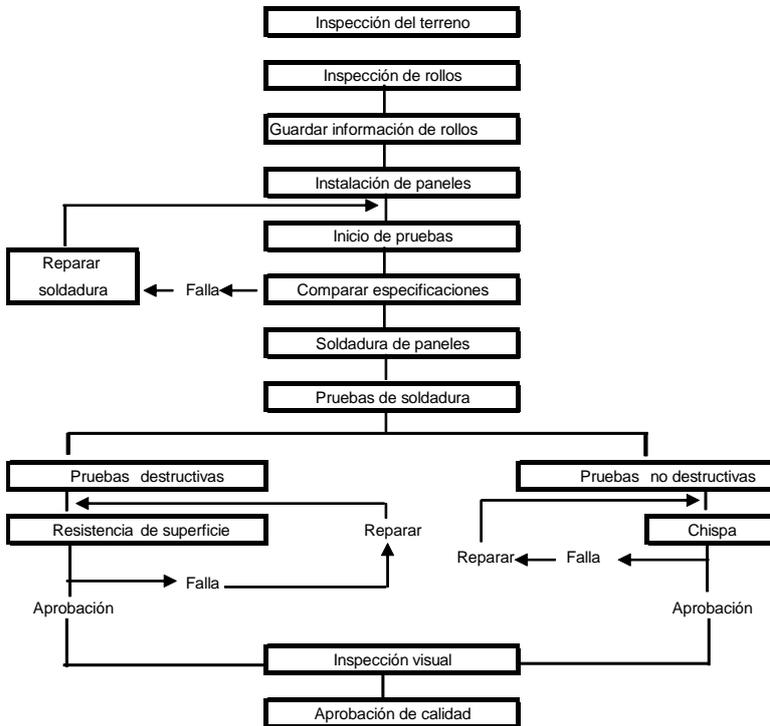
ANEXO XII – COTIZACION PRESUPUESTO MEMBRANA – POLIETILENO ALTA DENSIDAD (Cont.)

DIMENSIONES DE LOS ROLLOS PARA TRANSPORTE POR CONTENEDOR

Espesor		Ancho m	Largo m	Área m ²	Peso del Rollo kg	Peso/ Contenedor 20' kg	m ² / Contenedor 20'	Nr. rollos/ Contenedor 20'
mm	mil							
0,75	30	5,80	175	1.015	740	18.500	25.375	25
0,80	32	5,80	165	957	745	18.625	23.925	25
1,0	40	5,80	140	812	788	19.700	20.300	25
1,50	60	5,80	90	522	761	19.025	13.050	25
2,0	80	5,80	70	406	788	19.700	10.150	25
2,50	100	5,80	55	319	774	19.350	7.975	25

Nota: Engepol fabrica cualquier espesor entre 0,5 y 6,0 mm, bajo consulta.

DIAGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD



ANEXO XIII – COTIZACION PRESUPUESTO SISTEMA DE MEZCLADO – PADDLEWHEELS PROVEEDOR M&V MIXING S.A.



Empresa: **Zannol**
At.: Carla Zannol
E-mail: zannolc@fibertel.com.ar
Tel: 1560205374
Referencia N°: 10809

13 de Abril de 2016

De n/consideración:
Atentos a vuestra solicitud, adjuntamos la siguiente cotización.

• **Tanque de 500 L:**

Agitador de 4 palas de 250 x 200 mm, Ø= 600 mm y 30 RPM

Motor de 0.33 HP

Motorreductor SEW R27DRS71S4.....USD 1.636 + IVA

• **Tanque de 5.000 L:**

Agitador de 4 palas de 250 x 650 mm, Ø= 600 mm y 30 RPM

Motor de 0.33 HP

Motorreductor SEW R27DRS71S4 USD 2.038 + IVA

• **Tanque de 50.000 L:**

Agitador de 4 palas de 250 x 2400 mm, Ø= 600 mm y 30 RPM

Motor de 1 HP

Motorreductor SEW R47DRS80S4 USD 4.156 + IVA

• **Tanque de 500.000 L:**

Agitador de 4 palas de 250 x 6500 mm, Ø= 600 mm y 30 RPM



CONOZCA NUESTROS SERVICIOS:
WWW.MYV-MIXING.COM.AR
Nazca 1260 (B1754FRF) San Justo
Buenos Aires - Argentina
T: (54-11) 4482-1170 / 1440
E: info@myv-mixing.com.ar
E: ventas@myv-mixing.com.ar
www.myv-mixing.com.ar

ANEXO XIII – COTIZACION PRESUPUESTO SISTEMA DE MEZCLADO – PADDLEWHEELS PROVEEDOR M&V MIXING S.A. (Cont.)



Motor de 2.5 HP

Motorreductor SEW R77DRS90L4..... USD 8.548 + IVA

Precios unitarios y netos en dólares, no incluyen IVA.

Condiciones de pago: cincuenta por ciento (50%) en concepto de anticipo con la Orden de Compra; saldo contra entrega y previo al despacho.

Plazo de entrega: 60-120 ds; los plazos serán contados a partir de recibida la Orden de Compra, acreditado el correspondiente anticipo.

Lugar y forma de entrega: sobre camión en planta MyV; flete y seguro a cargo del comprador; no incluye embalaje ni instalación.

Validez de la oferta: 5 días corridos a partir de la fecha de emisión.

Solo se dará curso a pedidos realizados mediante documentación fehaciente como ser Órdenes de Compra ó en su defecto fax con copia conformada de la presente cotización.

La factura será emitida en pesos al tipo de cambio vendedor del BNA de la fecha correspondiente a la emisión.

Carla, discúlpame, me fato decirte que la cotización hecha incluye acople, eje, paletas portarodamientos con placa para fijar al piso y cajón tipo capucha para motor reductor, que sirve para protegerlo de la lluvia. De todas formas el motor reductor tiene una protección IP 54, que garantiza protección contra salpicaduras de agua desde cualquier dirección.

Sin embargo, no incluye montaje.

Te adjunto los manuales de los motores reductores también.



MATEOS GABRIEL

DTO. INGENIERÍA

Nazca 1260 (B1754FRF) San Justo

Buenos Aires - Argentina

T: (54-11) 4482-1170 / 1440

E: gmateos@myv-mixing.com.ar

www.myv-mixing.com.ar

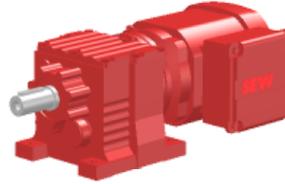
ANEXO XIII – COTIZACION PRESUPUESTO SISTEMA DE MEZCLADO – PADDLEWHEELS PROVEEDOR M&V MIXING S.A.
(Cont.)

Información del producto



Motorreductor AC

R27DRS71S4



Velocidad nominal del motor	[1/min] : 1380
Velocidad de salida	[1/min] : 31
Índice de reducción total	: 44,90
Par de salida	[Nm] : 115
Factor de servicio SEW-FB	: 1,15
Posición de montaje	: M1
Pintura imprimación	: 7031 Gris azul (20070310)
Posición de conexión/caja de bombas	[°] : 0
Entrada de cable/ Posición del conector	: X
Eje de salida	[mm] : 25x50
Salida permitida con carga radial n=1400	[N] : 3620
Cantidad de lubricante 1er reductor	[Litro] : 0,25
Potencia del motor	[kW] : 0,37
Factor de duración	: S1-100%
Clase eficiente	: IE1
Eficiencia (50/75/100% Pn)	[%] : 59,1 / 65,3 / 66,6
Marcado CE	: Si
Tensión del motor	[V] : 230/400
Esquema de conexionado	: R13
Frecuencia	[Hz] : 50
Corriente nominal	[A] : 1,98 / 1,14
Cos Phi	: 0,70
Clase de aislamiento	: 130(B)
Tipo protección del motor	: IP54
Requisito del diseño	: IEC
Peso neto	[Kg] : 12

Los datos técnicos están sujetos a una inspección técnica final.
Esta inspección se realizará con oferta creada.
Puede encontrar el peso neto exacto en la confirmación del pedido. Por razones técnicas, el peso real puede diferir de esta información.
Creado en: 2016-04-13 14:42:11 / Gabriel Mateos / MyV Mixing
DC Version 2.19 SP1

ANEXO XIII – COTIZACION PRESUPUESTO SISTEMA DE MEZCLADO – PADDLEWHEELS PROVEEDOR M&V MIXING S.A. (Cont.)

Información del producto



Motorreductor AC

R77DRE100M4



Velocidad nominal del motor	[1/min] : 1425
Velocidad de salida	[1/min] : 31
Índice de reducción total	: 45,81
Par de salida	[Nm] : 675
Factor de servicio SEW-FB	: 1,20
Posición de montaje	: M1
Pintura imprimación	: 7031 Gris azul (20070310)
Posición de conexión/caja de bornas	[°] : 0
Entrada de cable/ Posición del conector	: X
Eje de salida	[mm] : 40x80
Salida permitida con carga radial n=1400	[N] : 11100
Cantidad de lubricante 1er reductor	[Litro] : 1,2
Potencia del motor	[kW] : 2,2
Factor de duración	: S1-100%
Clase eficiente	: IE2
Eficiencia (50/75/100% Pn)	[%] : 86,3 / 86,7 / 85,4
Marcado CE	: Si
Tensión del motor	[V] : 230/400
Esquema de conexionado	: R13
Frecuencia	[Hz] : 50
Corriente nominal	[A] : 8 / 4,6
Cos Phi	: 0,80
Clase de aislamiento	: 130(B)
Tipo protección del motor	: IP54
Requisito del diseño	: IEC
Peso neto	[Kg] : 59

Los datos técnicos están sujetos a una inspección técnica final.
Esta inspección se realizará con oferta creada.
Puede encontrar el peso neto exacto en la confirmación del pedido. Por razones técnicas, el peso real puede diferir de esta información.
Creado en: 2016-04-13 15:02:38 / Gabriel Mateos / MyV Mixing
DC Version 2.19 SP1

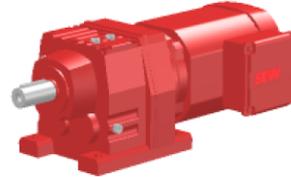
ANEXO XIII – COTIZACION PRESUPUESTO SISTEMA DE MEZCLADO – PADDLEWHEELS PROVEEDOR M&V MIXING S.A.
(Cont.)

Información del producto

SEW
EURODRIVE

Motorreductor AC

R47DRE80M4



Velocidad nominal del motor	[1/min] : 1435
Velocidad de salida	[1/min] : 30
Índice de reducción total	: 47,75
Par de salida	[Nm] : 240
Factor de servicio SEW-FB	: 1,25
Posición de montaje	: M1
Pintura imprimación	: 7031 Gris azul (20070310)
Posición de conexión/caja de bornas	[°] : 0
Entrada de cable/ Posición del conector	: X
Eje de salida	[mm] : 30x60
Salida permitida con carga radial n=1400	[N] : 5320
Cantidad de lubricante 1er reductor	[Litro] : 0,7
Potencia del motor	[kW] : 0,75
Factor de duración	: S1-100%
Clase eficiente	: IE2
Eficiencia (50/75/100% Pn)	[%] : 79,2 / 81,3 / 81
Marcado CE	: Si
Tensión del motor	[V] : 230/400
Esquema de conexionado	: R13
Frecuencia	[Hz] : 50
Corriente nominal	[A] : 2,9 / 1,68
Cos Phi	: 0,79
Clase de aislamiento	: 130(B)
Tipo protección del motor	: IP54
Requisito del diseño	: IEC
Peso neto	[Kg] : 28

Los datos técnicos están sujetos a una inspección técnica final.
Esta inspección se realizará con oferta creada.
Puede encontrar el peso neto exacto en la confirmación del pedido. Por razones técnicas, el peso real puede diferir de esta información.
Creado en: 2016-04-13 15:00:37 / Gabriel Mateos / MyV Mixing
DC Version 2.19 SP1

ANEXO XIV – COTIZACION COSTO COMPRA CO₂ – PROVEEDOR PRAXAIR S.A.

Asunto	EQUIPOS CO2
De	Hugo_Marengo@praxair.com
Para	zannolc@fibertel.com.ar
CC	Gonzalo_Bertaina@praxair.com;Adrian_Aguilera@praxair.com
Enviado	Lunes, 02 de mayo de 2016 10:30
Datos adjuntos	 BaseTkTM20 00

Hola Carla

Según lo conversado paso datos de referencia; los datos adjuntos no constituyen una cotización ni un diseño definitivo, deben ser tomados como referencia para el estudio que se esta llevando adelante:

Precio (Producto+Flete+Mantenimiento Equipos) \$ 7,60 /kg CO2

Alquiler equipo (TK+vaporizador+cuadro control+tablero+bomba recirculación) \$/mes 4.000.=

Base requerida para instalación TK

Nos mantenemos en contacto en función de los avances del proyecto.
Sds

Ing Hugo Marengo
Especialista en Q & P y Medio Ambiente
Gerente de Desarrollo de Nuevos Negocios
Cel:0341-15-389-4705
TE: 0341-4921-591 / 592 int 857

Este email y sus archivos son confidenciales y/o privados y/o propiedad de Praxair. Solo puede ser utilizado por la persona a que es/son dirigidos. Su copiado o reexpedición esta estrictamente prohibido.

ANEXO XV – COTIZACION SECADOR SPRAY – PROVEEDOR DUBER S.A.

 DUBER	PRESUPUESTO	N° 16095
--	--------------------	----------

OFERTA COMERCIAL:	Secador Spray
Solicitado por:	Srta. Carla Zannol
Producido por:	Ing. Esteban Kluba
Fecha:	27/04/2016
Oferta Numero:	16095

Buenos Aires, 27 de Abril de 2016

Atención:

Srta. Carla Zannol

zannolc@fibertel.com.ar

ARAYA S.A.

De nuestra mayor consideración:

De acuerdo con vuestra solicitud, nos es grato dirigirnos a usted a los efectos de hacerle llegar nuestra oferta por la provisión de Secador Spray para secado de barro en vuestro proyecto de microalgas para producir Biodiesel.

Descripción:

Equipo para secado por atomización (Secado Spray) de 35 Kg/h de evaporación. El mismo realizará el secado de 249 Kg/día de barro al 30% en un todo de acuerdo a los datos brindados por ustedes.

Será construido en su totalidad en acero inoxidable calidad AISI 304. Su alimentación será mediante bomba de desplazamiento positiva, comandada por un variador de frecuencia, lo que permitirá mantener en forma automática la temperatura deseada de secado por medio de un controlador electrónico P+I+D.

Contará con ciclón separador de alta eficiencia y desarmable para efectuar limpiezas internas del equipo.

Su atomizador de alta velocidad (variable por medio de variador de frecuencia) será refrigerado por camisa de agua y lubricado por bomba de aceite exterior.

Se contempla la provisión de lavador tipo Venturi para los gases de salida del ciclón (evitando la contaminación ambiental con polvos), Tanque de agua de recirculación del lavador de gases, Bomba centrífuga para la recirculación del agua de lavado, Escalera, Plataformas y Rodapié para acceder a los lugares de inspección y de trabajo.

1

Gral. Lavalle 1995/99, Llavallol (1836), Pcia. de Buenos Aires - Argentina – Tel (54 11) 4231-0698
e mail: info@dubergenieria.com.ar - www.dubergenieria.com

ANEXO XV – COTIZACION SECADOR SPRAY (Cont.)

 DUBER	PRESUPUESTO	N° 16095
--	--------------------	----------

Características técnicas:

- *Temperatura Aire de Entrada: 240°C*
- *Temperatura Aire de Salida: 90°C*
- *Evaporación de Agua: 35 lts/hr.*
- *Contacto directo entre los gases de combustión y el aire, con el producto.*
- *Quemador automático de gas natural con controlador electrónico.*
- *Alimentación por bomba de desplazamiento positiva.*
- *Martillos a electroimanes, comandados por tiempo, para permitir la descarga del polvo desde la cámara.*
- *Válvula rotativa de acero inoxidable para efectuar la descarga del producto desde el ciclón.*
- *Atomizador de alta velocidad, refrigerado por camisa de agua y lubricado por bomba de aceite exterior.*
- *Tablero eléctrico para la operación centralizada del equipo.*
- *Escalera, plataformas y rodapié para acceder a los lugares de inspección y de trabajo.*
- *Ventilador centrífugo de alta eficiencia.*
- *Lavador tipo Venturi de los gases de salida del ciclón, para evitar contaminación ambiental con polvos.*
- *Tanque de agua de recirculación del lavador de gases.*
- *Bomba centrífuga para la recirculación del agua de lavado.*
- *Chimenea para la salida de los gases al exterior del edificio.*

ANEXO XV – COTIZACION SECADOR SPRAY (Cont.)

 DUBER	PRESUPUESTO	N° 16095
--	--------------------	----------



Aclaración: El equipo presupuestado puede presentar diferencias con el observado en esta imagen.

DUBER Ingeniería brinda equipos construidos en un todo de acuerdo a las normas y buenas prácticas. Todos nuestros equipos son entregados junto a su DataBook.

ANEXO XV – COTIZACION SECADOR SPRAY (Cont.)

	PRESUPUESTO	N° 16095
---	--------------------	----------

Valor del Equipo:U\$S 92.000 + IVA (noventa y dos mil con 00/100 dólares americanos más IVA)

Precios expresados en U\$S. Cambio tipo vendedor Banco de la Nación Argentina al día anterior al pago de la obligación.

No se incluye:

Obras civiles necesarias e instalaciones auxiliares que puedan ser necesarias.
Flete desde taller DUBER Ingeniería hasta vuestro establecimiento, seguro.
Equipos para descarga y ubicación.
IVA 21%

ENTREGA: Sobre camión en nuestro taller.

FORMA DE PAGO: 30% anticipo, certificaciones por avance de trabajo.

PLAZO DE ENTREGA: 120 días.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 7 días.

Sin otro particular y quedando a la espera de una respuesta favorable a nuestra cotización, lo saluda muy atentamente,

Ing. Esteban Kluba

DUBER Ingeniería

Gral. Lavalle 1995/99, Llavallol (1836),
Pcia. de Buenos Aires - Argentina – Tel (54 11) 4231-0698
e mail: info@duberingeneria.com.ar - www.duberingeneria.com

**ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L.**



Fábrica de Aparatos de Vidrio para Laboratorio, Medicina, Investigación e Industria

COTIZACION MATERIALES	N°: M0105/2016	Fecha: 04/05/2016
-----------------------	----------------	-------------------

Empresa:	YPF Tecnología
E-mail:	zannolc@fibertel.com.ar

De mi mayor consideración:

Por medio de la presente, me dirijo a Ud. a los efectos de cotizar el siguiente material:

Cant	Descripción	Unitario	Total
1	Equipo Extractor Soxhlet, antiexplosivo, con canasto de acero inoxidable, para un volumen de 100 litros (no 100kg).	\$890.000.-	\$890.000.-
1	Columna de Destilación Fraccionada, con velas calefactoras de cuarzo (según dibujo).	\$910.000.-	\$910.000.-
1	Columna de Destilación Fraccionada, antiexplosiva.	\$1.195.000.-	\$1.195.000.-

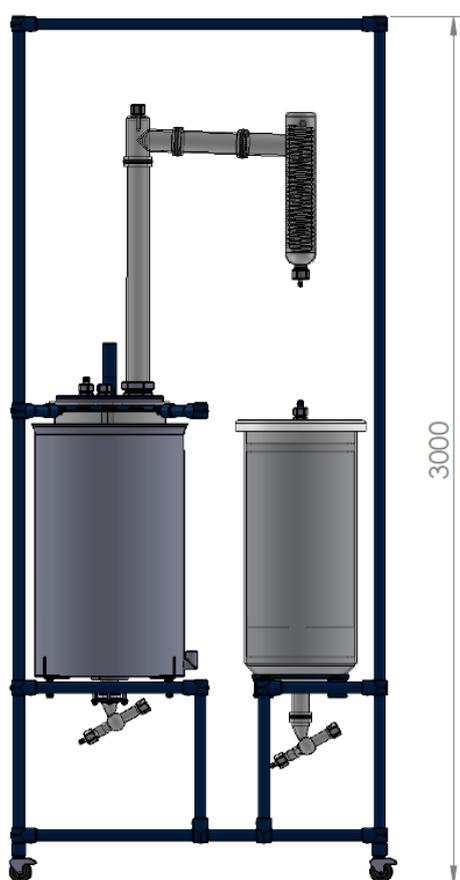
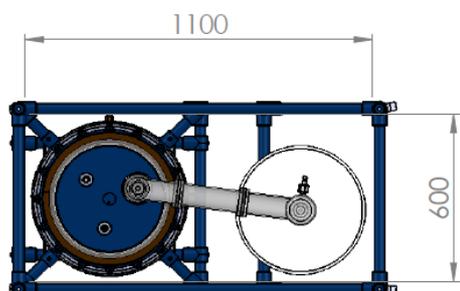
Plazo de Entrega:	Dentro de los 60 días de recibida la OC
Mantenimiento de oferta:	30 días
IVA:	No incluido (alícuota 10,5%)
Forma de Pago:	Contado

- Origen del producto: Los equipos son de industria Argentina, fabricado íntegramente por FIGMAY S.R.L. por lo tanto todos sus repuestos se encuentran en STOCK.
- Lo invito a visitar nuestra página Web www.figmay.com.ar donde podrá encontrar mayor información técnica de nuestros equipos.

Sin otro particular, quedando a su disposición, le saludo atte.

Cra. Desirée Mayer

ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L. (Cont.)

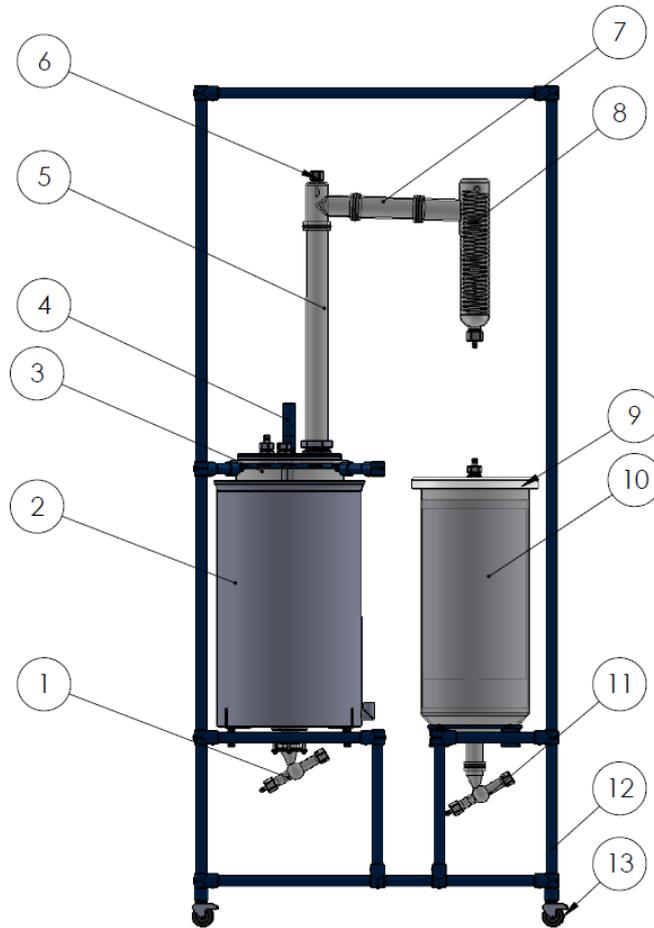


FIGMAY S.R.L.

Pieza: Extractor Soxhlet 100l

Escala 1:50

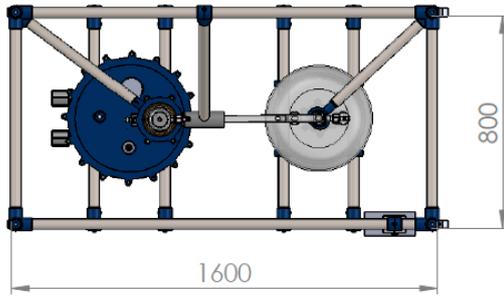
**ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L. (Cont.)**



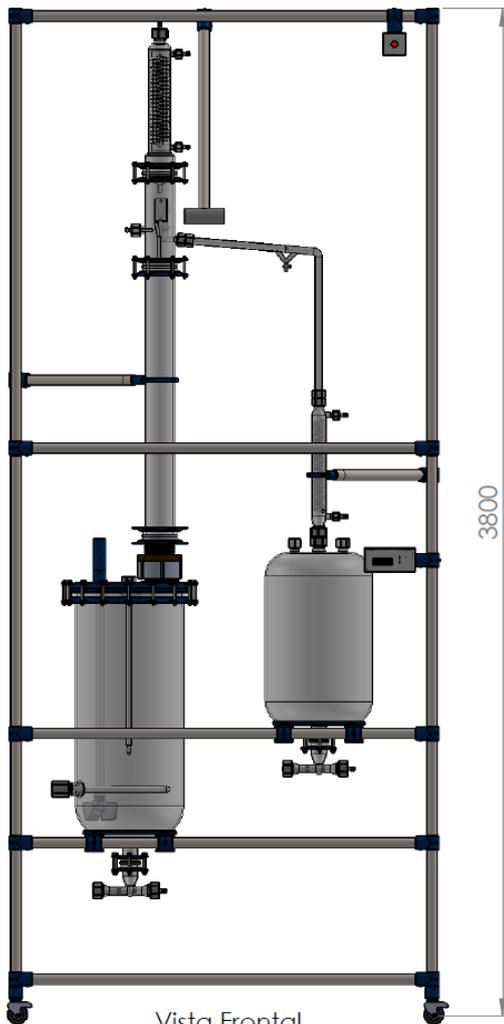
Nº	Detalle
1	Válvula de descarga
2	Baño Termostático
3	Vaso Reactor de 100 litros, de vidrio borosilicato 3.3
4	Motor Agitador Neumático
5	Columna de 800mm
6	Deo frío con Sonda de temperatura PT100
7	Puente de vidrio
8	Condensador
9	Vaso Colector de 100 litros, de vidrio borosilicato 3.3
10	Canasto de acero inoxidable
11	Válvula de descarga
12	Estructura autoportante de aluminio pintada en epoxi
13	Ruedas con frenos

FIGMAY S.R.L.	
Pieza: Extractor Soxhlet 100l	
Escala 1:50	

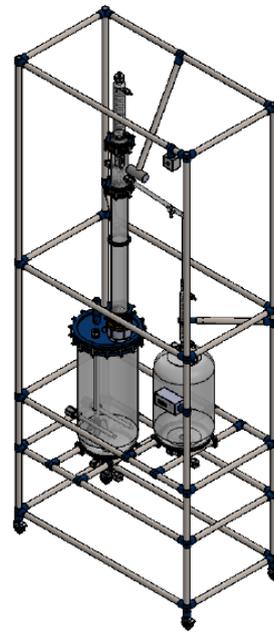
**ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L. (Cont.)**



Vista Superior



Vista Frontal



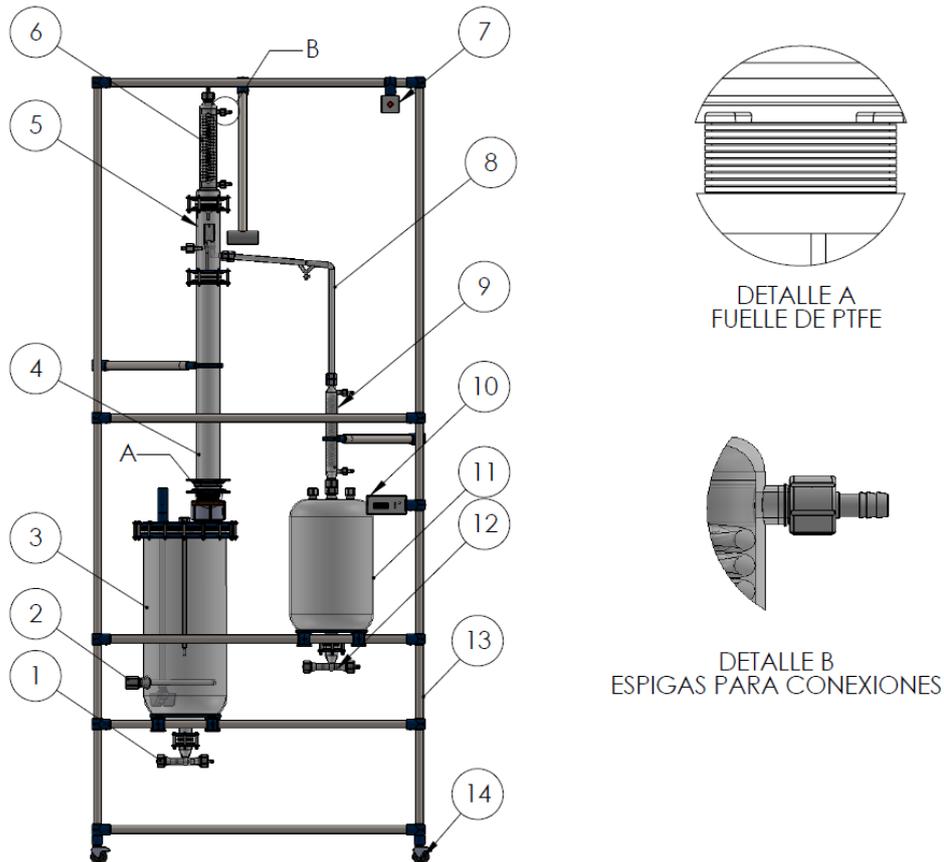
Perspectiva

FIGMAY S.R.L.

Pieza: Columna de Destilación

Escala 1:20

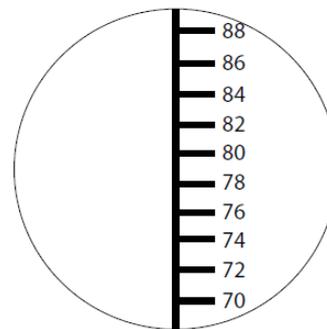
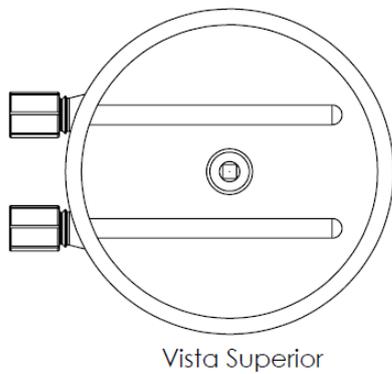
**ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L. (Cont.)**



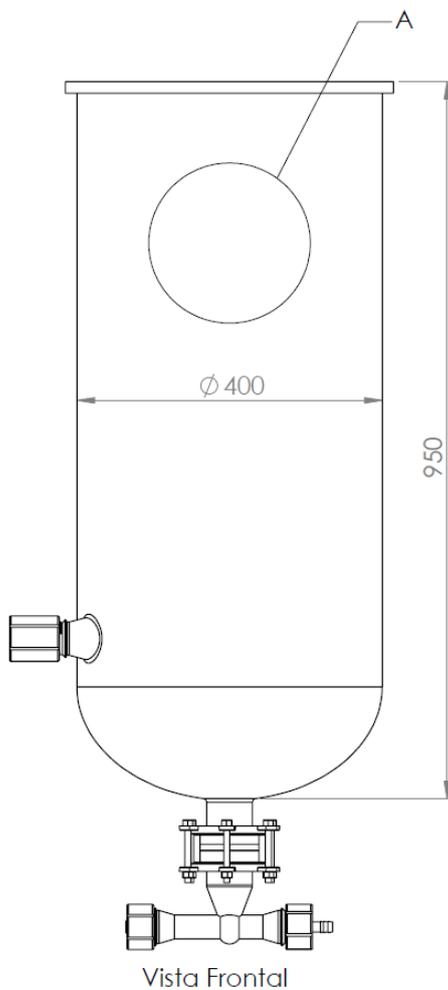
Nº	Detalle
1	Válvula de Descarga en Vaso Reactor - Vidrio Borosilicato - PTFE
2	Velas Calefactoras de Cuarzo
3	Vaso Reactor de 100 litros - Graduado - Vidrio Borosilicato
4	Columna rellena de Anillos de Raschig, Alto 1000mm -Vidrio Borosilicato
5	Separador de reflujo con Electroimán
6	Condensador macro con toma de vacío - Vidrio Borosilicato
7	Alarma sonora-luminosa de nivel
8	Puente con trampa de líquido y toma de muestras
9	Condensador en bajada - Vidrio Borosilicato
10	Tablero electrónico de comando
11	Vaso Colector de 70 litros - Graduado - Vidrio Borosilicato
12	Válvula de Descarga en Vaso Colector - Vidrio Borosilicat - PTFE
13	Estructura de acero inoxidable - Nudos de aluminio pintados en Epoxi
14	Ruedas con freno

FIGMAY S.R.L.	
Pieza: Detalles	
Escala 1:20	

ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L. (Cont.)

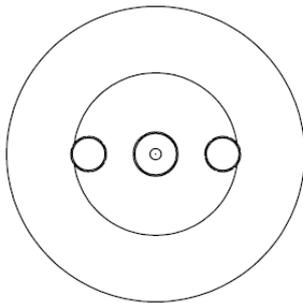


DETALLE A - VASO GRADUADO
(ILUSTRATIVO)

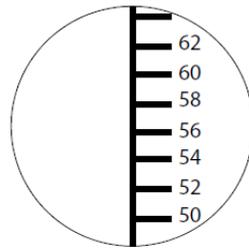


FIGMAY S.R.L.	
Pieza: VRX-100-SBfCV -100 litros	
Escala 1:10	

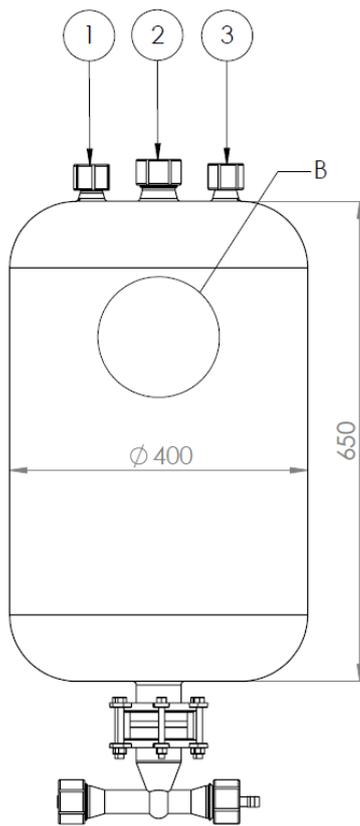
ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
FIGMAY S.R.L. (Cont.)



Vista Superior



DETALLE B - VASO GRADUADO
(ILUSTRATIVO)



Vista Frontal

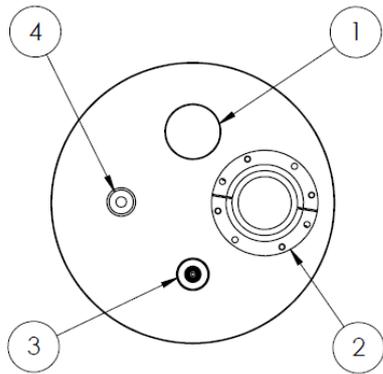
Nº	Detalles
1	Boca de alivio de presión
2	Boca con centrador de gota
3	Toma de vacío

FIGMAY S.R.L.

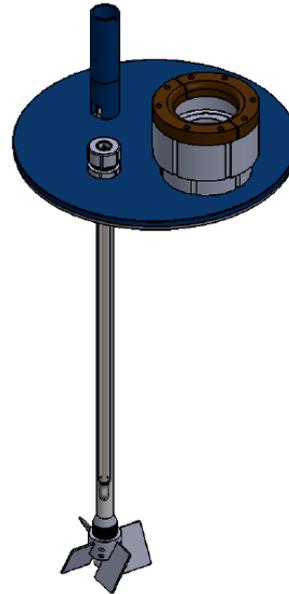
Pieza: VRX-70-SBfCV - 70 litros

Escala 1:10

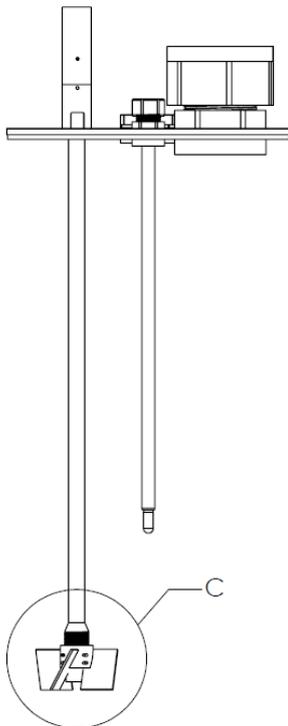
ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR FIGMAY S.R.L. (Cont.)



Vista Superior

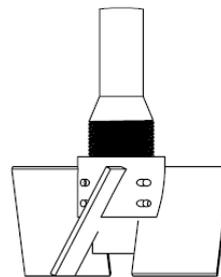


Perspectiva



Vista Frontal

Nº	Detalle
1	Boca de Carga Diámetro 60mm
2	Salida a Columna
3	Dedo frío con sonda de temperatura PT100
4	Sistema de Agitación Eléctrico



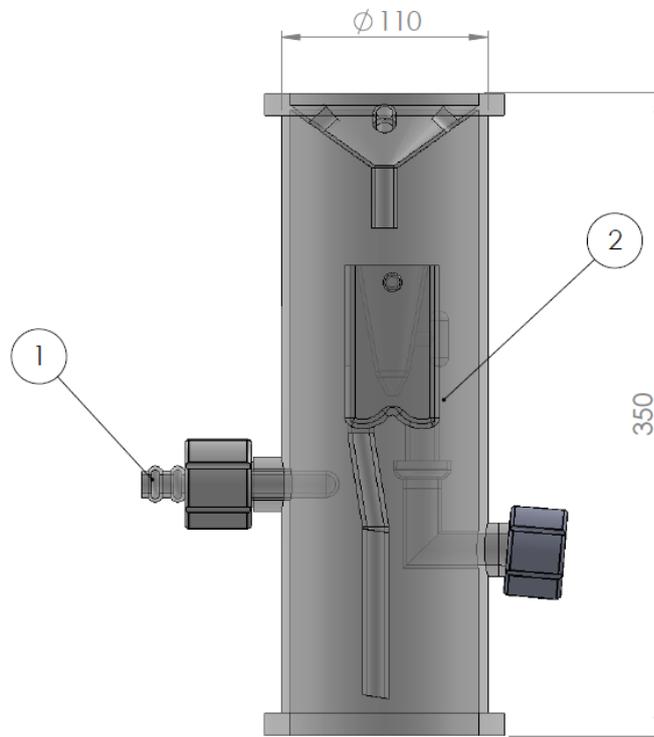
DETALLE C
PALETA DE ALTA EFECTIVIDAD

FIGMAY S.R.L.

Pieza: Detalles Tapa

Escala 1:10

ANEXO XVI – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR FIGMAY S.R.L. (Cont.)



Vista Frontal

N° Detalles	
1	Dedo frío con sonda de temperatura PT100
2	Selector

FIGMAY S.R.L.	
Pieza: Separador de Reflujo	
Escala 1:5	

ANEXO XVII – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR SHANGHAI BETTER INDUSTRY CO., LTD.

On-time shipment & order quality
100% of Assurance Amount refundable
Supplier performance feedback



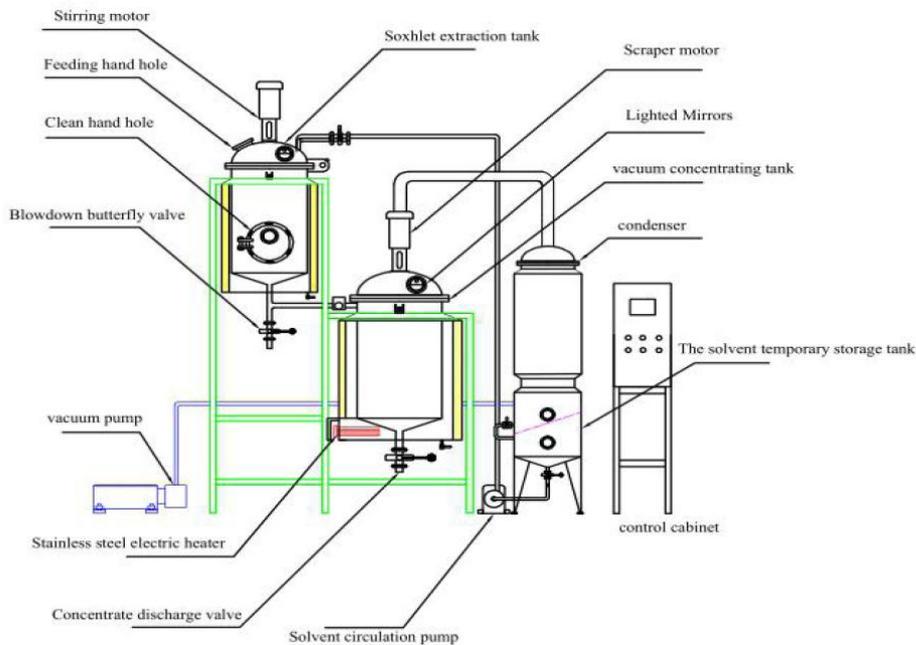
SHANGHAI BETTER INDUSTRY CO., LTD



US \$5,1000
Trade Assurance

Quotation of soxhlet extraction unit

 Shanghai Better Industry Co. Ltd						
Tell: +86 021 60518061				Mobile phone:+86 15900582625 (whatsapp)		
Email: bonnie@better-industry.com				Contact: Yalinda		
Payment terms: T/T				Warranty: 12 months		
Valid of price: one month				Delivery time:30 working days		
Product	Model	Unit	Qty	Capacity	Unit Price (USD)	Note
Soxhlet extraction machine	HST-100S	set	1	100L	USD23,300.00	FOB Shanghai



100L Soxhlet extraction machine(electricity heating type)

ANEXO XVII – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR SHANGHAI BETTER INDUSTRY CO., LTD. (Cont.)



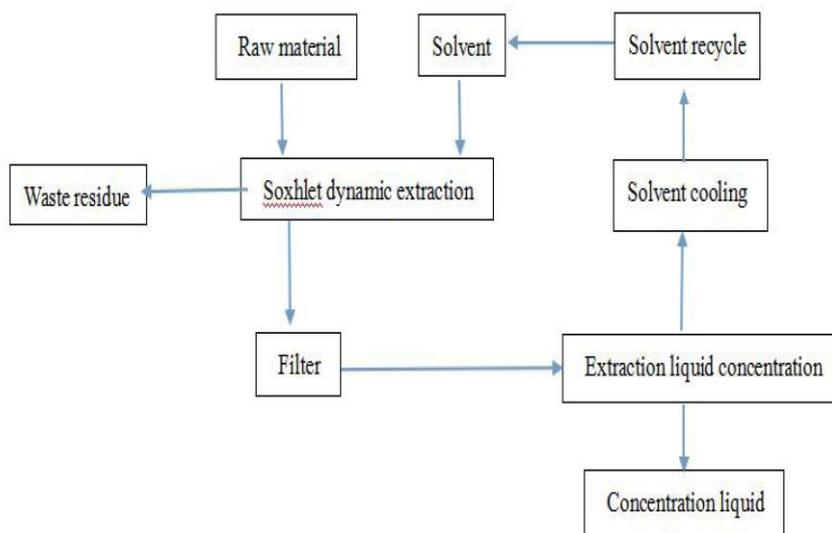
➤ Introduction

This machine is classical extraction type ,it uses solvent reflux and siphon principle to let the material to be extracted by the pure solvent each time to get the high extraction rate.This is the ideal equipment for colleges and universities, research institutes,research and development departments and laboratories of enterprises and institutions,and many varieties,small batch production of pharmaceutical plant.

➤ Features

- ❖ High efficiency and High conversion rate
- ❖ Vacuum concentration can effectively reduce the loss of heat-sensitive active ingredients.
- ❖ Material contacting parts are all made of stainless steel and able to work under negative pressure, normal pressure,positive pressure state.
- ❖ Compact structure,manufacturing operations comply with GMP standards.
- ❖ Can be adapted to water extraction, alcohol extraction or solvent extraction
- ❖ No need heating for doing extraction process.

➤ Working process



ANEXO XVII – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR SHANGHAI BETTER INDUSTRY CO., LTD. (Cont.)



➤ **Equipment parameters**

100L soxhlet extraction machine specification		
No.	Item	Data
1	Model	HST-100S
2	Soxhlet extraction	Normal pressure
3	Concentration heating power	18kw
4	Heating type	Electricity heating or steam heating
5	Volume of soxhlet extraction tank	100L
6	Concentration tank	100L
7	vacuum pump	3kw
8	Interlayer pressure	0.3 MPa
9	Heating area	0.85 m ²
10	Condensing area of condenser	0.95 m ²
11	Vacuum degree	-0.05 ~ -0.08Mpa
12	Material	SUS304
13	Control part	Digital control
14	Dimension	2800* 800 * 2850mm
15	Centrifugal pump	Do cleaning,0.55kw
16	Filter	Duplex filter
Price:USD23,300 .00 FOB Shanghai		

ANEXO XVII – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR SHANGHAI BETTER INDUSTRY CO., LTD. (Cont.)



➤ Trade terms

Payment Term:

If the total amount below \$5000, it should be 100% prepayment.

If the total amount above \$5000, it should be 50% prepayment; the balance paid before loading.

Delivery Time:

30 working days after prepayment received

Quality guarantee:

One year after shipment excluding the wearing and tearing parts.

Validity of the quotation:

This quotation is valid for one month

Installation :

Machines will be assembled and tested before packing and English manual will be also provided. Engineer can go to install machines and train workers if customer required. USD100 per person per day, food, accommodation and air-ticket will be on clients.

**ANEXO XVII – COTIZACION EQUIPO SOXHLET PROVEEDOR
SHANGHAI BETTER INDUSTRY CO., LTD. (Cont.)**

Re: Soxhlet Solvent Extraction Machine

Miércoles, 22 de junio de 2016

10:28

Asunto	Re: Soxhlet Solvent Extraction Machine
De	Better Industry--Yalinda Zhang
Para	carla
Enviado	miércoles, 11 de mayo de 2016 0:18
Datos adjuntos	

Dear Carla:

Thanks so much for your fast reply.

Pls find our quotation of solvent extraction machine and soxhlet extraction machine in the attachment.

Hope it can help you know our machine better. The shipping cost from Shanghai to Rosario, Santa Fe is USD 860 and it takes about 48 days to arrive.

If you have any other questions, contact us freely.

Have a nice day.

Yolinda

Shanghai Better Industry
Makes Everything Better

No.19, Wuning Road, Putuo District, Shanghai, China 200042
T: +86 021 60518061 | P: +86 15900582625(whatsapp) | W: www.better-industry.com |
E: bonnie@better-industry.com

**ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO –
PROVEEDOR EG Ingeniería S.A.**

De: Ing. Eduardo Gropelli [mailto:info@eg-ingenieria.com.ar]
Enviado el: miércoles, 20 de abril de 2016 11:23
Para: 'Carla'
Asunto: RE: Presupuesto Biodigestor 36 m3

Estimada Carla
Respondo abajo.

Envío una descripción del Diseño del Biodigestor.

Cordialmente.
EG

De: Carla [mailto:zannolc@fibertel.com.ar]
Enviado el: martes, 19 de abril de 2016 05:54 p.m.
Para: info@eg-ingenieria.com.ar
Asunto: Presupuesto Biodigestor 36 m3

Buenas tardes Ing. Gropelli,

Tras nuestra conversación al mediodía, necesitaría que me confirme a grandes rasgos lo que le detallo aquí abajo. Si es posible para usted agregar alguna información adicional, o modificar lo que crea conveniente, será bienvenido. Necesitamos presupuestar el biodigestor de acuerdo a los datos de aquí abajo:

**ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO –
PROVEEDOR EG Ingeniería S.A. (Cont.)**

Datos	Diaria	Anual
Cosecha (20gs/m2/dia)	67	24.333 kg
Cantidad Biomasa Algal sin lipidos (BMA) (kg)	50	18.240 kg
Composicion N (10%)		2.433 kg
Composicion P (1%)		243 kg
Recuperacion nutrientes (N) (100%)		2.433 kg
Recuperacion nutrientes (P) (100%)		243 kg
Volumen Biodigestor		
% optimo de solidos recomendada	8%	
Solidos diarios (kg.)	50	
Litros diarios	625	
Tiempo de retencion hidraulico	45	
Coefficiente camara gas	1,25	
Volumen del Digestor 1 kilo - 1 litro		35.137 litros
Generacion CH4 (485 L * 0,7 kg SV) (litros)		12.637.714
Generacion CH4 m ³		12.638
		34,62387476

Los elementos que integran el costo del biodigestor son:

- Biodigestor de 40 m3 en hormigón y Mampostería
- Gasómetro de 2 m3 con Tanque de Polietileno por Roto moldeo
- Limpieza de Terreno
- Excavación
- Mano de obra
- Tapa de colector que conecta biogas de acero al carbono pintada con epoxi
- Sistema de agitación manual con paletas de acero inoxidable
- Válvulas: se instalan como mínimo 2 válvulas. La primera Inmediatamente después de la cubierta de gas y la segunda antes de donde va a ser utilizado el gas.
- Cañerías de ingreso y salida.
- Trampas de ácido sulfhídrico: Debe ser totalmente hermético para evitar fugas de gas
- Trampas de llama: la trampa de ácido sulfhídrico actúa también como trampa de llama
- Trampas de agua. Incorpora un drenaje automático para evacuar el agua que se condensa en la tubería.

Total aproximado USD 12.000 + IVA

Preguntas:

1. Requiere de alguna bomba? - Bomba Sumergible para Reciclo (1HP) desde Cámara de Salida Final hacia la Cámara de Carga
2. Que elementos adicionales necesitaría para su instalación? -
3. Que elementos adicionales necesitaría para su implementación? - Curso de capacitación (16 Hs de Curso) sobre Manejo del Biodigestor para el Personal a Cargo de la Instalación

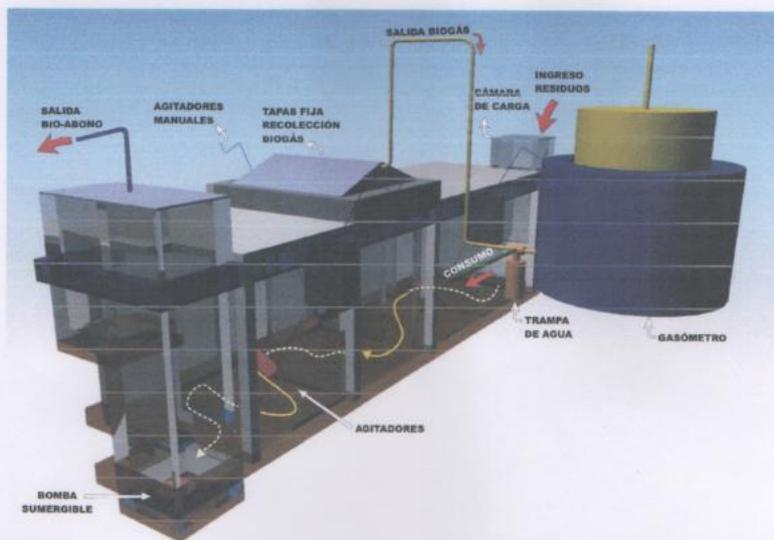
Desde ya, le agradezco por adelantado

Muchos saludos

Carla Zannol

ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO – PROVEEDOR EG Ingeniería S.A. (Cont.)

Biodigestor con Desplazamiento Horizontal



Se los utiliza generalmente para pequeñas explotaciones agropecuarias que generan moderadas cantidades diarias de residuos, como ser tambos, criaderos de cerdos, establecimientos con gallinas ponedoras en jaulas; como también para pequeñas comunas con el fin de procesar los residuos orgánicos domiciliarios, mercados concentradores de frutas y verduras, agroindustrias, establecimientos hoteleros. Es decir lugares donde habitualmente se generen residuos orgánicos.

Este tipo de biodigestor se recomienda cuando se requiere trabajar, por cuestiones de diseño, con volúmenes mayores a los quince (15 m^3) metros cúbicos aproximadamente; debido a que la excavación en profundidad comienza a resultar problemática, porque puede aparecer demasiada humedad a causa del nivel de las napas freáticas.

El biodigestor tiene una geometría "alargada" donde la mezcla de materia orgánica y agua circula en "flujo pistón", como si fuese la circulación que se produce en el intestino del ser humano o de otro mamífero.

Este tipo de flujo permite que cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo.

San Lorenzo 3416 – S3000EUZ – Santa Fe – Argentina - Tel.: 0054 (0342) 4540616
www.eg-ingenieria.com.ar

ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO – PROVEEDOR EG Ingeniería S.A. (Cont.)

eg INGENIERÍA
tecnología sustentable

Pag. 2

Características Constructivas en Materiales Tradicionales:

Generalmente se instalan enterrados, con excavaciones de poca profundidad, hasta el orden de 2,50 a 3,00 m y bien alargados. La sección transversal puede ser de forma cuadrada, rectangular, la relación largo/ancho puede variar desde 5:1, hasta más de 10:1.

La cámara de digestión se puede construir en mampostería, con suficientes encadenados y refuerzos, o en hormigón armado.

El cerramiento superior puede ser fijo, construido mediante una bóveda de ladrillos, o mediante una losa en hormigón armado.

También se puede colocar una cubierta "flexible", utilizando alguna geomembrana (por ejemplo polietileno de alta densidad PEAD -suficientemente durable y que no presente fugas), la cual sirve asimismo de gasómetro para la acumulación transitoria del biogás.

Para lograr este propósito se colocan los extremos de la membrana dentro de un canal lleno de agua (de una profundidad de unos 30 cm a 35 cm), amarrada al fondo de la misma, lo cual permite hacer un sello hidráulico perfecto, y poder recolectar el biogás producido, por una o más salidas ubicadas en la parte superior de la membrana.

Detalles de Funcionamiento:

La alimentación se realiza por un extremo, mediante una cámara de carga que comunica directamente con la cámara de digestión, o según el diseño a través de una cañería.

Los sólidos pueden llegar, en forma de suspensión o "barro", por gravedad mediante la circulación dentro de un canal con suficiente pendiente, o bombeados.

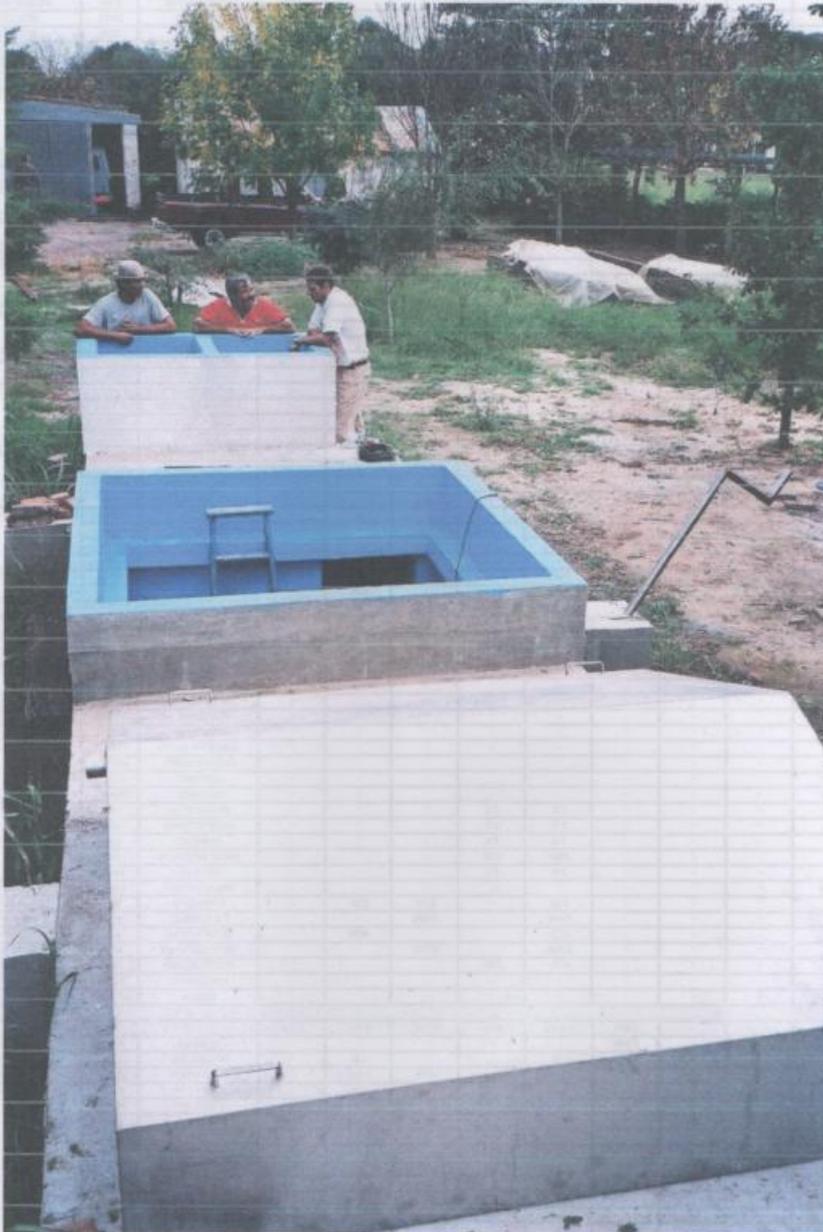
Los barros digeridos se retiran por el otro extremo, descargándose generalmente por gravedad, o en algún caso mediante el auxilio de una bomba de tipo sumergible apta para manejar sólidos en suspensión, denominada generalmente "estercolera".

La agitación del biodigestor se puede realizar en forma mecánica, colocando varios agitadores distribuidos adecuadamente a lo largo de toda la longitud del biodigestor.

También en caso de utilizarse una bomba para retirar el material digerido, se la puede aprovechar para reciclar la suspensión ya digerida hacia la entrada del biodigestor con el fin de mejorar el pH de ingreso, mezclar la materia orgánica que se alimenta con la flora anaeróbica, y lograr algún grado de agitación en la masa en digestión.

San Lorenzo 3416 – S3000EUZ – Santa Fe – Argentina - Tel.: 0054 (0342) 4540616
www.eg-ingenieria.com.ar

**ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO –
PROVEEDOR EG Ingeniería S.A. (Cont.)**



Vista de Biodigestor de 40 m³ de Volumen en Construcción

**ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO –
PROVEEDOR EG Ingeniería S.A. (Cont.)**



Vista General del Biodigestor de 40 m³ Terminado y en Funcionamiento, con Agitadores Mnauales



Gasómetro para Acumulación de Biogás
Volúmenes de 2,0 m² a 25,0 m³

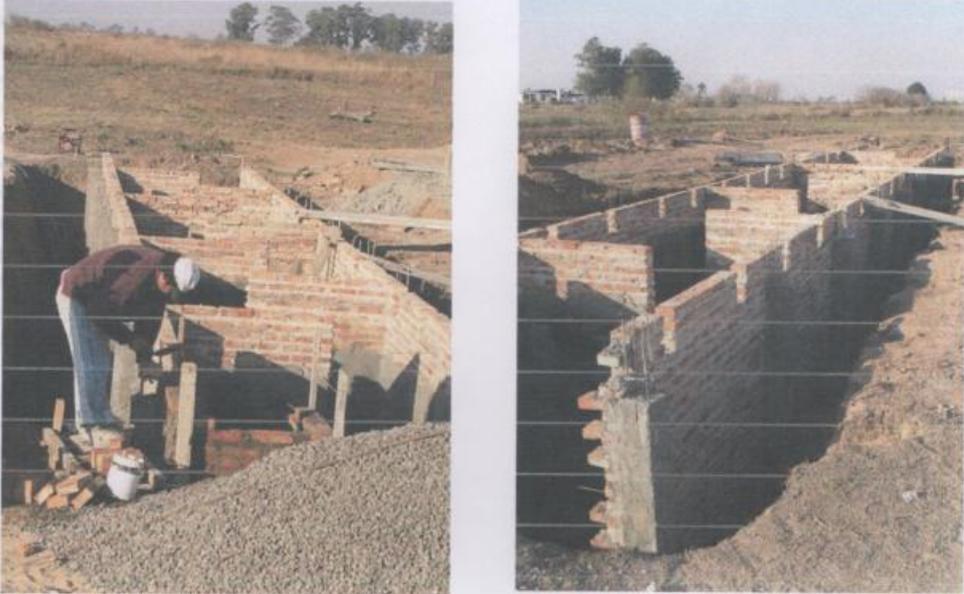


Frutales para Aprovechamiento del
Abono Líquido, producido por el Biodigestor

**ANEXO XVIII – COTIZACION DIGESTOR ANAEROBICO –
PROVEEDOR EG Ingeniería S.A. (Cont.)**

eg INGENIERÍA
tecnología sustentable

Pag. 5



Vista de la Construcción de Biodigestor de 80 m³ de Volumen



Vista General Exterior de Biodigestor de 80 m³ de Volumen; con Agitadores Manuales

San Lorenzo 3416 – S3000EUZ – Santa Fe – Argentina - Tel.: 0054 (0342) 4540616
www.eg-ingenieria.com.ar

8.- Referencias

- (1) Ing. Agr. Pietronave H., 2011, INTA BIOCOMBUSTIBLES (informe de referencia). http://inta.gob.ar/documentos/biocombustible-informe-de-referencia/at_multi_download/file/Biocombustibles_informe_de_referencia.pdf
- (2) BP – Statistical Review of World Energy – June 2015
- (3) International Energy Agency - World Energy Outlook 2011
- (4) OECD. Environmental Outlook to 2050: The consequences of inaction
- (5) Shell Chief Executive Peter Voser at an energy conference in Singapore on May 5, 2010.
- (6) Final Draft Summary for Policymakers IPCC WGIII AR5
- (7) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2001, Tercer informe de Evaluación, Reino Unido
- (8) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2007, Cuarto informe de Evaluación, Reino Unido
- (9) UNEP, The Emissions Gap Report 2012
- (10) Del Valle Melendo, J., 2014, El Cambio Climático: Reflexiones tras la Cumbre de Varsovia, Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- (11) Alam, F., Date, A., Rasjidin, R., Mobin, S., Moria, H., & Baqui, A., (2012), Biofuel from algae - Is it a viable alternative? Elsevier, Procedia Engineering, 221-227.
- (12) Naciones Unidas., (1987), Nuestro futuro común, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- (13) “Naciones Unidas, Órganos principales, Comisiones, resoluciones, Asamblea General.” Naciones Unidas, Centro Noticias, Web.1 Ag. 2014 <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- (14) FAO, Trade and Market Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013, Biofuels and the sustainability challenge: a global assessment of sustainability issues, trends and policies for biofuels and related feedstock's
- (15) IPCC – Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – Special Report of the Intergovernmental Panel on climate Change, 2012.
- (16) Twidell J., Weir A., 2006, Renewable Energy Sources, Taylor & Francis
- (17) Department of Energy and Climate change, 2011, The Carbon Plan, Government of United Kingdom
- (18) Biomasa en la Union Europea (s.f.). Consultado el enero 1, 2015, de <http://www.energiza.org/eolica/20-biomasa/939-biomasa-en-la-uni%C3%B3n-europea>
- (19) Grupo Energías Renovables (Convenio Asociativo Público Privado IRESUD, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Foro de Vivienda, Sustentabilidad y Energías (FOVISEE, Fundación AVINA, Fundación Cambio Democrático (FCD), Fundación Directorio Legislativo (FDL), Fundación Vida Silvestre (FVS, Asociación Argentina de Energía Eólica

(AAEE), Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER)),2013, Energías Renovables: Por que debería ser prioritario cumplir con el objetivo del 8% en el 2016?, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación AVINA Argentina

(20) Volker Quaschnig, 2009, Renewable Energy and Climate Change. John Wiley & Sons, Technology & Engineering

(21) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, World Populations Prospects 2012, Revision June 2013

(22) World Agriculture Towards 2030/2050 The 2012 Revision - Nikos Alexandratos and Jelle Bruinsma Global Perspective Studies Team - FAO Agricultural and Economics Division - FAO .org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf

(23) World Business Council for Sustainable Development, Biofuels, Issue Brief I Energy and Climate Focus Area. (2007)

(24) FAO, Trade and Market Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003, the State of Food Insecurity in the World

(25) Schenk, P., Thomas Hall, S., Stephens, E., Marx, U., Mussgnung, J., Posten, C., Kruse, O., and Hankamer, B., (2008), Second Generation Biofuels: high efficiency microalgae biodiesel production, Bioenergy Research, 1:20-43

(26) Adenle, A., Haslam, G., & Lee, L., (2013), Global assessment of research and development for algae Biofuel production and its potential role for sustainable development in developing countries. Elsevier, 61, 182-195.

(27) Loera-Quezada M., Olgúin, E., 2010, Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: Retos y oportunidades, Revista Latinoamericana Biotecnología Ambiental Algal: 91-116

(28) Mata T.; Martins M.; Caetano N., 2009, Microalgae for biodiesel production and other applications: A review Renew Sustainable Energy Rev 14 (1):217-232 doi: 10.1016/j.rser.2009.07.020

(29) Wijffels, R.H., Barbosa, M.J., and Eppink, M.H.M., 2010, Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. ; 4:287-295

(30) Schlarb-Ridley, 2011, Algal Research in UK, BBSRC by United Kingdom

(31) Sheehan J.; Benemann J., Dunahay, T; Roessler P., 1998, A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae; Close-Out Report, OSTI Identifier: 15003040, Report Number(s): NREL/TP-580-24190, DOE Contract Number: AC36-99-GO10337

(32) Maeve S. Kelly and Symon Dworjanyn, 2008, The potential of marine biomass for anaerobic biogas production: a feasibility study with recommendations for further research, Scottish Association for Marine Science Oban, Argyll, Scotland

(33) Borowitzka, M., 2006, Pharmaceuticals from Algae, Vol. VII, Murdoch University, Australia, Encyclopedia of Life Support System

(34) Roesijadi G., Jones S.B., Snowden-Swan L.J., Zhu Y., 2010, Macroalgae as a Biomass Feedstock: A Preliminary Analysis (PNNL-19944)

- (35) Albarracín, I., 2007, Microalgas potenciales productoras de biodiesel, XV Simposio Electrónico Internacional, La producción de Biocombustibles con eficiencia, estabilidad y equidad, Argentina
- (36) Campbell, C.J., 1997, *The Coming Oil Crisis*. Multi Science Publishing Company and Petro consultants S.A.: Essex, England.
- (37) Paniagua-Michel, J., 1994, Biotecnología microalgal y obtención de productos químicos y alimenticios. Serie científica, U.A.B.C.S. N° Especial 2(1). pp. 109-117.
- (38) Travieso, L.; Benitez Echegoyen, F., 1998, Cultivo de *Arthrospira* sp: del Laboratorio a Planta Piloto. Curso: Tecnología y aprovechamiento del cultivo heterotrófico de microalgas. Centro de Investigaciones Pesqueras. La Habana, Cuba
- (39) Spolaore, P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E.; Isambert, A., 2006, Commercial applications of microalgae. *J Biosci Bioeng*; 101:87–96.
- (40) Benemann, J., Lundquist. Woertz. & Quinn., 2010, *A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production*. Energy Biosciences Institute, University of California, Berkeley, California
- (41) Chisti Y., 2007, Biodiesel from microalgae, Institute of Technology and Engineering, Massey University, Private Bag 11 222, Palmerston North, New Zealand, *Advances*, 25, 294 - 306.
- (42) Melis A., 2002, Green alga hydrogen production: progress, challenges and prospects. *Int J Hydrogen Energy*; 27:1217.
- (43) Scragg A. H.; Illman A. M.; Carden A.; Shales S. W., 2002, Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor, *Biomass and Bioenergy*, Volume 23, Issue 1, 67-73
- (44) Kyle, D.J., 1994, Microbial oil mixtures and uses thereof, Market Corporation, U.S. Patent 5374657
- (45) Rakopoulos C., Antonopoulos K., Rakopoulos D., Hountalas, Giacomis E., 2006 Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins
- (46) Tickell, J., 2003, *The Problem: Fossil Fuels. From the Fryer to the Fuel Tank*. New Orleans, Louisiana: Joshua Tickell Publications.
- (47) Slade R.; Bauen A., 2012, Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects
- (48) Philip T. Pienkos and Al Darzins, 2009, The promise and challenges of microalgal-derived biofuels, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, Published online May 28, in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com); DOI: 10.1002/bbb.159; *Biofuels*, *Bioprod. Bioref.* 3:431–440
- (49) National Research Council of the National Academies, 2012, *Sustainable Development of Algal Biofuels in the United States*, Washington, DC: The National Academies Press.
- (50) National Research Council, 2011, *Renewable Fuel Standard. Potential Economic and Environmental Effects of U.S. Biofuel Policy.* , Washington, DC: The National Academies Press.

- (51) Williams, P.J.L.B., Laurens L.M.L., 2010, Microalgae as biodiesel and biomass feedstocks: Review and analysis of the biochemistry, energetic and economics. Energy and Environmental Science
- (52) Morgenthaler-Jones, L., 2011, Algae + fish: Food, fuel and more. Presentation to the NRC Committee on Sustainable Development of Algal Biofuels on September 8.
- (53) Woertz, I., A. Feffer, T. Lundquist, Nelson Y., 2009, Algae grown on dairy and municipal wastewater for simultaneous nutrient removal and lipid production for Biofuel feedstock. Journal of Environmental Engineering
- (54) Rutz, Dominik, and Rainer Janssen, 2007, "Biofuel Life Cycle." Biofuel Technology Handbook. : WIP Renewable Energies.
- (55) Larson, Eric. , 2006, "A review of life-cycle analysis studies on liquid Biofuel systems for transport sector." Energy for Sustainable Development, Princeton Environmental Institute, Princeton University
- (56) FAO, 2008, "Efectos de los biocombustibles en el Medio Ambiente" "Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades
- (57) Worldwatch Institute, Biofuels for Transportation, Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century, Prepared by the Worldwatch Institute for the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV), in cooperation with the Agency for Technical Cooperation (GTZ) and the Agency of Renewable Resources (FNR) Washington, D.
- (58) Batan, L., Quinn, B., Bradley, T., 2010, Net Energy and Greenhouse Gas Emission Evaluation of Biodiesel Derived from Microalgae
- (59) Pimentel, D., Patzek, T.W., 2005, Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; Biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resources Research
- (60) Hall, C.A.S., 2011, Sustainability: Special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment). Sustainability
- (61) Raswant V., Hart N. and Romano M., 2006, Global Bioenergy Partnership – Biofuel expansion Challenges, Risk and Opportunities for Rural Poor People
- (62) Salas Casasola I., Cortes I., Muñoz Piña C., 2009, Elementos de sustentabilidad en la producción de Biocombustibles: La certificación como instrumento de la política ambiental.
- (63) Caspeta, L., Nielsen ,2013, Nature Biotechnology: Economics and Environmental Impacts on Microbial Biodiesel
- (64) Adler, P. R.; Del Grosso, S. J.; Parton, W. J.,2007, Life-Cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems.Ecol.
- (65) Di Paola, M.M., 2014, FARN, Los biocombustibles en Argentina
- (66) CADER 2012: "Evolución del Mercado de Biocombustibles en la Argentina" Disponible en:<http://www.cader.org.ar/informes-y-estudios/evolucion-del-mercado-de-biocombustibles-en-la-argentina.htm>
- (67) Fundación INAI (Instituto para las negociaciones Agrícolas Internacionales), 2014, Argentina- Biocombustibles, Boletín Nro. 137

- (68) Next Fuel, Información y noticias sobre Biodiesel y Energías Renovables, Resurge Exportación de Biodiesel de Argentina, 2014, <http://biodiesel.com.ar/8789/carbio-resurge-exportacion-de-biodiesel-de-argentina#more-8789>
- (69) Diario La Nación, 2016/01/24, El uso de biocombustibles está en crecimiento, <http://www.lanacion.com.ar/1864609-el-uso-de-biocombustibles-esta-en-crecimiento>
- (70) Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), 2014, Desafíos para una política sustentable de biocombustibles
- (71) Bocco R., Delorenzi, P., 2014, Biomasa, Camara Argentina de Energías Renovables (CADER)
- (72) Van Harmelen, T., Oonk, H., 2006, Microalgae Biofixation Processes: Applications and Potential Contributions to Greenhouse Gas Mitigation Options. Report, International Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement, The Netherlands.
- (73) Milledge John J., 2013, Energy Balance and Techno-economic Assessment of Algal Biofuel Production Systems, University of Southampton
- (74) Paul Chen, Min Min, Yifeng Chen, Liang Wang, Yecong Li, Qin Chen, Chenguang Wang, Yiqin Wan, Xiaoquan Wang, Yanling Cheng, Shaobo Deng, Kevin Hennessy, Xiangyang Lin, Yuhuan Liu, Yingkuan Wang, Martinez, B., Ruan R., 2009, Review of the biological and engineering aspects of algae to fuels approach, Center for Biorefining, Department of Bioproducts and Biosystems Engineering, University of Minnesota, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Engineering Research Center for Biomass Conversion, Ministry of Education, Nanchang University, China; Biochemical Engineering College, Beijing Union University, Beijing, China; College of Biological Science and Technology, Fuzhou University, China; Chinese Academy of Agricultural Engineering, China.
- (75) <http://www.oilgae.com/algae/cult/op/op.html> Cultivation of Algae in Open Ponds
- (76) Borowitzka, M., Navid Reza Moheimani, 2012, Open Pond Culture Systems, Algae for Biofuels and Energy.
- (77) Orio Ciferri, 1983, Spirulina, the Edible Microorganism Department of Genetics and Microbiology, University of Pavia, Italy
- (78) (s.f.). Consultado el enero 1, 2014, de <http://www.yaeyamachlorella.com/En/home/info/info.htm>
- (79) Ben-Amotz A., 2009, Biofuel and CO₂ Capture by Algae, Israel Séminaire ANR : « Bioénergies de 3ème génération » ANR Meeting on «Third generation Biofuels »
- (80) Borowitzka, M. A., 2005, Culturing of Microalgae in Outdoor Ponds. In: Andersen, R. A. (ed.) Algal Culturing Techniques. London: Elsevier
- (81) Ferrell, J. & Sarisky-Reed, V., 2010, National Algal Biofuels Technology Roadmap. A Technology Roadmap Resulting from the National Algal Biofuels Workshop Washington U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program. Available online @ http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/algals_biofuels_roadmap.pdf

- (82) Benemann J., 2008, Algal Oil Biofuels, NREL-AFOSR Workshop, Algal Oil for jet fuel Production
- (83) (s.f.). Consultado el enero 1, 2014, de <http://www.earthrise.com>
- (84) Ben-Amotz A., 2012, Large Scale Open Algae Ponds, The National Institute of Oceanography Nature Beta Technologies Ltd. Nikken Sohonsa Co, Japan Seambiotic Ltd. ISRAEL
- (85) (s.f.) Consultado el enero 1, 2014, de <http://www.algatec.com.ar>
- (86) Shigeaki Harayama, Bio-fuel production in algae, Professor of Microbiology, Faculty of Science and Engineering, Chuo University <http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/dy/research/20100826.html>
- (87) Molina Grima E., F.G.A.F., F. Garcia Camacho, Chisti Y., 1999, Photobioreactors: Light Regime, Mass Transfer, and Scale up. *Journal of Biotechnology*, 70: P. 231-247.
- (88) Molina E., J.F., F.G. Acien, Y. Chisti, 2001, Tubular Photo bioreactor Design For Algal Cultures, *Journal Of Biotechnology*, 92: P. 113-131.
- (89) Aciehn Fernandez F. G., Sanchez Perez J. A., y Molina Grima E., 2001, Airlift-Driven External-Loop Tubular Photo bioreactors For Outdoor Production Of Microalgae: Assessment Of Design And Performance. *Chemical Engineering Science*, 56: P. 2721-2732
- (90) Chun-Yen Chen, K.-L.Y., Rifka Aisyah, Duu-Jong Lee, Jo-Shu Chang, 2011, Cultivation, Photo bioreactor Design And Harvesting Of Microalgae For Biodiesel Production: A Critical Review. *Bioresource Technology*. 102: P. 71-81.
- (91) Kizililsoley, M., Helvacioğlu, 2008, Micro-algae Growth Technology Systems, Intergovernmental Institution for the use of Micro-algae Spirulina against malnutrition
- (92) Benemann J., Oswald W., 1996, Systems and Economic Analysis of Microalgae Ponds for conversion of CO₂ to Biomass, Dept. of Civil Engineering University of California Berkeley
- (93) Tredici, M. R., 2010, Photobiology of Microalgae Mass Cultures: Understanding the Tools for the Next Green Revolution. *Biofuels*, 1, (1), 143-162.
- (94) Aditya M. Kunjapur, Eldridge B., Photo bioreactor Design for Commercial Biofuel Production from Microalgae Process Science and Technology Center, University of Texas, Austin, Texas 78712
- (95) NREL, a Look back at the Aquatic Species Program – Technical Review
- (96) Lee, Y. K., 2001, Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential. *J. Appl. Phycol.* 13 (4), 307–315.
- (97) Obando J.J.J., 2011, Evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de microalgas, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Maestría en Ingeniería-Ingeniería Química Manizales, Colombia

- (98) Moragues, J., MR-Consultores y Asociados S.R.L, 2010, Energías renovables en Argentina.2010 Estado actual y prospectiva
- (99) Grossi H., Righini R., Atlas de Energía Solar de la República Argentina. <http://gersol.unlu.edu.ar>
- (100) Elaboración propia
- (101) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2009, Compendio de la Producción de Bioenergía a partir de Algas
- (102) Aidong Yang, Modelling and Evaluation of CO₂ Supply and Utilization in Algal Ponds Division of Civil, Chemical, and Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford, UK
- (103) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009, Sustainability of energy from algae, Algae-Based Biofuels, A Review of Challenges and Opportunities for Developing Countries, Rome.
- (104) Abodeely, D., Stevens, A., Ray, K., Schaller D., 2013, Algal Supply System Design — The INL is a U.S. Department of Energy National Laboratory operated by Battelle Energy Alliance
- (105) Rafiqul islam, Md.; Hassan, A.; Sulebele, G.; Orosco C.; and Roustaian, P., 2003, Influence of Temperature on Growth and Biochemical Composition of *Spirulina platensis* and *S. fusiformis*, Faculty of Agrotechnology and Food Science. University College of Science and Technology Malaysia, Malaysia.
- (106) Vonshak, A. and Richmond, A., 1988, Mass production of the Bluegreen Algae *Spirulina*: An Overview. *Biomass*. 15, 233–247.
- (107) Olguín, E.J., 2003, Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes. *Biotechnol Adv* 22(1-2):81-91.
- (108) Perez Piura, L., 2012, Evaluación de Métodos de Extracción de Aceite de Microalgas para la Producción de Biodiesel, Facultad de Ingeniería
- (109) Hee-Mock, O., Lee, S.J., Park, M.H., Kim, H.S., Kim, H.C., Yoon, J.H., Kwon, G.S. & Yoon, B.D. Harvesting of *Chlorella vulgaris* using a bioflocculant from *Paenibacillus* sp. AM49, *Biotechnol. Lett.* 23, 1229–34. 2001.
- (110) Heasman, M., Diemar, J., O'Connor, W., Sushames, T., Foulkes, L. & Nell, J.A. , 2000, Development of extended shelf-life microalgae concentrate diets harvested by centrifugation for bivalve molluscs – a summary. Special issue: Live feeds and microparticulate diets. *Aquaculture Res.*, 31, 8–9, 637–59; 59 ref. 2000.
- (111) Molina Grima, E., Belarbi, E.-H., Acien-Fernandez, F. G., Robles-Medina, A.& YUSUF, C., 2003, Recovery of Microalgal Biomass and Metabolites: Process Options and Economics. *Biotechnology Advances*, 20,(7-8), 491-515

- (112) (s.f.). Consultado el enero 1, 2015, de <http://www.avantimembrane.com/case-studies/algae-harvesting>
- (113) Milledge JJ and Heaven S (2013) A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 12, 165-78
- (114) Shelef G., Sukenik, A., Green, M., 1984, *Microalgae Harvesting and Processing: A Literature Review a Subcontract Report August 1984 NREL*
- (115) Mohn, F. H., 1988, *Harvesting of Micro-Algal Biomass*. In: Borowitzka, M. A. & Borowitzka, L. J. (eds.) *Micro-Algal Biotechnology* Cambridge: Cambridge University Press.
- (116) Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q. & Mao, E., 2009, *Microalgae Mass Production Methods*. *Transactions of the Asabe*, 52, (4), 1275-1287.
- (117) Carrasco Garcia J., (2008), *Combustión Directa de la Biomasa, Máster en Energías Renovables y Mercado Energético 2007/2008*
- (118) Demirbas, A., 2001, *Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals*. *Energy Conversion and Management*, 42, (11), 1357-1378
- (119) Tokusoglu O., Unal M., 2003, *Biomass nutrient profiles of three microalgae: Spirulina platensis, Chlorella vulgaris, and Isochrysis galbana*.
- (120) Patalá, L.; García-Quesada, J. C.; López, M.; Marcilla, A., 2011, *Pirólisis de la biomasa obtenida del cultivo de la microalga Pheaodactylum tricorntum*
- (121) Machad C., 2010, *Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe*, Organización Interamericana de Energía
- (122) *Vigilancia tecnológica 1er trimestre 2011*, Fundación OPTI, España
- (123) Piloni R., Daga C., Urcelay C., Moyano E., 2013, *Pirólisis de algas: explorando nuevas fuentes de biocombustibles*, Simposio; XIX Simposio Nacional de Química Orgánica
- (124) *Secretaría de Energía, 2008, Energías Renovables – Energía Biomasa, I.N.T.I*
- (125) *Energías Renovables, Biomasa Gasificación, 2007, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), Gobierno de España.*
- (126) Guan, Q. Q., Wei, C. H. & Savage, P. E. 2012b. *Kinetic Model for Supercritical Water Gasification of Algae*. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14, (9), 3140-3147.
- (127) Brennan, L. & Owende, P. 2010. *Biofuels from Microalgae--a Review of Technologies for Production, Processing, and Extractions of Biofuels and Co-Products*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, (2), 557- 577.
- (128) Biller P., 2013, *Hydrothermal Processing of Microalgae*, Submitted in accordance with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy The University of Leeds Energy Research Institute

- (129) Benemann, J. R., 2000, Hydrogen Production by Microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 12, (3), 291-300.
- (130) FAO, 1997, Renewable biological systems for alternative sustainable energy production (FAO Agricultural Services Bulletin - 128), M-09 ISBN 92-5-104059-1
- (131) Gonzalez del Campo, A., Cañizares P., Rodrigo M., Fernandez F., Lobato J., 2013, Microbial fuel cell with an algae-assisted cathode: A preliminary assessment, *Journal of Power Sources*, Elsevier
- (132) Guerra Millan F. J. Guerra, Mall'en Wiechers C., Struck A., Varela Vega T., 2008, Producción de Bioetanol, Universidad de México
- (133) FAO, 2014, Perspectivas Agrícolas 2014-2023, OCDE-FAO
- (134) Machado C., 2010, Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe, O.L.A.D.E (135) http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html
- (136) Garibay Hernández, A., Vázquez Duhalt, R., Sanchez Saavedra M del P., Serrano Carreon L., Martinez Jiménez A., 2009, Biodiesel de Microalgas, Instituto de Biotecnología Universidad Nacional Autónoma de México
- (137) Halim R., Danquah M., Webley P., 2012, Extraction of oil from Microalgae for biodiesel production: A review, *Biotechnology Advances*, Elsevier
- (138) Ramos Suarez J.L., 2014, Producción de biogas a partir de la biomasa de la microalga *Scenedesmus sp.*, procedente de diferentes procesos, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid
- (139) Sills, D., Paramita, V., Frankie, M. J., Johnson, M. C., Akabas, T. M., Greene, C. H. & Tester, J. W., 2012, Quantitative Uncertainty Analysis of Life Cycle Assessment for Algal Biofuel Production. *Environmental Science & Technology*, 47, (2), 687-694.
- (140) Darzins, A., Pienkos, P., and Edye L., 2010, Current Status and Potential for Algal Biofuels Production, Report prepared for the International Energy Agency, Bioenergy Task 39, Report T39-T2. 6 August 2010, National Renewable Energy Laboratory and BioIndustry Partners, Golden, Colorado, pp. 131. www.task39.org
- (141) Kovacevic V., Wesseler J., 2010, Cost-effectiveness analysis of algae energy production in the EU, Elsevier
- (142) U.S. Department of Energy, National Algal Biofuels Technology Roadmap, A technology roadmap resulting from the National Algal Biofuels Workshop December 9-10, 2008, College Park Maryland
- (143) (Meteotest; base de datos Meteonorm (www.meteonorm.com))
- (144) Solargis; base de datos Solargis, <http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Argentina-en.png>
- (145) (s.f.). Consultado el enero 1, 2015, de www.smn.gov.ar

- (146) Richardson, J.W., Outlaw J.L., Allison M., 2010, the Economics of Microalgae Oil, Texas A&M University, AgBioForu, 13(2): 119-130
- (147) Talent M., Burgess G., Fernandez Velasco J., 2014, Protocol to compensate net evaporation and net precipitation in open-pond microalgal , massive cultures and permitted maximal steady-state productivities, Biomass and Bioenergy, Elsevier
- (148) Codina, M.F., Belen García, C., Baron, J.H., Silva S.M., Bosch J.P., Planta piloto de microalgas para mejoramiento del tratamiento efluentes urbanos en Catamarca, Argentina. Proyecto a-oil. Laboratorio de algas, IMD, ECT, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- (149) Sánchez Mirón A, Cerón García M-C, Contreras Gómez A, García Camacho F, Molina Grima E, Chisti Y., 2003, Shear stress tolerance and biochemical characterization of *Phaeodactylum tricornutum* in quasi steady-state continuous culture in outdoor photo bioreactors. Biochem Eng.; 16:287–97.
- (150) Sawayama S, Inoue S, Dote Y, Yokoyama S-Y. , 1995, CO₂ fixation and oil production through microalgae. Energy Convers. Manag. 1995; 36: 729–31.
- (151) Sayre, R., 2010, Microalgae: The potential for Carbon Capture, Bioscience 60
- (152) Douskova I, Doucha J, Livansky K, Machat J, Novak P, Umysova D, Zachleder V, Vitova M. 2009. Simultaneous flue gas bioremediation and reduction of microalgal biomass production costs. Applied Microbiology and Biotechnology 82: 179–185
- (153) De Dicco, R., 2014, Indicadores Energéticos de Argentina, Enero de 2014, OETEC Infraestructura para el desarrollo
- (154) Pienkos, P.T. 2007. The potential for biofuels from algae. Paper read at the Algal Biomass Summit, November 15, 2007, San Francisco, CA.
- (155) US Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, National Algal Biofuels Technology Roadmap, May 2010,
- (156) Maxwell E., Gray Folger A., Hogg S., (1985), Resource Evaluation and Site Location for Microalgae Production Systems, U.S. Department of Energy
- (157) Energy Consulting Services, Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe, Argentina, Prod.4., Datos sobre instalaciones de Energía Renovables y potencial de los recursos de energía en Argentina, 2013
- (158) Mapa del Sistema Geográfico Interconectado Argentino, 2014, CAMMESA
- (159) ENHOSA
- (160) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Estaciones meteorológicas correspondientes
- (161) Centro de Información Agroclimática – Información geográfica de cada estación
- (162) Parques Industriales (s.f.). Consultado el enero 1, 2014, de http://parques.industria.gob.ar/ver_parques.php
- (163) Cammesa, Gerencia de Transacciones Comerciales, Ing. Luis García
- (164) Solamb.com.ar – Ing. Jose Morín

- (165) Zaneck, C., Delpino, M.R., Francescangeli, N., Uviedo, R., 2014, 50 años de estadísticas agroclimáticas en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA San Pedro (1965-2014)
- (166) (s.f.). Consultado el Junio 1, 2015, de www.bcr.com.ar
- (167) Google Earth
- (168) INTA Oliveros, Departamento de Agro meteorología.
- (169) Murphy, C.F. and Allen, D.T., 2011, Energy-Water Nexus for Mass Cultivation of Algae. *Environmental Science & Technology*. 45: 5861-5868.
- (170) Timbúes: Elogios y críticas por la nueva central térmica (29-06-2010). Consultado el enero 1, 2014, de <http://www.enernews.com/nota/221376/timbues-elogios-y-criticas-por-la-nueva-central-termica>
- (171) BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO Argentina Planta de Crushing Timbúes (AR-L1085) INFORME DE MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL Equipo de Proyecto: Martin Duhart, Jefe del Equipo (SCF/CFI), Alejandra Duran Bohme (SCF/CFI), Ernesto Monter (SCF/VPS) y Halcrow Argentina (Consultores Ambientales). Octubre, 2008
- (172) Plan de Ordenamiento Territorial - Costa Metropolitana del Gran Rosario – Cordón Norte - OAM -Gobierno de la Provincia de Santa Fe Consejo Federal de Inversiones - senadosantafe.gov.ar/galery/OAM-cnorte.pdf
- (173) Yanfen L., Zehao H., Xiaoqian M., 2012, Energy Analysis and Environmental Impacts of Microalgal biodiesel China, *Energy Policy*, 45: 142-151.
- (174) Ventura J.-R S., Yang B., Lee Y.-W., Lee K., Jahng D., 2013, Life cycle analyses of CO₂, energy and cost for four different routes of microalgal Bioenergy conversion, *Bioresource Technology*, 137: 302-310.
- (175) Lardon, L., Collet, P., Helias, A., Steyer, J-P., Bernard, O., 2015, Recommendations for Life Cycle Assessment of Algal fuels, *Science Direct, Elsevier*
- (176) Benemann J., Woertz I., Ludquist T., 2012, Life Cycle Assessment for Microalgae Oil Production, *Disruptive Science and Technology Volume 1, Number 2*.
- (177) Neumann P., Jeison, D., 2014, Contribución energética de la digestión anaeróbica al proceso de producción de biodiesel a partir de microalgas, *Ingeniare: Revista Chilena de ingeniería*, Vol. 23 N°2, pp 276-284.
- (178) Lardon L., Helias A., Sialve, B., Steyer, J-P., Bernard, O., 2009, Lyfe-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae, INRA, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement.
- (179) Assessment of Algae Biofuels Resource Demand and Scale-Up Implications for the U.S., 2011, Sandia National Laboratories Albuquerque, NM and DOE/EERE Office of Biomass Program Washington, DC
- (180) Osorio Campusano P.J., 2008, Estudio Técnico Económico para la Producción de Biodiesel a partir de algas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

- (181) Andersen, Robert A., (Ed.) 2005. Algal Culturing Techniques: A Book for All Phycologists. Elsevier. ISBN: 0-12-088426-7.
- (182) Carlsson A., Van Beilen, J., Moller R., Clayton D., 2007, Micro and macro-algae: utility for industrial applications, University of York.
- (183) Bravo, Isaac, 2014, Balance energético de producción de Biodiesel a partir de Microalgas separadas del medio acuoso, Universidad Nacional Autónoma de México
- (184) Al Hattab, M., Ghaly A., Hammouda A., 2015, Microalgae Harvesting Methods for Industrial Production of Biodiesel: Critical Review and Comparative Analysis, J. Fundam Renewable Energy Appl 2015 5:2
- (185) Salim S., Bosma R. , Vermue MH., Wijffels RH., 2011, Harvesting of microalgae by bioflocculation. , J. Appl. Phycol. 23:849-855
- (186) Salim S., Vermuë M & Wijffels R. 2012. Ratio between autoflocculating and target microalgae affects the energy-efficient harvesting by bio-flocculation. Bioresource Technol. 18: 49-55.
- (187) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009): ALGAE-BASED BIOFUELS. A Review of Challenges and Opportunities for Developing Countries. Online verfügbar unter www.fao.org/bioenergy/aquaticbiofuels
- (188) Petrick I., Dombrowski L., Kröger M., Beckert T., Kuchling T., Kureti S., 2013, Algae Biorefinery – Material and energy use of algae, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
- (189) Ramanathan Ranjith Kumar, Polur Hanumantha Rao and Muthu Arumugam, 2015, Lipid extraction methods from microalgae: a comprehensive review, Frontiers in Energy Research, Bioenergy and Biofuels, January 2015, Volume 2, Article 61, 2
- (190) Rubianes Casal, J., 2011, Estudio Técnico -Económico de Producción de Biodiesel mediante Algas, Universidad Pontificia, Madrid
- (191) Scott, S.A., Davey M.P., Dennis J.S., Horst I., Howe C.J., Lea Smith D.J., Smith A.G., 2010, Biodiesel from algae: challenges and prospects, Current Opinion in Biotechnology Vol. 21, pp 277-286 ISSN: 0958-1669
- (192) Zhang X., Yan S., Tyagi R. D., and Surampalli R.Y., 2013, Energy balance and greenhouse gas emissions of biodiesel production from oil derived from wastewater and wastewater sludge. Renewable Energy 55: 392-403.
- (193) Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/biocombustible/tipo_energía/biogas.html
- (194) Donato, L., Huerga, I., Hilbert, J., 2008, Balance Energético de la producción de biodiesel a partir de soja en la República Argentina, I.N.T.A., N° Doc IIR-BC-INF-08-08
- (195) Pronostican inflación de 35% y un dólar a \$16 a fines de 2016 (26-12-2015). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.lanacion.com.ar/1857304-pronostican-inflacion-de-35-y-un-dolar-a-16-a-fines-de-2016>

- (196) Wayne Stepp, J., 2011, Discrete event model development of pilot plant scale microalgae facilities: an analysis of productivity and costs, Texas A&M University
- (197) Hill A.M., McIntosh R.P., 1982, Microalgae Production Cost Analysis Development of Goals and Its Implications on Future Research, SERI Biomass Program Office
- (198) Weissmen, J. C., Goebel P., 1987, Design and Analysis of " Microalgal Open Pond Systems for the Purpose of Producing Fuels A Subcontract Report, Solar Energy Research Institute A Division of Midwest Research Institute 161 7 Cole Boulevard Golden, Colorado 80401 Prepared for the U.S. Department of Energy
- (199) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.sorja.com.ar/>
- (200) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.antonioyteresarusso.com.ar/>
- (201) Jourdan, J.P., 2012, "Le Castanet", Cultivo Artesanal de Spirulina, 2000 labioguia.com/wp-content/uploads/2012/11/cultivo-artesanal-de-spirulina.pdf
- (202) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.aban.com/ABANBIOTECH/index.html>
- (203) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.arena.gov.au>
- (204) Central Termoeléctrica General San Martín (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://grupoeling.com/index.php/es/energia-actividades/generacion-electrica/74-central-termoelectrica-general-san-martin>
- (205) CO₂ Algaefix, 2015, Manual de Buenas Prácticas, instalación de cultivo de microalgas, CO₂Capture and Biofixation through microalgal culture, Life 10 ENV/ES/000496 CO₂ALGAEFIX
- (206) Garcia Vicente, Ma. J., 2010, Captura de CO₂ mediante algas unicelulares, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia, Universidad Politécnica de Madrid
- (207) Wind, Sea Algae Workshop, Lolland, Denmark, April, 2009.<http://www.massey.ac.nz/~ychisti/WSA09.pdf>
- (208) En busca del lado bueno del CO₂ (11-04-2014). Consultado el enero 1, 2016, de http://www.swissinfo.ch/spa/ciencia/di%C3%B3xido-de-carbono_en-busca-del-lado-bueno-del-co2/38345012
- (209) Choren Hipólito, Gerente de Ingeniería Ambiental Adscripto a Gerencia General CENTRAL PUERTO S.A.
- (210) Cammesa – Ingeniero Luis Claudio Garcia Especialista a Cargo Control de la operación Gerencia de Transacciones Comerciales CAMMESA
- (211) Fuente: Factores de emisión de CO₂ Segunda Comunicación Nacional Argentina – página 197
- (212) Folsom Murphy C., Allen D., 2011, Energy-Water Nexus for Mass Cultivation of Algae, Environmental Science & Technology

- (213) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.oilfox.com.ar/>
- (214) Pandey, A., Hofer R., Larroche C., Taherzadeh, M., Nampoothiri, K.M., 2015, Industrial Biorefineries and White Technology, Elsevier, ISBN 978-0-444-63453-5, Pag. 58
- (215) www.duberingenieria.com, Ing. Esteban Kluba
- (216) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.figmay.com.ar/>
- (217) P.Espósito, comunicación personal, 1 de mayo del 2016, patricia@despachanteesposito.com.ar
- (218) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://biodiesel.8k.com/biodiesel.html>
- (219) Patajalo L., Soria P., Torres G., Erazo G., Implementación de un reactor automatizado para producir biodiesel a nivel semiindustrial
- (220) C.M. Asinari Di San Marzano, 1983, Biomethanation of the marine algae *Tetraselmis*, Int. J. Sol. Energy 1 (1983) 263–272.
- (221) J.R. Benemann, 1977, Energy production by microbial photosynthesis, Nature 268, (1977) 19–23.
- (222) L. De Schampelaire, W. Verstraete, 2009, Revival of the biological sunlight-to-biogas energy conversion system, Biotechnol. Bioeng. 103 (2) (2009) 296–304.
- (223) C. Gonzalez-Fernandez, 2012, Comparison of ultrasound and thermal pretreatment of *Scenedesmus* biomass on methane production, Bioresour. Technol. 110 (2012) 610–616
- (224) C.G. Golueke, W.J. Oswald, 1959, Biological conversion of light energy to the chemical energy of methane, Appl. Microbiol. 7 (4) (1959) 219–227.
- (225) M. Ras, et al., 2010, Experimental study on a coupled process of production and anaerobic digestion of *Chlorella Vulgaris*, Bioresour. Technol. 102 (1) (2010) 200–2006.
- (226) Ward A.J., Lewis D.M., Green F.B., 2014, Anaerobic digestion of algae biomass: A review, Algal Research 5 (2014) 204–214
- (227) EG Ingeniería Ingeniero Cropelli
- (228) Bruno Sialve, Nicolas Bernet, Olivier Bernard, 2013, Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable, Biotechnology Advances, Elsevier, 2009, 27 (4), pp.409-416. <hal-00854465> HAL Id: hal-00854465, <https://hal.inria.fr/hal-00854465>
- (229) Valorización energética: producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos/subproductos orgánicos agroindustriales Dept. Calidad y Medio Ambiente (ainia CENTRO TECNOLÓGICO)
- (230) Campos Cuní B., 2011, Methodology to determine the design and construction parameters of design of biogas installations for little farms, Rev Cie Téc Agr vol.20 no.2 San José de las Lajas abr.-jun. 2011

- (231) Zhao, B., Ma, J., Zhao, Q., Frear, C, 2013, Anaerobic Digestion of Algal Biomass Residues with Nutrient Recycle, Washington State University Subcontract Work on Department of Energy Project 22902
- (232) Rodolfi L, G Chini-Zittelli, N Bassi, G Padovani, N Biondi, G Bonini & M Tredici. 2009. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low cost photo bioreactor. *Biotechnology and Bioengineering* 102: 100-112
- (233) Quintana Cabrales, M.M., Fernandez Gonzalez M., 2004, Utilización de residual aviar como fuente de nutrientes en cultivos de microalgas, Centro de Investigaciones de Energía Solar, Santiago de Cuba
- (234) Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Cama de Pollo y Guano, 2013, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación
- (235) Gonzalez, L. M., 2010, Influencia de la deficiencia de nitrógeno y fosforo en las interacciones competitivas entre *Chlorella Vulgaris* Y *Scenedesmus Acutus*, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
- (236) Kebede-Westhead, E., Pizarro, C., Mulbry, W., 2006, Treatment of swine manure effluent using freshwater algae: production, nutrient recovery, and elemental composition of algal biomass at four effluent loading rates. *J. Appl. Phycol.* 18, 41–46.
- (237) (s.f.). Consultado el enero 1, 2016, de <http://www.epec.com.ar>
- (238) SERI, Biomass Program Office, 1984, Microalgae Production Cost Analysis Development of Goals and its Implications on Future Research,
- (239) Richardson, J. W., Outlaw J.L., Allison M., 2010, The Economics of Microalgae Oil, Texas A&M University, *AgBioForum*, 13(2) 119-130
- (240) Mohammed E., 2012, Modeling Cost Structure for Assessment Production Cost of Algal – Biofuel , World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* Vol. : 6, Nr. 3, 2012
- (241) Resolución Técnica Nro. 16 y 17, Federación Argentina de Consejos Profesionales de Ciencias Económicas (FACPCE), facpce.org.ar/pdf/cecyt/contabilidad-30.pdf
- (242) Davis, R., Aden A., Philip P., 2011, Techno-Economic analysis of autotrophic microalgae for fuel production, Elsevier, *Applied Energy* 88 (2011) 3524-3531
- (243) Benemann J.R., Goebel R.P., Weissman J.C., Augenstein D.C., 1982, Microalgae as a source of liquid fuels, U.S. Department of Energy
- (244) Mendoza Guzmán H.S., de la Jara Valido A., Portillo Hahnefeld E., 2011, Planta Piloto de Cultivo de Microalgas Desarrollo potencial de nuevas actividades económicas asociadas a la biotecnología en Canarias, Instituto Tecnológico de Canarias, Gobierno de Canarias
- (245) DOE, 2008, Microalgae Feedstocks for biofuels production, Report to Congress (EISA 2007 e Section 228), US Department of Energy

(246) Sun A., Davis R., Starbuck M., Ben-Amotz A., Pate R., Pienkos P., 2011, Comparative Cost analysis of algal oil production for biofuels, Elsevier Energy 36 (2011) 5169-5179

(247) DOE Bioenergy Technologies Office (BETO) 2015 Project Peer Review, 1.3.1.500 Sustainable Development of Algae for Biofuel, March 24, 2015 Algae Technology Area Review PI: Rebecca Efroymson Presenters: Virginia Dale, Matthew Langholtz ORNL Center for Bioenergy Sustainability, U.S. Department of Energy, http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f21/algae_dale_langholtz_131500.pdf

(248) Schultz, T., Farming Systems, Department of Agriculture Western Australia, 2006, the economics of microalgae production and processing into Biofuel,

(249) Ground-breaking Australian study benchmarks biofuel pricing (22-05-2013). Consultado en enero 1, 2016 de www.uq.edu.au/news/article/2013/05/ground-breaking-australian-study-benchmarks-biofuel-pricing

(250) Algae Biofuel Market Analysis, Market Size, Application Analysis, Regional Outlook, Competitive Strategies and Forecasts, 2015 to 2022 ISBN Code: GVR1642

(251) Pike Research, 2010, EXECUTIVE SUMMARY: Algae-Based Biofuels Demand Drivers, Policy Issues, Emerging Technologies, Key Industry Players, and Global Market Forecasts

(252) Thurmond, W., 2020, ALGAE 2020: Vol 2: Global Biofuels, Drop-In Fuels, Biochems, 2011 Update, 385 Pages by Emerging Markets Online www.emerging-markets.com

(253) Algae Biomass Organization, 2013, Algae Industry Project Book 2013, http://algabiomass.org/wp-content/uploads/2010/06/ABO_project_book_lo-res_July2013.pdf

(254) http://www.diariojornada.com.ar/155245/economia/Estudian_el_potencial_de_algas_para_el_agro_y_la_industria

(255) Ministerio de Agroindustria, Sección Valor Agregado, Microalgas

(256) El Presidente lanzó el Programa “Renovar” de energías renovables (18-05-2016). Consultado el Junio 1, 2016 de <https://www.minem.gob.ar/www/706/24712/articulo/noticias/1237/el-presidente-lanzo-el-programa-renovar-de-energias-renovables.html>

(257) Who’s in front in the development of algal-based fuels and biomaterials? India, China, Japan, Australia, Taiwan, Israel, the EU, or the US. The NAABB’s globe-trotting chief parses it out.

In New Mexico, Dr. Jose Olivares is head of the National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts (NAABB), a consortium funded by the Department of Energy (DOE) to develop innovative technologies that will help bring algal biofuels to a commercial reality.

(258) ALGAE-BASED BIOFUELS: A Review of Challenges and Opportunities for Developing Countries May 2009

(259) La batalla del gas para recuperar el autoabastecimiento (s.f.). Consultado el mayo 1, 2016, de <http://energiaynegocios.com.ar/2016/01/la-batalla-del-gas-para-recuperar-el-autoabastecimiento/>

(260) Braun, O. y L. Joy, 1981, “Un modelo de estancamiento económico – Estudio de caso sobre la economía Argentina”, Desarrollo Económico, v.20, N° 80,

(261) Observaciones al proyecto de modificación de la ley 26190 presentado por el Senador M. Guinle (FPV) por parte de la Camara Argentina de Energías Renovables (CADER) (15-05-2015). Consultado el enero 1, 2016 de <http://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2015/05/CADER.pdf>

(262) Apud, E., Aráoz, J.C., Devoto, Echarte, R., Guadagni, A., Lapeña, J., Montamat, D., Olocco, R., 2015, Secretarios de Energía La energía en la Argentina: Los desafíos políticos, técnicos y económicos 2016-2019 Propuesta política dirigida a los candidatos a la Presidencia de la Nación -

(263) Héctor Salvador Mendoza Guzmán Adelina de la Jara Valido Eduardo Portillo, 2011, Planta Piloto de Cultivo de Microalgas Desarrollo potencial de nuevas actividades económicas asociadas a la biotecnología en Canarias Hahnefeld