



Vicerrectoría de Estudios de Posgrado

Trabajo final para optar por el título de:
Maestría en Administración Financiera

Título:

**PROYECTO DE INVERSIÓN: CAPTURA DE CO₂ Y
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL CULTIVO
DE MICROALGAS EN TERMOELÉCTRICA
DOMINICANA**

Postulante:

Ing. Elisandia Herrera Guerrero

Mat.2013-2439

Tutor:

Dr. Reinaldo Ramón Fuentes Plasencia

Santo Domingo, Distrito Nacional

República Dominicana

Agosto, 2015

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD. CONCEPTOS, CÁLCULOS Y RAZONES ECONÓMICAS DE FUNDAMENTACIÓN	3
1.1 Evaluación de Prefactibilidad.....	3
1.1.1 Empresas pioneras.....	3
1.1.2 Realidad de los combustibles fósiles	7
1.1.3 El agotamiento del petróleo	8
1.1.4 Problemática ambiental mundial y generación de CO2	9
1.1.5 Bonos de carbono.....	13
1.1.6 Carencia de proteína a nivel mundial.....	15
1.1.7 Responsabilidad social empresarial en latinoamérica	16
1.1.8 Experiencias en responsabilidad social ambiental (RSA)	18
1.1.9 Sistemas de cultivos	19
1.2 Conceptos	20
1.2.1 Definición de microalgas.....	20
1.2.2 Microalgas como alternativa para la captura de CO2	20
1.2.3 Microalgas productoras de aceites	21
1.3 Cálculos y Razones Económicas de Fundamentación.....	22
1.3.1 Producción de biodiesel y otros biocombustibles a partir de microalgas	22
1.3.2 Biomasa: producto de alto valor agregado en el cultivo de microalgas	24
1.3.3 Otras biomoléculas de microalgas de importancia comercial	25
1.3.4 Concepto de biofábrica	27
1.3.5 Mercado potencial para productos y subproductos del cultivo de microalgas	28
1.3.6 Autoabastecimiento de combustible en la propia planta termoeléctrica	28
1.3.7 Mercado para subproductos	30
1.3.7.1 Sector ganadero.....	31
1.3.7.2 Sector avícola	31
1.3.7.3 Agricultura orgánica	32
CAPITULO II: ACCIONES PARA LA VISIÓN, PROYECCIÓN EMPRESARIAL, PRESUPUESTO Y RAZONES FINANCIERAS	34
2.1 Bonos de carbono	34
2.2 Plan de implementación y organización	35
2.2.1 Recursos necesarios para la implementación del programa	35
2.3 Fases para la implementación del cultivo de microalgas.....	37

2.4 Fase 1. Implementación de laboratorio para el mantenimiento de cepas microalgales	39
2.4.1 Implementación de un cultivo piloto	40
2.5 Fase 3. Implementación de un cultivo semi-industrial (50 Ha)	42
2.6 Fase 4. Implementación de un cultivo -industrial (200 Ha).....	46
2.7 Cronograma de implementación.....	47
2.8 Estructura organizacional	48

CAPITULO III: RESULTADOS FINANCIEROS: ANÁLISIS, RIESGOS Y FACTORES DEL EMPRENDIMIENTO..... 51

3.1 Análisis financiero.....	51
3.2 Análisis de riesgos.....	56
3.3 Riesgos científicos y tecnológicos	56
3.4 Riesgos legales	57
3.5 Riesgos de mercado.....	58
3.6 Otros escenarios	58
3.7 Inversión+ desarrollo+ innovación+ inversión (I+D+Ii).....	59
3.8 Producción de alimentos y suplementos nutricionales	60
3.9 Producción de hidrocarburos.....	60
3.10 Producción de ácidos grasos poli-insaturados (PUFA´s).....	61

CONCLUSIONES..... 64

RECOMENDACIONES 67

BIBLIOGRAFÍA..... 72

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Empresas pioneras en la producción de biocombustibles a partir de microalgas	5
Tabla 2. Empresas pioneras en la producción de biocombustibles a partir de microalgas	5
Tabla 3. Recursos necesarios para la implementación del programa: producción de biodiesel a partir de microalgas en termoeléctrica dominicana	36
Tabla 4. . Estimados de producción y captura de CO ₂ por dos sistemas de cultivo	41
Tabla 5. Estimados de producción y captura de CO ₂ para dos sistemas de cultivo	46
Tabla 6. Estimados de producción y captura de CO ₂ por dos sistemas de cultivo	47
Tabla 7. Datos económicos	51
Tabla 8. Costos y gastos	52
Tabla 9. Ingresos.....	52
Tabla 10. Flujo de fondos a 10 años	54
Tabla 11. Flujo de fondos a 20 años	55

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Producción del petróleo en el mundo	7
Ilustración 2. Proyección de la producción del petróleo en el mundo hasta 2035.....	9
Ilustración 3. Incremento en la concentración de CO ₂ en los últimos 1200 años	11
Ilustración 4. Mapa de las áreas más vulnerables al cambio climático de acuerdo a los impactos esperados para el 2050	12
Ilustración 5. Reacción de transesterificación para producción de biodiesel.....	23
Ilustración 6. Esquema de biofábrica.....	28
Ilustración 7. Relaciones terreno / agua / energía para producción de spirulina frente a cultivos vegetales	29
Ilustración 8. Fases de implementación del programa	37
Ilustración 9. Diagrama del proceso de producción de biodiesel a partir de microalgas	38
Ilustración 10. Plano de un sistema abierto tipo raceway (aprox. 4Ha)	43
Ilustración 11. Vista de la sección del sistema de agitación por medio de paletas	44
Ilustración 12. Sistema de inyección de CO ₂ al raceway.....	44
Ilustración 13. Foto de un cultivo de microalgas en estanques	45
Ilustración 14. Cronograma de implementación	47
Ilustración 15. Propuesta para la estructura organizacional del programa	48
Ilustración 16. Total de ingresos.....	53
Ilustración 17. Utilidad operativa neta fondos a 10 años	54
Ilustración 18. Utilidad operativa neta fondos a 20 años	55

LISTA DE ABREVIATURAS

GEI	Gases de Efecto Invernadero
CO ₂	Dióxido de Carbono
RSC	Responsabilidad Social Corporativa
CNE	Comisión Nacional de Energía
OC	Organismo Coordinador
ANIE	Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica
CDEEE	Corporación Dominicana de Empresas Estatales
NGL	Gas Natural Licuado
IEA	International Energy Agency
PPM	Partes por Millón
EFDA	European Fusion Development Agreement
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme
EUAs	European Union Allowances
RSA	Responsabilidad Social Ambiental
PBR	Siglas en inglés, Reactores Tubulares o Planos
AGPI	Ácidos grasos poli-insaturados
AA	Ácido araquidónico
DHA	Ácido docosahexanoíco
GLA	Y-linolénico
EPA	Ácido eicosapentanoico
FDA	Food and Drug Administration
GRAS	Generally Recognized as Safe
VAN	Valor actual neto

RESUMEN

El presente proyecto de inversión tiene como objetivo llevar a cabo la captura de CO₂ y producción de biodiesel a partir del cultivo de microalgas en una termoeléctrica dominicana. El propósito que persigue este proyecto lo constituye la forma en que una generadora de electricidad podría abordar la implementación de un programa de cultivo de microalgas en una planta generadora de energía eléctrica, para producir biodiesel, capturar CO₂ y obtener otros co-productos que hagan de la generadora una empresa líder en soluciones económica, ambiental y socialmente sostenibles. Adicional se espera un beneficio ambiental y social por el ahorro de emisiones contaminantes lo que aporta adicionalmente un beneficio a partir de la venta del CO₂ si la industria lo toma a consideración para su implementación. En el desarrollo del proyecto se estudian los elementos indispensables que intervienen en la captura de CO₂ y producción de biodiesel a partir del cultivo de microalgas, atendiendo a las necesidades de generación energética que se espera producir. Por igual se evalúa económicamente la factibilidad resultante del financiamiento por deuda a 10 y 20 años. A nivel general, se concluye que para la producción de biocombustibles de diferentes clases, entendiendo la necesidad de la pronta implementación de procesos que lleven a la producción de combustibles alternos a los combustibles fósiles, con valores agregados como la captura de CO₂, biomasa, otras tecnologías para generación de energía, venta/ desarrollo de productos para múltiples usos la producción de proteína para diversos usos, éste proyecto es factible.

INTRODUCCIÓN

La sociedad moderna es una inmensa derrochadora de recursos eléctricos, pero el combustible primordial bajo el que se produce dicha energía está fundamentado bajo la base del petróleo. En décadas anteriores ha habido crisis energéticas (1973) las cuales han provocado una transformación e inclusive un ligero descenso de la demanda ante los incrementos constantes de dicho compuesto orgánico.

Varios han sido los detonantes que han estimulado el desarrollo de alternativas ambientalmente sostenibles y económicas en materia de energía, entre los cuales se encuentran: la dependencia energética de muchos países, el sobreprecio de la energía eléctrica, el agotamiento de los recursos petrolíferos, entre otros graves problemas medioambientales asociados.

Este estudio de viabilidad fue realizado, basado en el interés de la empresa generadora de electricidad dominicana de tener una opción de modelo de negocio sostenible, de acuerdo a la propuesta realizada por Blue & Green en julio de 2011. Esta propuesta consta de varias etapas y este estudio de viabilidad constituye la primera de ellas, siendo las otras, la constitución administrativa del programa, la capitalización del mismo, el diseño tecnológico, las fases de montaje de laboratorio y piloto, para llegar finalmente a una puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la producción de aceites aptos para la elaboración de biodiesel.

El resultado de este estudio se centra en la factibilidad de implementar un programa de producción de microalgas por parte de alguna generadora de energía eléctrica, así como todas las ventajas que se derivan del mismo. La producción de biodiesel y otros co-productos y subproductos así como las consecuencias económicas, ambientales y sociales son descritas de forma amplia y sustentada. El cliente en consecuencia es una generadora de

electricidad en primer lugar y así se presenta en el informe, aunque como se verá, por las características del proyecto, al final los consumidores finales pueden representar una gran gama de sectores.

Este estudio fue realizado con base en la metodología McKinze y se convierte así en una primera aproximación a un plan de negocios, de lo que podría ser este programa, en caso que una generadora de electricidad dominicana decida optar por su desarrollo.

En los distintos países se ha planteado una estrategia de producción energética. Esta táctica está fundamentada en el aumento del ahorro y fomento de la energía, la cual nos permitirá trazar las pautas que nos admitan una dependencia menor de los combustibles fósiles.

Dentro de las ventajas que se encuentran al realizar cultivos de microalgas están las relacionadas a la tasa de crecimiento y a la obtención de aceites,, los cuales son mayores a los resultantes producto de operaciones terrestres.

Desde hace cuatro décadas y media, los Estados Unidos estudiaron la forma de producción de carburantes diferentes con la finalidad de prevenir la caída del combustible fósil.

CAPITULO I: EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD. CONCEPTOS, CÁLCULOS Y RAZONES ECONÓMICAS DE FUNDAMENTACIÓN

1.1 Evaluación de Prefactibilidad

1.1.1 Empresas pioneras

Las empresas que han empezado y se consideran pioneras en la producción de microalgas para biocombustibles, se encuentran en fases de desarrollo e implementación de sistemas de producción a escala piloto, con proyecciones industriales de gran escala. Muchas de ellas en estas etapas han considerado la formación de alianzas estratégicas con diversas empresas y entidades gubernamentales con el fin de expandirse y poder disminuir los costos e incrementar la producción.

Asimismo, algunas de estas empresas han considerado o se encuentran en etapas de implementación de modelos de producción denominados “biorefinerías” que les permita el aprovechamiento de todos los subproductos o co-productos del proceso, con el fin de incursionar nuevos mercados y generar mayor impacto positivo a nivel económico, social y ambiental.

Países como Francia, Alemania, España, Estados Unidos y Argentina se destacan como pioneras en la implementación de programas de producción de biocombustibles a partir de microalgas. La empresa IGV GmbH, ubicada en Nuthental – Alemania, cuenta con una experiencia mayor a 30 años en el cultivo de microalgas a escala industrial.

Empresas como Sapphire Energy, ubicada en San Diego – Estados Unidos y bio fuels systems (BFS) ubicada en Alicante – España, han desarrollado tecnologías avanzadas que les permite obtener biomoléculas muy similares a los conocidos hidrocarburos.

Esta última empresa española tiene proyectado que en 5 a 10 años contará con más de 100.00km² de cultivos de microalgas, con lo cual tendrá una capacidad de generación de biocombustible de 90 millones de barriles diarios.

En América Latina también se han tenido experiencias muy importantes. La empresa Argentina Oil Fox, inició la ejecución de una planta de cultivo de biodiesel a partir de microalgas, que suplirá a la multinacional YPF con aproximadamente 56,600 toneladas anuales de este combustible.

A partir de muchas de estas experiencias en producción de microalgas, se comprueba cada vez con mayor certeza, que la ubicación de una planta de producción de alto rendimiento, debe estar situada directamente al lado de una empresa productora de CO₂.

Existen ya algunas empresas generadoras de CO₂ que han decidido convertir esta fuente de contaminación en una fuente de generación de energía y alimentos. En otros casos, productoras de biocombustibles y otros productos derivados de los cultivos de microalgas han ubicado estratégicamente sus empresas al lado de termoeléctricas o cementeras que les proporcionan el CO₂ requerido.

En el siguiente cuadro se presenta, a modo de ejemplo, solo algunas de las empresas, que han tomado la decisión de desarrollar y poner en marcha programas de cultivo de biodiesel a partir de microalgas. Algunos de ellos se encuentran en etapa de inicio de la construcción, así como otros que ya cuentan con proyecciones de producción en el mediano y largo plazo, pensando en suplir una demanda que el futuro crecerá exponencialmente.

Tabla 1. Empresas pioneras en la producción de biocombustibles a partir de microalgas

Nombre	Ubicación	Experiencia	Información general
Vattenfall	Senftenberg - Brandenburg, Germany	2011	<ul style="list-style-type: none"> En los próximos años, la empresa, en conjunto con el clúster de biocombustibles de Dinamarca y la compañía británica Green-Acres planean la construcción de nuevas instalaciones para el cultivo de biodiesel en el país.
			<ul style="list-style-type: none"> Posee un biorreactor de algas capaz de producir 50,000 litros de biocombustible, es el segundo más grande del mundo.

Fuente: Páginas web de las empresas mencionadas, 2011

Tabla 2. Empresas pioneras en la producción de biocombustibles a partir de microalgas

Nombre	Ubicación	Experiencia	Información general
Bioalgostral SAS (BAO)	Santa Clotilde, La Reunión, Francia		<ul style="list-style-type: none"> Producción industrial de biocombustibles a partir de microalgas.
		3 años	<ul style="list-style-type: none"> Diseño y construcción de diferentes sistemas de producción.
			<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de nuevos productos.
IGV GmbH	Nuthetal, Brandeburgo, Alemania	30 años	<ul style="list-style-type: none"> 30 años de investigación, proporcionan innovación y desarrollo para mercados de biomasa de microalgas y sus biomoléculas para aplicaciones en alimentos, energía, industria farmacéutica y cosmética.

IGV y BAO han estado trabajando juntos desde 2010 en el marco de un acuerdo de cooperación. El objetivo de la cooperación es la implementación y perfeccionamiento de nuevas tecnologías para el cultivo masivo de microalgas y la generación de bioenergía a partir de biomasa de microalgas para proyectos específicos en La Reunión. La isla de las condiciones climáticas tropicales ofrece un excelente potencial de crecimiento de las algas y el desarrollo, de acuerdo con las dos compañías.

Sapphire Energy	San Diego, California	3 años	· Enfoque interdisciplinario entre Energía, agricultura y biotecnología. Orientada a la producción de biocombustibles verdes.
			· Producción de biocombustibles conforme a normas estándares ASTM.
			· En 2009, participó en la prueba del avión Boeing 737-800 en un vuelo de prueba utilizando biocombustible de algas.
Malaysian Integrated Algae Valley	Pahang State in central Malaysia	En desarrollo	· Área de producción: 2.020 hectáreas, con un costo estimado \$383 millones de dólares.
			· Cuando esté terminada, podrá producir alrededor de 500.000 toneladas de biomasa seca por año, o lo equivalente a 150,000 toneladas de biocombustible al año.
Oil Fox	Ramallo (Buenos Aires)	2 años	· Invirtieron para realizar un ducto que capte el CO2 de la central térmica de San Nicolás.
			· La planta de Oil Fox le venderá 56.600 toneladas de biodiesel a la empresa de energía YPF (2011).
			· Las firmas argentinas Oil Fox y Biocombustibles Chubut pactaron una carta de intención para mercadear la producción de biodiesel mediante el uso de algas marinas además de otros negocios relacionados (2011).

Fuente: Páginas web de las empresas mencionadas, 2011

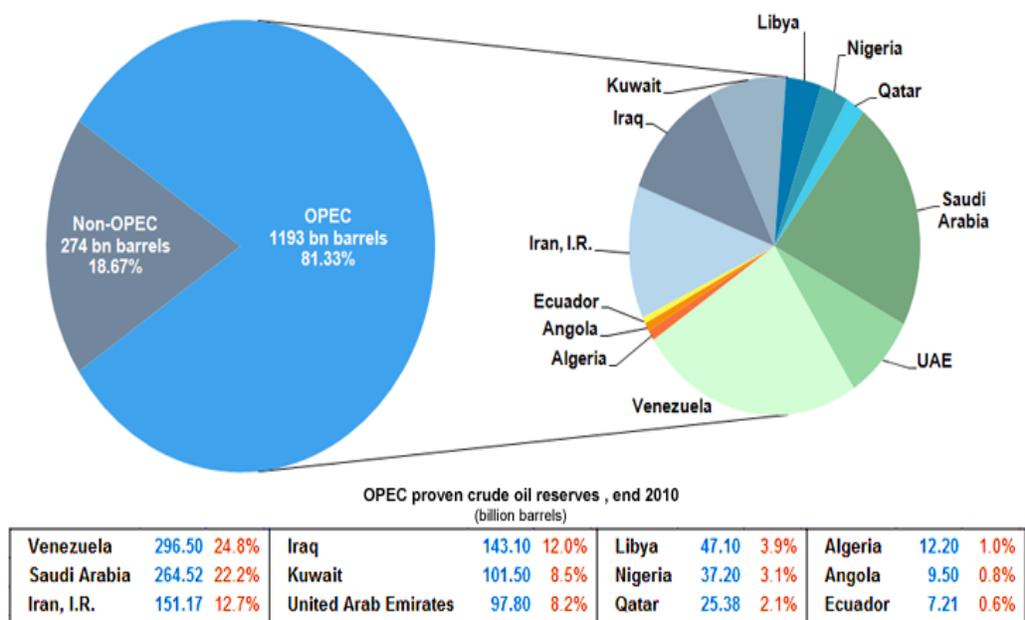
1.1.2 Realidad de los combustibles fósiles

Las reservas de petróleo del planeta tienen una característica que influirán drásticamente en las relaciones comerciales de los países.

El 81% de las existencias (provisiones) de petróleo a nivel mundial se encuentran concentradas en Arabia Saudí, Argelia, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, Irak, Irán, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar y Venezuela (miembros de la OPEP), con la mayor parte de las existencias de petróleo de la OPEP en el Oriente Medio, que asciende al 65% del total. Solamente el 18,67% de las reservas mundiales de petróleo están concentradas en otros países, los cuales no son miembros de la OPEP.

Ilustración 1. Producción del petróleo en el mundo

OPEC Share of World Crude Oil Reserves 2010



Fuente: OPEC, OPEC Share of World Crude Oil Reserves 2010, 2011, http://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm¹

¹ OPEC, OPEC Share of World Crude Oil Reserves 2010, http://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm

Si los países siguen teniendo un alta dependencia del petróleo, las economías más grandes del mundo dependerán de países hoy conocidos como “en vías de desarrollo” dando un vuelco a las relaciones comerciales entre ellos. La ilustración 1 nos muestra que 12 países del mundo concentran más del 81% de las reservas de petróleo.

1.1.3 El agotamiento del petróleo

A pesar de la existencia de reservas a nivel mundial, el ritmo actual y proyectado de consumo supone un agotamiento de esta fuente de energía en menos de 41 años, lo que quiere decir que, de acuerdo a diversos estudios realizados por la ASPO y la OCDE, en el 2050 empezaría a notarse un efecto negativo en la disponibilidad de petróleo.

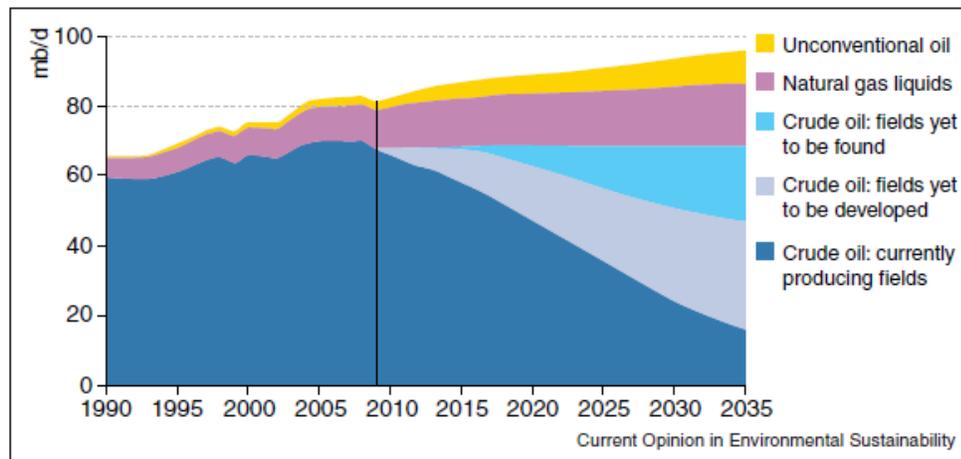
En investigaciones hechas por “*association for the study of peak oil and gas*” (ASPO), señalan una disminución en la elaboración a nivel mundial de petróleo y que esta tendrá parte en la primera mitad de este siglo, como evidencia de ello se encuentran la volatilidad y la tendencia al alza en los precios del petróleo que se observa recientemente. El costo promedio del petróleo en el año 2000 era de \$27.60 por barril e incrementó hasta \$94.45 en 2008, alcanzando un máximo de \$107.43 para 2011 (OPEC).

Y aunque las exploraciones por parte de grandes compañías petroleras todavía son exitosas, esta tendencia disminuirá con el tiempo, lo que generará, no solo un agotamiento de este recurso, sino también un aumento drástico en los precios y una lucha incansable por tener disponibilidad de sus derivados para el funcionamiento de la economía.

Puesto que las fuentes del petróleo no son renovables, la producción de este combustible no puede sostenerse indefinidamente. Es por esta razón que en el mundo se sustenta que la producción alcanzará su pico de producción en el 2020, de aproximadamente 28 billones de barriles por año, y a partir de esto se presentará el inicio de un descenso drástico hasta llegar a menos de 7 billones de barriles anuales en el 2040 (OCDE).

Muchas agencias se encuentran investigando el fenómeno del pico y desabastecimiento del petróleo. Las proyecciones de la International Energy Agency (IEA) mostradas en la siguiente ilustración, establecen que la producción mundial del gas natural licuado (NGL) y el petróleo no convencional muestran un crecimiento constante en el tiempo, mientras que la producción de crudo en esencia sigue siendo plana. El pico del petróleo es evitado por los campos de petróleo aún no identificados, pero si estos en el futuro no son encontrados y no hay producción suficiente de NGL o petróleo de fuentes no convencionales, una meseta o pico podría presentarse en cualquier momento entre el 2020 y 2030, seguido de un proceso de declive de la producción y desabastecimiento de petróleo.

Ilustración 2. Proyección de la producción del petróleo en el mundo hasta 2035



Fuente: Hughes, L., Rudolph, J. (2011). Future world oil production: growth, plateau, or peak?. Current Opinion in Environmental Sustainability, 3 (4), 225-234.

1.1.4 Problemática ambiental mundial y generación de CO₂

La utilización de combustibles fósiles ha derivado efectos ambientales negativos como el calentamiento global. El dióxido de carbono (CO₂) emitido por el uso de éstos, constituye más de la mitad de las emisiones de gases a nivel mundial de efecto invernadero responsables del cambio climático (Naciones Unidas, 2008).

Las necesidades energéticas de las naciones son cada vez más exigentes y de allí se deriva la preocupación sobre la generación de nuevas alternativas de energías limpias que además de satisfacer la demanda permitan el mantenimiento de los recursos naturales y no estén en competencia con la producción alimentaria.

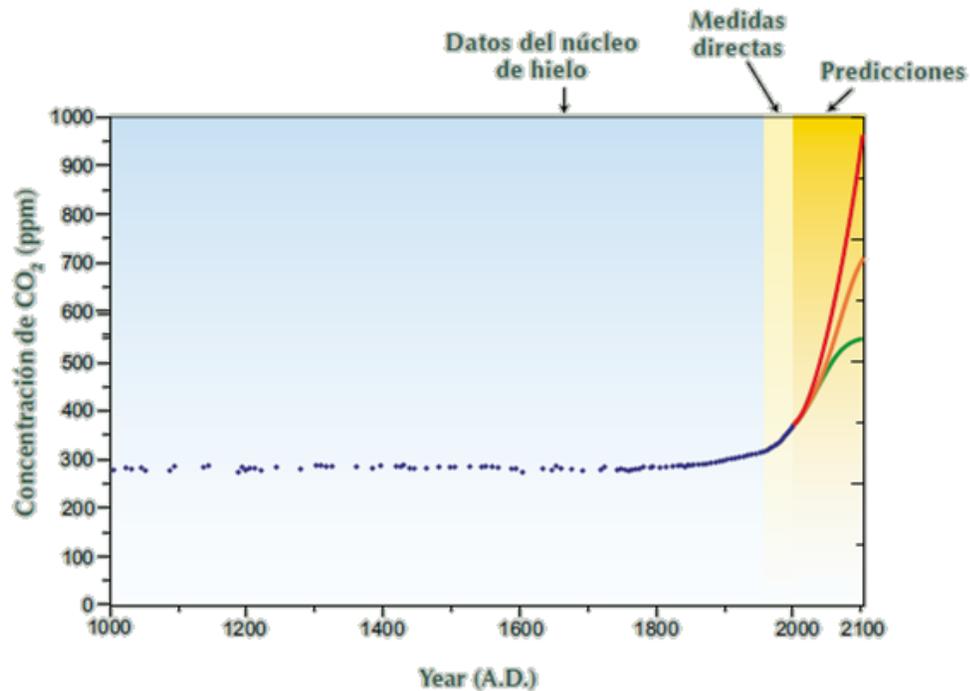
El aumento en la producción y consumo de energía tiene consecuencias negativas sobre todo en el medio ambiente y la salud. El dióxido de azufre y el dióxido de carbono son solo dos de los elementos que se liberan al medio ambiente durante la producción de energía. El precio que pagamos por nuestra energía es muy alto: en las minas de carbón trabajan aproximadamente 10 millones de personas (0.3% de la mano de obra mundial), generando en el mundo entre 30,000 y 70,000 muertes anuales.

Se estipula que alrededor de 2 millones de niños sucumben cada año debido al uso irracional de combustibles sólidos y que genera entre el 5 y 6% de las enfermedades de los países en proceso de desarrollo. En el ámbito urbano la gran cantidad de automotores que existen en miles de ciudades en el mundo, genera partículas y gases de escape, que tienen un efecto devastador en el medio ambiente y genera problemas respiratorios a la población.

Desde los años 1800's, cuando se empezaron a usar los combustibles, se puede observar un ascenso dramático en la concentración de CO₂; y se espera que en los próximos años esta predilección sea aún mayor. En los últimos 150 años la agrupación de CO₂ ha aumentado en un 35%, lo que, de acuerdo a muchos científicos, podría tener un efecto extremo sobre el clima global.

Durante el siglo pasado la temperatura media del planeta incrementó 0.6 grados Celsius mientras el nivel del mar ha incrementado entre 10 y 25 centímetros. Se espera que para el 2100 la temperatura media del planeta suba entre 1.4 y 5.8 grados Celsius y el nivel del mar podría subir hasta 88 centímetros.

Ilustración 3. Incremento en la concentración de CO₂ en los últimos 1200 años



Fuente: European Fusion Development Agreement (EFDA), 2007. Diagramación: EFDA.

Pero la realidad es que los niveles de CO₂ tienen una gran influencia sobre los efectos negativos del medio ambiente. Si el nivel del CO₂ llegase a 280ppm (cuatro veces el nivel actual), el nivel del mar subiría más de 1 metro, haciendo desaparecer ciudades enteras, y algunas zonas del planeta subirían su temperatura promedio entre 15 y 20°C. Y lo peor, es que todavía existen en el planeta suficientes reservas de combustibles fósiles como para hacer que este escenario se vuelva realidad en el mediano plazo.

Podríamos seguir enumerando los efectos que tiene el CO₂ en el ambiente, los recursos naturales y la sostenibilidad para las futuras generaciones. Pero la realidad es que si en los próximos años no se produce un cambio de mentalidad de los gobiernos y las empresas para que asuman su compromiso con el medio ambiente, los efectos sobre el medioambiente serán desastrosos en el largo plazo, lo que comprometería nuestro planeta y su sobrevivencia.

A pesar de la participación relativamente pequeña de los gases de efecto invernadero, el incremento climático es un tema de las agendas públicas en estas regiones, puesto que en 2050 se espera tener un impacto ambiental que afectará a esta región como consecuencia de fenómenos meteorológicos extremos con repercusiones socioeconómicas especialmente para América Central y el Caribe (ver ilustración 4).

Ilustración 4. Mapa de las áreas más vulnerables al cambio climático de acuerdo a los impactos esperados para el 2050



Fuente: Naciones Unidas, Sustainable development in Latin America and the Caribbean 20 years on from the Earth Summit: progress, gaps and strategic guidelines de <http://www.unccd2012.org/rio20/content/documents/eclac.pdf>.

Según lo establecido por las Naciones Unidas en la conferencia acerca del desarrollo sostenible (RIO+20) (2011), América Latina y el Caribe tiene una contribución pequeña al cambio climático global, comparado con otras regiones.

Los costos estimados en América Latina y el Caribe por estos eventos se calculan por encima de 40 millones de dólares, por lo tanto, el incremento climático generado por las emisiones de gases de efecto invernadero representa un nuevo desafío para el desarrollo de estas regiones.

1.1.5 Bonos de carbono

A partir de la rúbrica del protocolo de Kyoto para hacer frente al incremento térmico, se diseñaron tres mecanismos de flexibilidad: comercio de las emisiones (artículo 17) entre los países del anexo I; implementación conjunta (artículo 6) – entre los países de economía en evolución y los desarrollados que están en el anexo I y los mecanismo de desarrollo limpio (MDL).

A raíz de los elementos de flexibilidad, se desarrolló el mercados de carbono, el cual es un espacio donde se comercializan contratos de compra y venta, donde una de las partes paga a otra por un determinado monto de disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los servicios mencionados anteriormente han experimentado un notable incremento desde sus inicios, el importe total convenido paso de USD 11 mil millones en el año 2005 alrededor de USD 150 mil millones en el año 2010.

Los activos que se comercializan en este mercado son:

- ✓ Permisos de emisión: Estos son fijados por los gobiernos a las empresas que realizan dichas emisiones de GEI, en relación a las obligaciones de disminución de emisiones convenidas en el marco del protocolo de Kyoto. El lugar de venta más significativo es el europeo (EU ETS – *european union emission trading scheme*), el cual es el lugar en donde pactan permisos llamados “EUAs” (*european union allowances*).
- ✓ Certificados de reducción de emisiones apoyados en proyectos: son organizados cuando un proyecto específico es catalogado de reducción y por ende es mejorado en un país en desarrollo o de Europa del Este y manifiesta que achica las emisiones de GEI en balance de lo que hubiera ocurrido en ausencia del proyecto. Los certificados emitidos por países en via de desarrollo en el ámbito del mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) son denominados “CERs” (*certified emission reductions*).

Por otro lado, los certificados concebidos por proyectos ejecutados en países de Europa del este en el marco del mecanismo de implementación conjunta (MIC) son denominados “ERUs” (*emission reduction units*).

- ✓ Certificados de reducción de emisiones voluntarias: son los certificados cuya mercantilización se efectúa en los mercados (vendedores) de carbono discrecional.

El mercado europeo es el más significativo a nivel mundial en la producción de carbono, determinando la solicitud y los importes en el resto de los mercados. Las autorizaciones de emisión concedidos en este marco son llamados (*european union allowances*) “EUAs”.

El EU ETS reglamenta las emisiones de aproximadamente 11,000 centrales de generación eléctricas, así como en instalaciones industriales concernientes a unas 5,000 empresas, que declaran alrededor del 40% del total de las emisiones de la región. Si embargo, las exposiciones de GEI de los contribuyentes están centralizadas en unas reducidas compañías: del sector eléctrico procede el 65% de las emisiones, mientras que 10 emisores son plantas generadoras que observaron demostraciones de aproximadamente 20% del total de las emisiones del año 2009.

El denominado “mercado voluntario de carbono” vislumbra todas las actividades comerciales (compra o venta) de créditos de carbono las cuales no se encuentran reguladas con una meta de disminución de GEI. En este grupo están incluidas las transacciones de créditos establecidos esencialmente para los mercados voluntarios (tales como los VERs – *verified emission reductions*), las operaciones en las cuales se comercializa en mercados controlados (como los CERs del MDL) a clientes que examinan libremente indemnizar sus emisiones.

Según el reporte “state of the voluntary carbon markets 2011”, en el año 2010, el precio promedio ponderado debido al volumen de los créditos mercantilizados en el mercado voluntario OTC cayó de US\$ 6.5 a US \$6 por tonelada de CO₂e.

Una de las características más importantes del mercado voluntario, son los servicios basadas en proyectos de disminución de emisiones.

Entre los proyectos más importantes se encuentran los relativos a la lucha contra el corte de los árboles y la reducción de los bosques, la recuperación de metano proveniente de rellenos sanitarios, contra sustancias que atacan la capa de ozono, y de energías renovables, entre los que se destacan los de generación de energía eólica, de hidroelectricidad y aprovechamiento de la biomasa.

1.1.6 Carencia de proteína a nivel mundial

La carencia de proteína a nivel mundial, es un hecho y esta se encuentra determinada por diferentes factores. Los expertos en población anticipan el incremento de 3 mil millones de habitantes en el planeta a mediados del siglo XXI. Sin embargo, la cantidad de tierra arable que es apta para la producción de alimentos no ha cambiado apreciablemente más de medio siglo y estiman que es improbable incrementar la tierra cultivable en el futuro debido a fenómenos que se encuentran en incremento tales como, la urbanización, la salinización y la desertificación.

El cambio climático tiene efectos negativos importantes para la agricultura y por lo tanto afecta el suministro de proteína para alimentación humana y animal. Los rendimientos de los cultivos más importantes de alimento y fibra declinan precipitosamente a temperaturas muy por encima de 30°C.

Entre otras razones esto es debido a que la fotosíntesis tiene un rango óptimo entre 20-25°C. Los cultivos de clima templado y las plantas se desarrollan más rápido con el incremento de temperatura, dejando menos tiempo para acumular los carbohidratos, grasas, y proteínas que constituyen la mayor parte de frutas y granos.

Las transiciones dietarias han resultado generalmente en altos consumos de carne. La ceba intensiva de animales es una manera bastante ineficiente de producir proteína dietaria y tiene también una variedad de impactos ambientales y de salud no deseados. La sustitución parcial de proteína animal por otras fuentes no convencionales podría ayudar a moderar estos impactos.

Todos los estados de la región del caribe son grandes compradores de proteína vegetal especialmente de maíz y soya, al igual que de harina de pescado, que se manipula para la producción de alimentos destinados a animales (ganado, cerdo, aves, peces, camarones). Las microalgas ya sea aquellas que producen grandes cantidades de lípidos (hasta un 40% de su peso en seco), están constituidas en su otro 60% de proteína. Esta proteína ya ha demostrado tener propiedades muy deseables como alta disponibilidad y excelente calidad de sus aminoácidos.

1.1.7 Responsabilidad social empresarial en latinoamérica

La competitividad empresarial, es hacia donde está prosperando el comportamiento de las empresas, basada no solamente en la producción de bienes monetarios, sino por el contrario en acciones que beneficien el entorno social y medioambiental de las mismas, a través de la admisión de políticas que mejoran las circunstancias profesionales, respetan los derechos humanos, desarrollan programas de recuperación de los ecosistemas naturales, entre otros.

Un estudio procedente de la universidad de Harvard dio como resultado que aquellas "las empresas que equilibran los requerimientos de los accionistas, empleados, proveedores, clientes y comunidad en general evidenciaron cuatro veces mayor crecimiento en comparación con las que no lo hacían y que solo tomaban en consideración los requerimientos de los accionistas". Esto significa que estamos frente a un nuevo modelo de negocio: empresas comprometidas y sensibilizadas con el ámbito social que las rodea, pero que al mismo tiempo requieren una rentabilidad económica.

Con la globalización de estas políticas y la idea de buscar indicadores comparativos a nivel mundial existen indicadores como el global reporting initiative, el indicador ETHOS, la norma SA8,000, la norma AA10000 y desde noviembre del 2010 la ISO 26,000. El crecimiento de empresas que se acogen a estas normativas crece día a día en los Estados Unidos y en Europa, pero las empresas Latinoamericanas, exceptuando las Brasileñas aparecen reportadas en un muy bajo número.

En cambio, el pacto mundial de naciones unidas en la región es asombroso. Este se fundamenta en diez elementos que deben presidir la conducta institucional de aquellos que se consolidan a él, basados en el amparo de los estándares laborales, derechos humanos, transparencia, medioambiente y anticorrupción.

Según el número de organizaciones que pertenecen al pacto mundial, si se realizara una medición de la reputación de la RSE en latinoamérica, no caben dudas que se evidenciara que el sector empresarial de esta región es muy responsable socialmente y ambientalmente hablando. Sin embargo, estamos al tanto que esto no refleja la realidad 100%. El 15 de abril del 2009, varias empresas se habían incluido al pacto mundial (1,005 empresas de 13 países) (de un total de 5,102, lo que correspondiente al 19.70%).

Un estudio más profundo evidencia que la colocación de los países se centraliza en 224 empresas miembro en México, 141 en Argentina y de 212 en Brasil.

Estas cifras son equilibradas con la dimensión y actividad del sector privado en estos países, de hecho, Chile entra en el séptimo lugar entre estos 13 países, posterior a, por ejemplo, Panamá y República Dominicana. Si se presta atención, las cifras de España, Canadá y Estados Unidos vemos que el 9% de las empresas firmantes son españolas, comparadas con el 0.03% y el 4.23% de empresas (mencionadas respectivamente). Concluyentemente las cifras no concluyen ser coherentes con la realidad.

Varios aspectos podrían ser evaluados con la finalidad de encontrar una explicación. Primero, es importante puntualizar que en varios países ha habido grandes campañas que han dado como consecuencia éxitos en éste aspecto y, en segundo lugar, debe tomarse en cuenta un aspecto un poco contrapuesto: en varios países las empresas se han incorporado al pacto porque en un principio, es respectivamente factible y no es vinculante para realizar alguna gestión concreta.

1.1.8 Experiencias en responsabilidad social ambiental (RSA)

En lo concerniente al impacto ambiental, varias empresas han tomado aliento para iniciar el fomento de proyectos que ayuden a disminuir las emisiones perjudiciales. Bastante apegado al caso narrado se encuentra CEMEX, aunque cabe destacar que esta empresa pertenece más a una excepción que a la norma habitual. Como empresa multilateral fabricante y repartidora de materia prima de construcción y cemento (CEMEX efectúa sus operaciones en más de 50 países) su funcionamiento tiene un huella en el medio ambiente muy significativa en emisiones de CO₂, uso intenso de energía, impacto de las canteras, importación, exportación y otros procesos.

Esta empresa a través del tiempo ha implementado un sistema de gestión de la sostenibilidad que abarca aspectos tales como el empleo de materia prima que requiera de menos energía en el proceso, invocar a energías renovables (eólica, biomasa, reutilización de residuos como aceites, disolventes y neumáticos) e indagación de técnicas que economicen la utilización de energía.

En el aspecto medioambiental, la pérdida de biodiversidad es un tema notable para países como Brasil y Colombia, por ejemplo, Natura en Brasil es una empresa de higiene personal y cosméticos (con un método de venta directo a través de representantes en más de 5,000 ciudades de Argentina, Chile, Francia, Perú, México, Venezuela y Colombia).

La empresa busca desarrollarse de forma sostenible, orientándose en la preservación ambiental y la biodiversidad. Una de las principales características de esta empresa es el uso de materia prima natural, captando parte de sus entradas en contextos de comercialización justa y de procedencia orgánica, sufragando una prima de 15% como media.

1.1.9 Sistemas de cultivos

Un sistema de producción cerrado o fotobioreactores (PBR, por sus siglas en inglés), son reactores tubulares o planos, en los cuales, los organismos fotótrofos son cultivados. En estos fotobioreactores, la luz (>90%) no se aplica directamente sobre la superficie del cultivo, sino que tiene que pasar a través de las paredes transparentes del sistema (reactor) para alcanzar las células. Los PBR ofrecen un ambiente cerrado y controlado que asegura unas condiciones estables para un mejor desarrollo de la especie deseada.

Las geometrías preferidas para los fotobioreactores, en producciones a gran escala son los reactores tubulares y los de placas. La idea en ambos es crear una gran superficie por unidad de volumen de iluminación y mantener la fase del fluido en capas relativamente delgadas para evitar zonas oscuras consideradas de baja producción de biomasa.

El cultivo de microalgas en cualquiera de los dos sistemas (abiertos y cerrados) dependerá de la consideración de los fenómenos propios del microorganismo y de las influencias de los factores físicos en el proceso, incluso a nivel industrial el uso de sistemas híbridos en los cuales se combinan los PBR abiertos y cerrados son una opción que se está evaluando de manera tecnológica. Por lo tanto, la identificación del mejor sistema de producción dependerá del análisis de cada proceso de manera particular con el fin de identificar la mejor opción a implementar.

1.2 Conceptos

1.2.1 Definición de microalgas

Las microalgas son organismos unicelulares, microscópicos, fotosintéticos, que tienen la capacidad de tomar la luz y el CO₂ del ambiente en el que se encuentran y producir O₂, junto con otra cantidad de biomoléculas de gran valor. Entre estas biomoléculas se encuentran principalmente proteínas, aceites, ácidos grasos, carbohidratos, polisacáridos vitaminas, colorantes, hormonas, etc.

1.2.2 Microalgas como alternativa para la captura de CO₂

La fijación de CO₂, se consigue actualmente a través de la fotosíntesis realizada por las plantas terrestres y por un gran número de microorganismos fotosintéticos. Sin embargo, se estima que las plantas pueden contribuir a una reducción solo del 3-6% de las emisiones globales de CO₂, mientras que las microalgas al crecer mucho más rápido que las plantas, su fijación de CO₂ puede llegar a ser 10 a 50 veces más alta.

Esta capacidad de fijación varía de acuerdo a la especie, algunas microalgas pueden fijar hasta 1.33g CO_{2m-3} h⁻¹. El CO₂ por medio del proceso de fotosíntesis es convertido en biomasa, la cual como ya se ha mencionado, puede ser utilizada para alimentación animal, elaboración de biocombustibles, medicamentos, cosméticos y alimentos de alto valor nutricional.

El CO₂ es considerado un nutriente crítico en el crecimiento de plantas y microalgas ya que el carbono es el nutriente más importante y representa aproximadamente la mitad de su peso seco. Las plantas superiores pueden utilizar el CO₂ del aire, mientras que la producción de microalgas requiere de una fuente enriquecida en CO₂ debido a que el atmosférico no es suficiente.

Varias formas de enriquecimiento pueden ser consideradas, entre las que se encuentran:

- ✓ El CO₂ comercial (100% comprimidos, licuados);
- ✓ Gases de combustión de las centrales eléctricas, siendo este último el foco de muchas actividades en este campo.
- ✓ Otras fuentes incluyen CO₂ generado por plantas de tratamiento de aguas residuales, refinerías de petróleo, instalaciones agrícolas entre otras.

Algunas microalgas pueden utilizar el CO₂ generado en plantas industriales de manera directa. Ciertas cepas de microalgas han mostrado ser resistentes a estos gases hasta concentraciones del 20% de CO₂, no son inhibidas con 50ppm de SOX, sin embargo, algunas pueden detener su crecimiento cuando el NOX también está presente con el CO₂.

1.2.3 Microalgas productoras de aceites

Las microalgas pueden acumular grandes cantidades de aceites; los principales componentes de la fracción lipídica son triglicéridos, ácidos grasos libres, ceras, esteroides, glucolípidos, fosfolípidos y pigmentos.

Los lípidos de microalgas son especialmente ésteres de glicerol, los cuales están integrados por ácidos grasos con cadenas formadas de 14-20 átomos de carbono. Dichos ácidos grasos se dividen en dos grupos: saturados o insaturados. Las microalgas acumulan gran cantidad de lípidos neutros como los triglicéridos (TG), los cuales son lípidos de reserva de las células y pueden llegar a formar hasta el 80% del total de la fracción lipídica total.

El aumento de los triglicéridos con relación a las secciones lipídicas, ha provocado un incremento en la atención a estos microorganismos, puesto que los TG, son precursores importantes en la producción de biodiesel.

Las microalgas también pueden producir ácidos grasos poli-insaturados (AGPI), los más comunes son el ácido araquidónico (AA), ácido docosahexanoico (DHA), γ -linolénico (GLA) y el ácido eicosapentanoico (EPA).

Éstos ácidos son importantes en el funcionamiento y desarrollo del cerebro, los tejidos y la retina los cuales se reproducen en niños y adultos. También han sido investigados en el tratamiento de diversas enfermedades y trastornos, incluyendo problemas cardiovasculares, diversos tipos de cáncer y enfermedades inflamatorias. Actualmente, solo el DHA es producido a escala comercial, mercado que está creciendo rápidamente, teniendo en este momento un valor de venta de 1.5 millones de dólares en EE.UU.

El conjunto total de lípidos y la genealogía de los ácidos grasos determinada para cada género y está relacionada a constituyentes ambientales como la intensidad luminosa, temperatura, pH, salinidad, concentración de nitrógeno y otros nutrientes. Cambiando uno o más de estos parámetros, el alga reacciona variando su perfil químico.

1.3 Cálculos y razones económicas de fundamentación

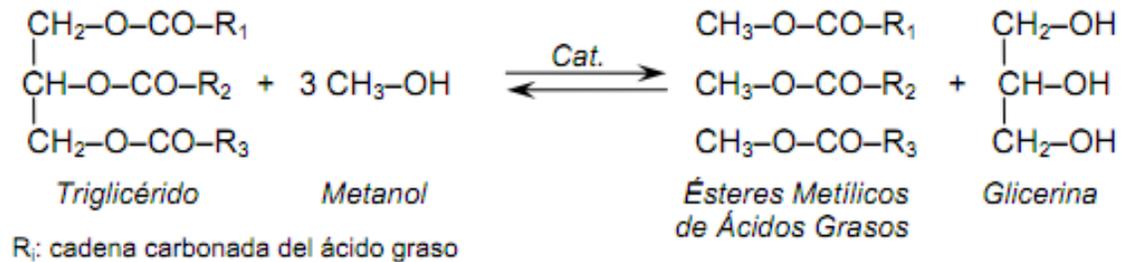
1.3.1 Producción de biodiesel y otros biocombustibles a partir de microalgas

Las microalgas son productoras de tipos de lípidos desiguales, hidrocarburos y otros aceites complejos. La producción de biodiesel a partir de microalgas generalmente se lleva a cabo por medio del proceso de transesterificación, el cual también es comúnmente utilizado en la obtención de este biocombustible partiendo de aceites vegetales y sebosas animales.

Estos aceites son utilizados en la elaboración de biodiesel y son principalmente triglicéridos, los cuales están compuestos por tres ácidos grasos y una molécula de glicerol. En la elaboración de biodiesel, los TG se hacen reaccionar con metanol en una reacción conocida como transesterificación o alcoholisis, con la presencia de un catalizador.

La transesterificación produce metilesteres de ácidos grasos que son el biodiesel y el glicerol. La siguiente gráfica muestra el proceso.

Ilustración 5. Reacción de transesterificación para producción de biodiesel



Además del biodiesel el cual es obtenido de la fracción lipídica de las microalgas, la biomasa restante también puede ser utilizada para obtener otro tipo de biocombustibles. Dentro de estos procesos el más promisorio desde la perspectiva práctica y económica es la digestión anaerobia de la biomasa libre de lípidos a través de la cual se puede obtener metano.

La digestión anaerobia de micro y macro algas ha sido ampliamente demostrada y se han reportado rendimientos de alrededor de 0.3 L por gramo de sólidos.

El valor comercial del metano producido es equivalente a USD 100 por tonelada de biomasa digerida. El remanente del proceso de digestión anaerobia puede ser reciclado como nutriente para el cultivo de algas o puede ser vendido como fertilizantes o acondicionador de suelos.

Adicional a la digestión anaerobia, tecnologías de conversión termoquímicas, como la pirólisis, gasificación y combustión se presentan como potenciales para ser consideradas en la generación de energía de la biomasa residual del proceso de extracción de lípidos, sin embargo, estas tecnologías aún se encuentran en desarrollo.

Después de la extracción de lípidos, la biomasa residual de microalgas puede contener niveles suficientes de carbohidratos que pueden ser convertidos a través de fermentación anaerobia a hidrogeno, solventes (acetona, etanol y butanol), y ácidos orgánicos (fórmico, acético, propiónico, butírico, succínico, and láctico).

El hidrógeno y el etanol pueden ser usados como biocombustibles, el butanol y los ácidos orgánicos pueden servir como materia prima renovable para la industria química. Por ejemplo, el butanol es un compuesto que por medio de la síntesis química permite la obtención de una variedad de productos, incluyendo polímeros que son actualmente producidos a partir de derivados fósiles etileno y propileno, así el butanol puede servir como un sustituto renovable.

Igualmente el succinato es un intermediario en la producción de una variedad de surfactantes industriales, detergentes, solventes y plásticos biodegradables.

El glicerol, generado como subproducto del proceso de transesterificación de lípidos de microalgas a biodiesel, también puede ser fermentados anaeróbicamente y obtener producto mencionados anteriormente u otros productos finales.

1.3.2 Biomasa: producto de alto valor agregado en el cultivo de microalgas

La biomasa de microalgas es de mucha importancia a nivel nutricional y en algunos países como Japón y Chile, ésta es adicionada a alimentos de alto consumo como la pasta y productos de panadería, con el fin de mejorar su perfil nutricional. La biomasa microalgal además de ser rica en lípidos, también contiene aminoácidos esenciales (leucina, isoleucina, valina, entre otros) y pigmentos como clorofila y caroteno y otras biomoléculas de alto poder antioxidante.

Una vez extraídos los lípidos, la biomasa residual puede ser utilizada para suplementos alimenticios de alto valor proteico. Actualmente, el mercado de las microalgas utilizadas como suplemento es de US\$ 2.5 billones y se espera que este crezca en el futuro. Las microalgas son también utilizadas como alimento en la acuicultura, para moluscos, crustáceos y peces, el tamaño del mercado se estima en US\$ 700 millones, el cual también se espera que crezca de manera significativa.

La biomasa de microalgas también se ha utilizado con buenos resultados (es decir, mejor respuesta inmunitaria, fertilidad, apariencia, aumento de peso, etc.) como aditivo para la alimentación de vacas, caballos, cerdos, aves de corral e incluso perros y gatos. En aves de corral, la biomasa puede usarse de manera segura hasta un nivel del 5 al 10% (en peso), e incluso se puede realizar una renovación parcial de las proteínas convencionales utilizadas en los alimentos para este tipo de animales.

En los EE.UU el mercado de alimentos para animales a partir de biomasa de microalgas está creciendo rápidamente y se estima alcanzará los 300 millones de dólares. La biomasa también puede ser usada como fertilizante, así como para la producción de otros biocombustibles, como biogás por medio de fermentación anaerobia.

1.3.3 Otras biomoléculas de microalgas de importancia comercial

Numerosos antioxidantes, ofrecidos en el mercado de alimentos saludables, se pueden encontrar en la biomasa algal. Dentro de estos los más abundantes son el β -caroteno el cual es vendido como extracto y su rango de precio se encuentra entre los 300 y 3,000 USD por kilogramo. El tamaño del mercado del β -caroteno puede estimarse en US\$ 280 millones, incluso puede ser mayor.

La biomasa y pigmentos de las microalgas también pueden ser usados como colorantes naturales para alimentos, cosméticos o pigmentos en la elaboración de alimentos para animales. La biomasa de la microalga *Haematococcus pluvialis* ha sido utilizada de manera exitosa en alimentación de salmones con el fin de mejorar el color rosado en su carne, lo cual es preferido por los consumidores. La astaxantina, y carotenoides relacionados como la luteína y zeaxantina, también se ha usado en alimentos de carpas y pollos. Las ficobiliproteínas como la ficoeritrina y ficocianina producida por las cianobacterias *Arthrospira* y *Porphyridium* son usadas como alimento, pigmentos en cosmética y como reactivos fluorescentes en laboratorios clínicos o investigación.

La biomasa microalgal es utilizada como fertilizante ya que además de mejorar la capacidad de retención de agua, contiene minerales que ayudan a mejorar la estructura de los suelos. Asimismo, las microalgas tienen la capacidad de producir fitohormonas o reguladores de crecimiento importantes en los cultivos.

Hay un número de productos especiales y químicos que también pueden ser obtenidos de microalgas, estos incluyen biofloculantes, biopolímeros y plásticos biodegradables, compuestos farmacéuticos y bioactivos, polisacáridos, e isótopos estables para investigación, sin embargo, el mercado de estos productos es aún muy pequeño debido a sus aplicaciones especializadas.

Adicionalmente, de la biomasa libre de lípidos, es posible recuperar celulasas u otro tipo de enzimas. Sin embargo, esto depende del tipo de microalga cultivada.

El mercado de las enzimas, específicamente de las celulasas para el tratamiento de materias primas lignocelulósicas previa a la fermentación para la producción de etanol para combustibles, ofrece un gran potencial debido al creciente interés de este tipo de biocombustibles a nivel mundial.

1.3.4 Concepto de biofábrica

Como se ha visto, las microalgas producen muchos insumos de alto valor agregado. Por lo tanto el desarrollo de un proceso integrado del procesamiento de algas para la producción secuencial de varios productos de la biomasa de algas puede reducir sustancialmente el costo de producción de biocombustibles y a la vez lo haría un negocio rentable. Por ejemplo, el aceite de algas y la biomasa pueden ser procesados para obtención de diferentes productos. Del aceite de algas, ácidos grasos omega 3, de alto valor agregado pueden ser separados y el resto del aceite se puede utilizar para la producción de biocombustibles.

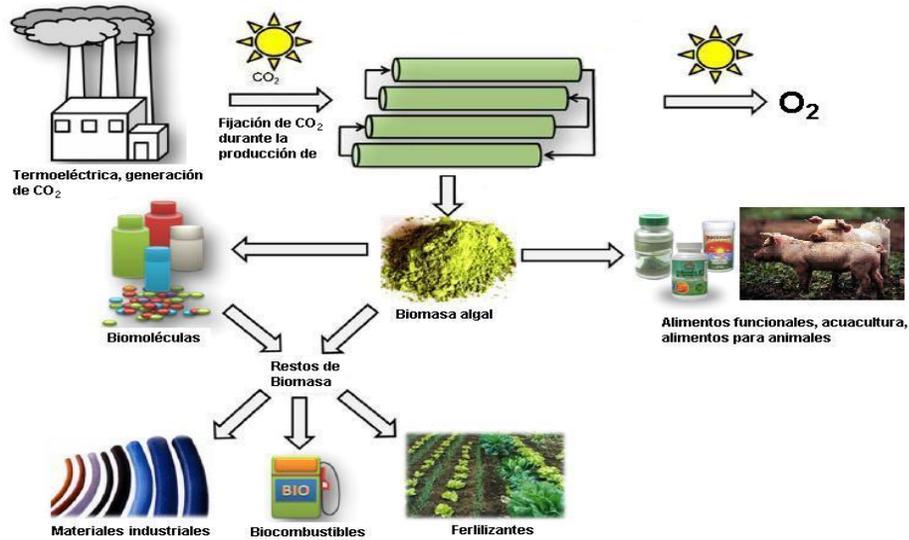
Una bio-refinería implica procesos y equipos para la conversión de la biomasa en combustible, energía y sustancias químicas de alto valor agregado. Esta instalación es análoga a las refinerías de petróleo moderno, que producen múltiples combustibles y productos a partir del petróleo crudo.

De acuerdo al estudio detallado de las bondades hasta ahora conocidas de las microalgas productoras de aceites, es importante resaltar, como si se logra encontrar una cepa que produzca más del 40% de aceites, la producción de biocombustibles se hace interesante.

Pero lo más interesante es poder desarrollar a la par de la producción de biocombustibles, muchos otros productos, de forma tal que se aproveche toda la biomasa microalgal de la mejor manera y con los mejores resultados, acogiendo los modelos de biofábricas.

Mediante la producción de diversos subproductos y biodiesel en un proceso secuencial a partir de la biomasa, una biorrefinería de algas aprovecha los distintos componentes de la materia prima y sus intermediarios, por lo tanto maximiza el valor derivado de la de biomasa como materia prima. Un ejemplo de biofábrica para la empresa termoeléctrica podría estar representado en la ilustración 6.

Ilustración 6. Esquema de biofábrica



Fuente:

Adaptación de: A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials K. G. Satyanarayana, A. B. Mariano and J. V. C. Vargas.²

La biomasa de algas puede producir muchos co-productos y este prototipo multi-producto lo hace un candidato perfecto para el concepto de biorrefinería.

1.3.5 Mercado potencial para productos y subproductos del cultivo de microalgas

1.3.6 Autoabastecimiento de combustible en la propia planta termoeléctrica

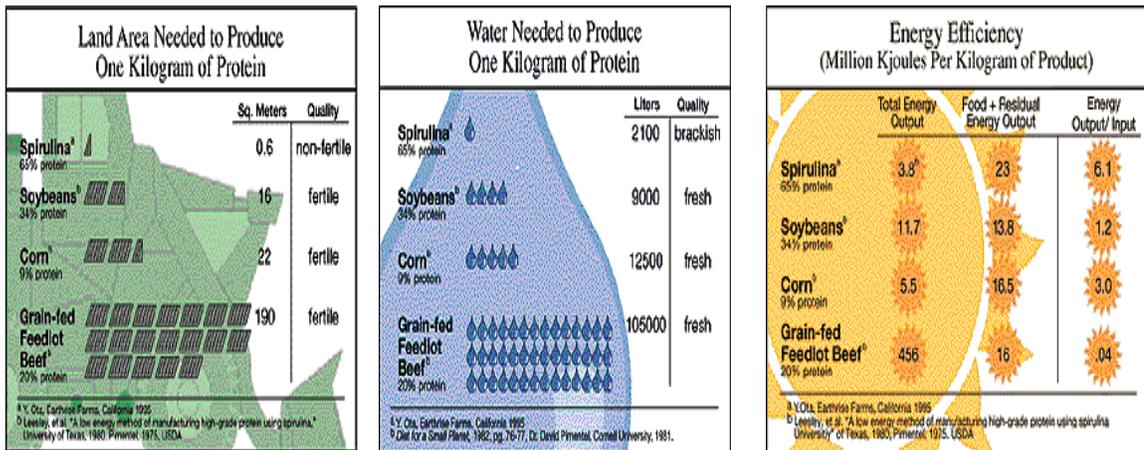
El biodiesel elaborado a partir de los lípidos producidos por las microalgas son catalogados como combustibles de tercera generación, los cuáles aunque aún en desarrollo presentan grandes ventajas para el futuro inmediato de los grandes consumidores de combustibles fósiles. Estos combustibles ante todo son renovables infinitamente, ya que en el caso de las microalgas, mientras tengan sus fuentes vitales de agua, luz y CO₂, tienen una tasa de crecimiento que en términos reales supera la de cualquier producción vegetal.

² Adaptación de: A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials K. G. Satyanarayana, A. B. Mariano and J. V. C. Vargas

Las áreas de siembra para estos cultivos así como el agua requerida son menores y la eficiencia en la transformación de energía solar es mayor como lo ilustra la ilustración 7. Así las cosas, la mayor ventaja es que no solo no compiten con terrenos propios de la agricultura para alimentación, sino que además son una fuente de proteína de alta calidad.

Es por esto que algunas empresas se promocionan como “fuel and food forever”.

Ilustración 7. Relaciones terreno / agua / energía para producción de spirulina frente a cultivos vegetales



Fuente: Earth Food Spirulin <http://www.spirulinasource.com/earthfoodch7b.html>

En una etapa industrial, el biodiesel producido de los lípidos provenientes del cultivo de microalgas en una extensión de 200 Ha, permitiría que la termoeléctrica contara con una fuente de biodiesel propia para cubrir al menos con los requerimientos de combustible de la nueva planta de 34.5 MW, al llegar a una producción cercana a los 120.00 barriles anuales.

Este sería el inicio de un programa orientado a sustituir en parte los combustibles fósiles para el auto- abastecimiento energético de la empresa termoeléctrica dominicana, con el valor agregado de utilizar el CO₂ generado en la termoeléctrica, el agua de mar y otros insumos existentes, en el proceso de

producción de microalgas, lo anterior, no solo permitiría disminuir los costos de compra de combustible para el arranque de la planta si no también generaría una imagen de una termoeléctrica comprometida con el desarrollo ambiental sostenible.

1.3.7 Mercado para subproductos

Al extraer los lípidos producidos por las microalgas, el resto de la biomasa que queda como materia seca (50 o 60% de su peso inicial) lo constituye en un alto porcentaje proteína de un alto valor nutricional. Pero también quedan otros compuestos de alto interés como se ha expuesto a lo largo de este informe.

Esta biomasa por su alto contenido proteico, puede ser utilizada en la elaboración de diferentes alimentos, puesto que contiene aminoácidos esenciales y otras biomoléculas de alto valor nutricional, el cual solo se podrá especificar cuando se determine la especie con la que se va a trabajar. Pero en general, el uso de la biomasa microalgal es utilizada para el desarrollo de productos de la alimentación humana y animal.

En el caso particular de alimentos para animales existe ya desde hace años una industria altamente desarrollada a nivel mundial. Entre las empresas líderes en la fabricación de estos productos se encuentran cellana, en Hawái, aurora algae en Australia y biomat S.A. en Uruguay.

En caso de llegar a los cultivos de 200 Ha, la producción de biomasa ascendería a 35,500 toneladas por año, con lo cual se podrían atender grandes frentes de los sectores que mejores oportunidades ofrezcan. Evaluando el potencial de aplicación de esta biomasa en alimentos animales, para República Dominicana se presentan algunos de los posibles clientes que ofrecen grandes potenciales para el consumo de los subproductos.

1.3.7.1 Sector ganadero

En República Dominicana, el sector ganadero domina el 48% de la tierra de aprovechamiento en el país, con 1.2 millones de hectáreas, relativamente mayor que la que se usa para cultivos, que es de aproximadamente 47% de la tierra dominicana. Dentro del subsector de la ganadería es una actividad vital económica es la “bovina” y la que mayor prorrato exhibe en todo el país.

En términos de distribución geográfica del ganado, la región Este de República Dominicana concentra la mayor cantidad de ganado (27%), con un total de 520,313 cabezas, continuado por la región nordeste (19%) con un total de 360,719. Esto nos da un total de cabezas de ganado de 1, 904,401, concentrado principalmente en pequeños productores. De acuerdo con la subsecretaría técnica de planificación de la SEA, en República Dominicana existen aproximadamente 68,656 productores de ganado bovino, en un total de 1.2 millones de hectáreas.

1.3.7.2 Sector avícola

En el país existen alrededor de 27 plantas incubadoras de huevos fértiles para la producción de pollitos. Una cuarta parte de estos pollitos es destinada a la crianza en granjas de las mismas plantas incubadoras para la obtención de pollos terminados. Otra parte de la producción es destinada a productores de pollos, que se dedican a la crianza y engorde para su comercialización, como pollos terminados.

Los productores de pollo se encargan de la crianza y desarrollo de estos hasta llevarlos a condiciones de crecimiento suficiente para su comercialización (pollos terminados). Una vez finalizados son ubicados en el medio de venta, donde los negociantes terciarios o directos y transportados a las empresas. Los mataderos industriales o grandes ordenadores de pollos vivos suministran a las tiendas y las cadenas hoteleras del país de pollos limpios y empacados.

En República Dominicana, los animales son alimentados a base de alimentos balanceados, que varía dependiendo de la edad y la etapa en la que se encuentren los animales. Estos alimentos son preparados con insumos diferentes, tanto nacionales como importados, y son preparados bajo técnicas industriales para garantizar los nutrientes que debe consumir el animal.

La materia prima manejada en la producción de alimentos en República Dominicana son sorgo, maíz amarillo, sub-productos del trigo, harina de soya, aceite de pescado, de algodón y refinado de soya. Por otro lado, las fuentes de proteína para la alimentación de pollos son torta de maíz, harina de pescado, pasta de algodón y torta de girasol. Además se usan pequeñas cantidades de vitaminas, minerales y algunos medicamentos, que ayudan a controlar las enfermedades. El maíz es el principal insumo para la alimentación pollos, es solamente entre el 3% y el 5% es proveniente de nuestro país.

Gran parte de los costos de producción de carne de pollo está representada por los alimentos balanceados y demás nutrientes que deben ser suministrados a los animales. Dependiendo de la época, estos pueden representar entre el 55 y el 65% de los costos de producción. El siguiente ítem en importancia en el costo es la compra de pollitos bebés para iniciar su etapa de crecimiento y desarrollo.

1.3.7.3 Agricultura orgánica

El ministerio de agricultura, en un comunicado emitido en febrero del 2011, destaca un incremento continuado del sector derivado de la agricultura orgánica en República Dominicana, el cual se ha desarrollado con una regularidad de 25-30 % anual, especialmente el cultivo de cacao orgánico.

Actualmente nuestro país es líder mundial en la producción de cacao y banano orgánicos con áreas estimadas de producción en (1, 728,000 tareas de cacao) y (300,000 tareas de banano).

El país tiene en total unas 2,376,984 tareas certificadas y dedicadas a la agricultura orgánica, utilizadas por 14 tipos agrícolas con valor comercial. En esta actividad agrícola destacan dos rubros principales (banano y cacao) se sitúa en 174 millones de dólares/año, en el caso del cacao 110 millones y 64 millones de dólares en banano orgánico. El ingreso total de la RD por percepción de exportación de estos productos es de una cantidad muy cercana a US\$200 millones de dólares por año.

Es importante señalar que el país no ha utilizado miles de litros de veneno para el exterminio de plagas y males agrícolas, los cuales al ser lanzados en los campos, llegan a ríos y arroyos y de allí al mar, afectando los ecosistemas terrestres y marinos y por ende la salud humana.

En lo correspondiente al uso de fertilizantes químicos de clase sintética el país ahorra unos 70 millones de dólares por año, impidiendo al mismo tiempo degradación del suelo, contaminación ambiental y/o contaminación del agua. Los agroecosistemas orgánicos causan la relación armónica lo más natural que sea posible entre los factores bióticos y abióticos obviando el quebrantamiento del equilibrio natural y la contaminación ambiental. Es un hecho que los suelos se desgastan con el paso de tiempo y el cúmulo de cosechas, así que cada vez más se irán necesitando productos destinados a palear estos hechos.

Se ha comprobado reiteradamente, que el uso de microalgas como materia prima principal de insumos orgánicos, genera excelentes resultados, debido principalmente apetecido por el alto contenido de minerales, exopolisacáridos y fitohormonas.

CAPITULO II: ACCIONES PARA LA VISIÓN, PROYECCIÓN EMPRESARIAL, PRESUPUESTO Y RAZONES FINANCIERAS

2.1 Bonos de carbono

Según el reporte “state of the voluntary carbón markets hecho en el 2011”, en el año 2010, el precio promedio ponderado por volumen de los créditos que ha sido comercializados en el mercado voluntario OTC era de US \$6 por tonelada de CO₂.

En el caso de implementar los cultivos de microalgas en extensiones de 200 Ha, el CO₂ capturado sería de unas 48,000 toneladas al año, equivalente a más de la mitad de las emisiones de CO₂ generadas en una planta termoeléctrica de gas natural y un 25% de las emisiones de la planta termoeléctrica (conjunto gas natural/ carbón). Este solo hecho constituiría a ésta como una de las generadoras eléctricas con menos emisiones en la región.

Con la disponibilidad de biomasa de microalgas se podría suplir las demandas de los mercados de alimentos balanceados para animales, brindando una materia prima de alto valor nutricional, la cual podría disminuir las importaciones de las materias primas mencionadas, aportando a su vez, minerales y vitaminas que pueden encontrarse en las biomasa microalgal.

Otros sectores interesantes para explotar en este sentido son el piscícola y el camaronero, así como el de concentrados para mascotas; el sector agrícola igualmente presenta un potencial interesante ya que se podrían producir fertilizantes y mejoradores de suelos como co-productos del proceso.

Todo lo anterior, le permitiría a la empresa termoeléctrica tener un mercado de subproductos en el proceso de obtención de biodiesel y de lípidos de microalgas, generando nuevos ingresos y brindando nuevas opciones para muchos otros sectores industriales.

2.2 Plan de implementación y organización

2.2.1 Recursos necesarios para la implementación del programa

Esta propuesta se ha presentado como atractiva desde un comienzo para una empresa termoeléctrica dominicana ya que se detectaron condiciones que posee el Mar Caribe muy favorables que pocas plantas en el mundo podrían tener.

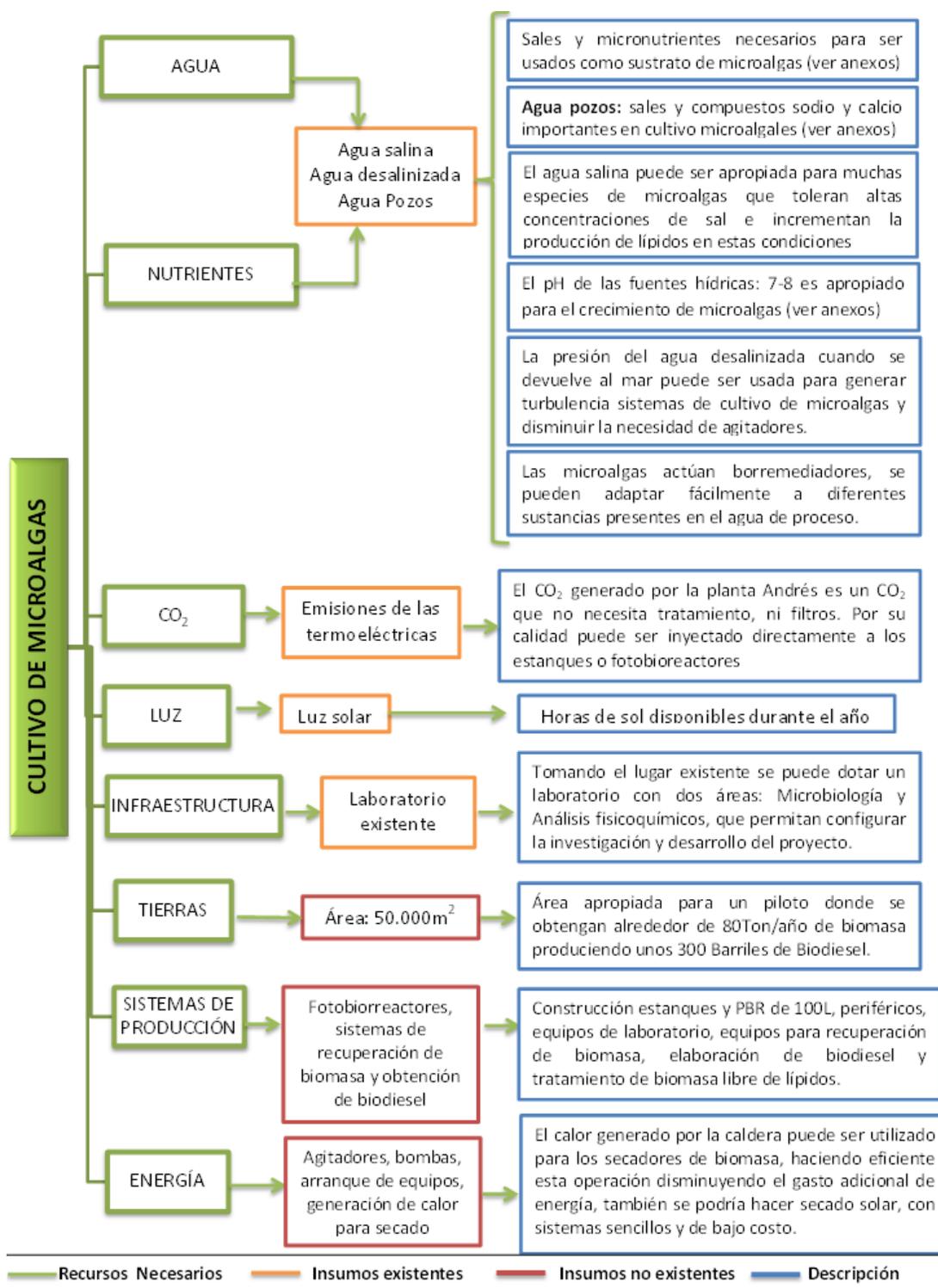
La mayoría de la empresas termoeléctricas tienen una ubicación privilegiada para el montaje de este programa, al contar con un flujo continuo de CO₂ de muy buena calidad, estar al lado del mar y contar con agua salina, desalinizada y de pozos en abundancia, la cual además es conducida por un sistema de bombeos y tuberías que eventualmente permitirían ahorrar costos de mezcla en el proceso.

El terreno con que cuentan permite iniciar una fase semi-industrial y el terreno alrededor de la planta está para la venta y permitiría futuras expansiones hasta llegar a la etapa industrial.

Otra ventaja es que a raíz de los procesos de la termoeléctrica se cuenta con fuentes de calor para procesos de secado, que permitirán con un buen diseño, hacer de ésta, una planta con un balance positivo de energía.

La planta cuenta con un espacio de laboratorio, el cual igualmente se intentará adaptar y aprovechar al máximo.

Tabla 3. Recursos necesarios para la implementación del programa: producción de biodiesel a partir de microalgas en termoeléctrica dominicana

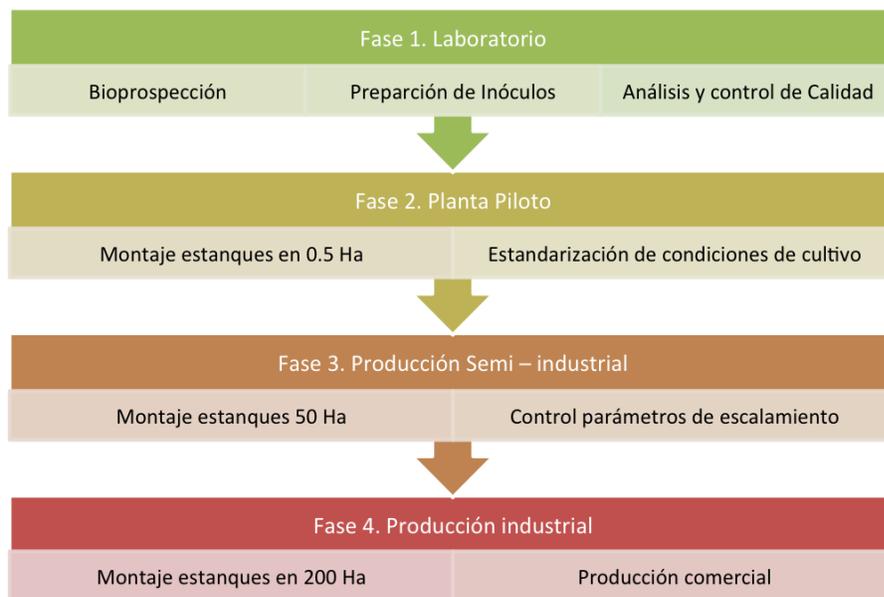


Para hacer más ilustrativo, en la tabla 2 se presentan en resumen, los recursos necesarios para la implementación del cultivo de microalgas para el cultivo de lípidos para biodiesel en una termoeléctrica dominicana.

Los reportes de temperatura de la ONAMET muestran temperaturas muy constantes a lo largo de todo el año, dentro de los rangos de temperatura óptima para estos cultivos (27 – 32 °C). Las intensidades de luz solar a lo largo del año son también dentro de lo previsible constantes y con algunos arreglos tecnológicos aprovechables al máximo.

2.3 Fases para la implementación del cultivo de microalgas

Ilustración 8. Fases de implementación del programa



Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comprensión del proceso, éste se describirá como etapas de cadena de valor, según se muestra en la ilustración 6. Teniendo en cuenta que la fabricación de biodiesel a partir de microalgas es dependiente de la cantidad de lípidos que estos microorganismos acumulen en su estructura, la primera etapa de la cadena, es la selección de las cepas con mejores

características para este propósito, con el fin de generar mayores rendimientos en el proceso y por ende menores costos de producción.

El sistema de producción se presenta de manera esquemática en el siguiente diagrama.

Ilustración 9. Diagrama del proceso de producción de biodiesel a partir de microalgas



Fuente: Elaboración propia

Las demás etapas del proceso de producción de microalgas de manera general están constituidas por una unidad de producción donde se cultivan las células bajo condiciones de cultivo específicas para cada especie de microalga y propósito de producción.

Posteriormente, se tiene una etapa de separación de las células de los medios de cultivo para seguir con las operaciones de extracción de lípidos, el biodiesel se produce en etapas siguientes con los procesos y tecnologías existentes, utilizadas con otras materias primas con las que también se produce biodiesel.

Como se mencionó anteriormente, la descripción de las fases para el desarrollo del proceso productivo de microalgas se realiza teniendo en cuenta las condiciones favorables que ofrece la termoeléctrica para llevar a cabo este programa. Se hace la aclaración que en cada etapa productiva se evalúan en términos de productividad sistemas abiertos y cerrados a manera de ilustración, o más bien con la idea de al llegar a la etapa real de diseño, se tenga en cuenta la opción de sistemas híbridos.

Por las condiciones rocosas del terreno y lo costoso que sería cavar estanques, se proponen sistemas de estanques construidos sobre el piso.

2.4 Fase 1. Implementación de laboratorio para el mantenimiento de cepas microalgales

El objetivo de esta primera etapa es conformar un laboratorio para el mantenimiento de las cepas de microalgas, la producción de inóculos, el control de calidad de los cultivos, medición de la productividad de aceite, calidad de los ácidos grasos originados, calidad de la biomasa y cuantificación de todas las biomoléculas de interés. Esta etapa deberá desarrollarse desde el comienzo del primer año, puesto que brindará las condiciones necesarias para la identificación y caracterización de cepas de microalgas de la región, en un proceso conocido como bioprospección.

En este trabajo de investigación se realiza un resumen de las microalgas consideradas como potenciales para la fabricación de biodiesel, en función de la cantidad y calidad de aceites que logren producir, bajo condiciones controladas. Ya que los aceites obtenidos de estas microalgas varían ostensiblemente de acuerdo a las condiciones del medio en que se encuentran, éstos deberán ser caracterizados con el fin de establecer su aptitud para la producción de biodiesel que cumpla con las especificaciones técnicas y de calidad internacionalmente reconocidas para este tipo de biocombustible (p. ej. norma ASTM D975-08a)

Después de encontrar las cepas más promisorias, en esta etapa se busca que los microorganismos se adapten a las nuevas condiciones de cultivo. Por lo tanto parámetros como composición medio, el pH, temperatura, irradianza, velocidad de agitación deben ser cuidadosamente controlados para conseguir un óptimo de crecimiento y de producción de lípidos. En esta etapa se diseñan y estandarizan todas las fases del proceso de elaboración, con la finalidad de lograr un proceso de escalamiento exitoso.

2.4.1 Implementación de un cultivo piloto

El objetivo de esta fase es implementar un cultivo piloto en una extensión de 500 m² (0.5 Ha), con una producción de 20,000 litros anuales de biodiesel (puede ser hasta un 20 o 30 % más, en función de la cepa y el proceso elegidos). En esta etapa se construirá una planta piloto de pequeña escala con el objetivo de estandarizar las operaciones de producción de las microalgas, así como el proceso de trans-esterificación para obtención de biodiesel.

Aunque estas son tecnologías existentes y probadas, la adaptación tecnológica de las mismas es fundamental. Con un buen recurso humano y una buena dotación del laboratorio, estas dos primeras etapas pueden llegar a desarrollar mejoras o novedades, que se constituyan en adelantos científicos y tecnológicos de alto interés para la comunidad internacional.

Los requerimiento tecnológicos para esta etapa (0.5 Ha), están enfocados principalmente al montaje de las unidades de producción. En esta etapa, según cálculos preliminares y teniendo en cuenta todos los factores mencionados a lo largo de este informe, se requerirían 5.33 unidades de estanques abiertos tipo raceway, de 12m de ancho, 80m de largo y 0.30m de profundidad (especificaciones comerciales actualmente en producción), con un volumen efectivo de 1,573,416 litros de cultivo.

Si se utilizaran PBR, las unidades de producción necesarias serían tres (3). Cada unidad conformada por 132 tubos de 8m de longitud y 0.06m de diámetro (especificaciones comerciales actualmente en producción), equivale a una capacidad volumétrica efectiva de 164,220 litros de cultivo. El mejor diseño probable es la combinación de estos dos sistemas.

Las unidades de producción deberán estar equipadas de sus elementos periféricos para su funcionamiento, acompañados de sistemas de recuperación de biomasa y tanques de reacción para la obtención de biodiesel. Adicionalmente, se necesitarán de tanques y sistemas de secado para la biomasa residual del proceso. Con el fin de estandarizar las características de los productos obtenidos, estos deberán ser analizados a través de pruebas microbiológicas y fisicoquímicas con el fin de cumplir las especificaciones de calidad necesarias.

Tabla 4. . Estimados de producción y captura de CO₂ por dos sistemas de cultivo

Sistema cultivo	Conc. Lípidos (%)	Área (Ha)	BIODIESEL			BIOMASA		CO ₂
			Barril/año	Gal/año	Gal/mes	Ton/año	Ton/mes	Ton CO ₂ /año
Raceway	30	0.5	154	5,123	427	65	5.42	119
Raceway	50	0.5	256	8,538	711	65	5.42	119
PBR*	30	0.5	212	7,058	588	89	7.39	162
PBR	50	0.5	353	11,764	980	89	7.39	162

Fuente: Elaboración propia

*PBR; fotobiorreactor

Para el cultivo a pequeña escala (0.5 Ha), la tabla muestra los estimados de producción de biomasa y biodiesel, en dos sistemas de cultivo (raceway y fotobioreactor) y la captura de CO₂, asumiendo dos concentraciones lipídicas en las microalgas del 30 y 50% (p/p).

2.5 Fase 3. Implementación de un cultivo semi-industrial (50 Ha)

En esta fase el objetivo es implementar un cultivo a escala semi-industrial en un área de 50 Ha, con la producción de al menos 25,000 barriles al año de biodiesel, cantidad equivalente a la requerida para el arranque de una planta generadora dominicana (valor de referencia por ser este un proceso en el que actualmente se requiere fuel oil No. 2 y 6).

Esta etapa es importante puesto que permite obtener cantidades interesantes de producción que llevan a entender las necesidades del proceso a escalas superiores.

Se debe tener en cuenta que en esta etapa suelen ocurrir cambios en los rendimientos de biomasa y producto, puesto que el efecto sobre la célula puede llegar a ser muy grande así se conserven las mismas características del sistema de la etapa anterior.

Por lo tanto, en esta etapa frecuentemente se necesitan reajustes que permitan mantener o mejorar los rendimientos, una vez ajustados si se mantienen constantes de manera satisfactoria se puede empezar la producción a escala industrial.

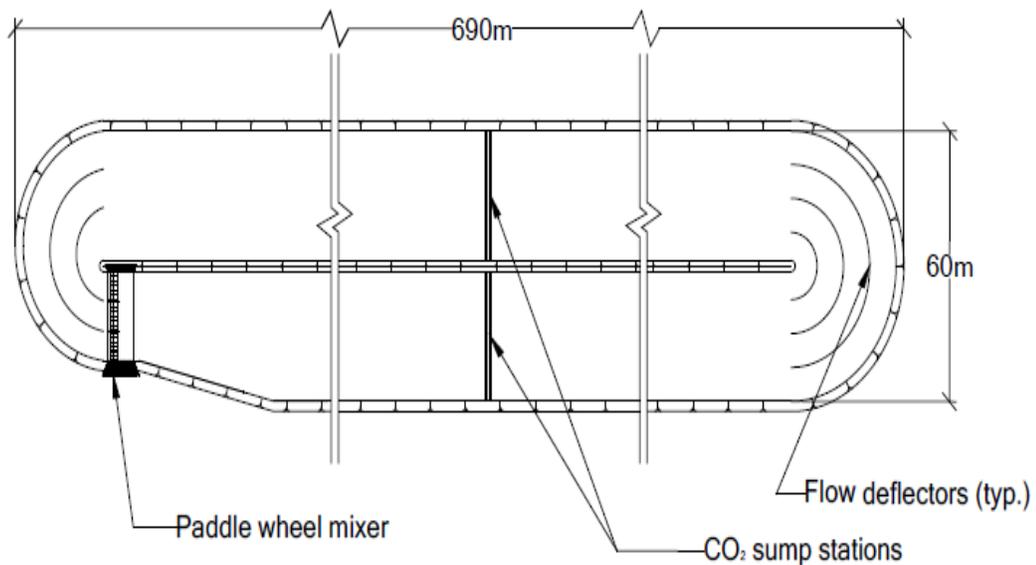
A modo de ejemplo, el diseño de los estanques para 50 Ha se representan gráficamente.

Aunque el largo de los estanques se puede modificar con el fin de maximizar el uso de la tierra y los sistemas de mezclado, se debe tener en cuenta que la longitud del estanque requiere de diferentes puntos de inyección de CO₂.

La máxima longitud recomendada es de 690m de largo por 60m de ancho con 0.3m de profundidad (Lundquist, et. al. 2010). Con las especificaciones anteriores se tendría un volumen de trabajo de 157, 341,600 litros de cultivo. De esta manera se necesitarían 13 unidades, cada una aproximadamente de 4 Ha.

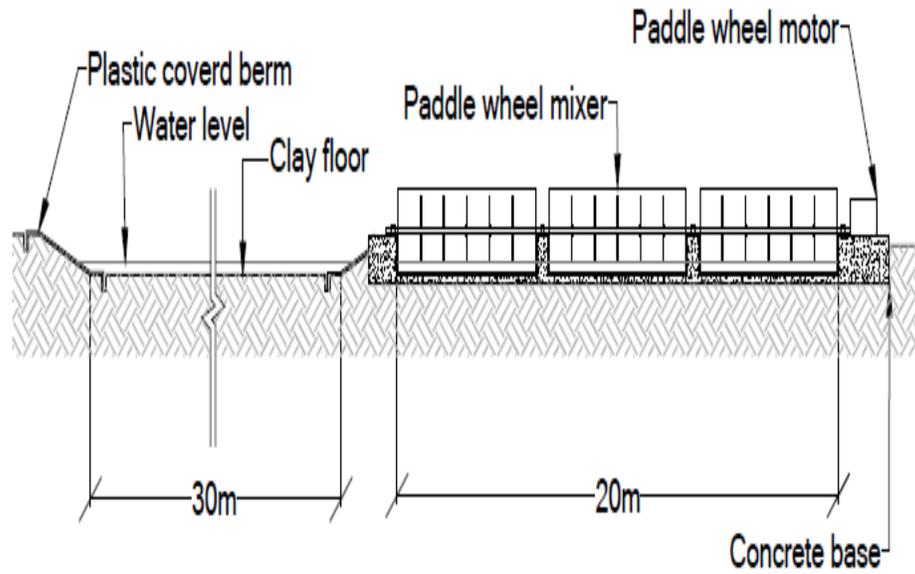
A continuación, se muestra un plano propuesto, que describe de manera general las especificaciones del sistema raceway.

Ilustración 10. Plano de un sistema abierto tipo raceway (aprox. 4Ha)



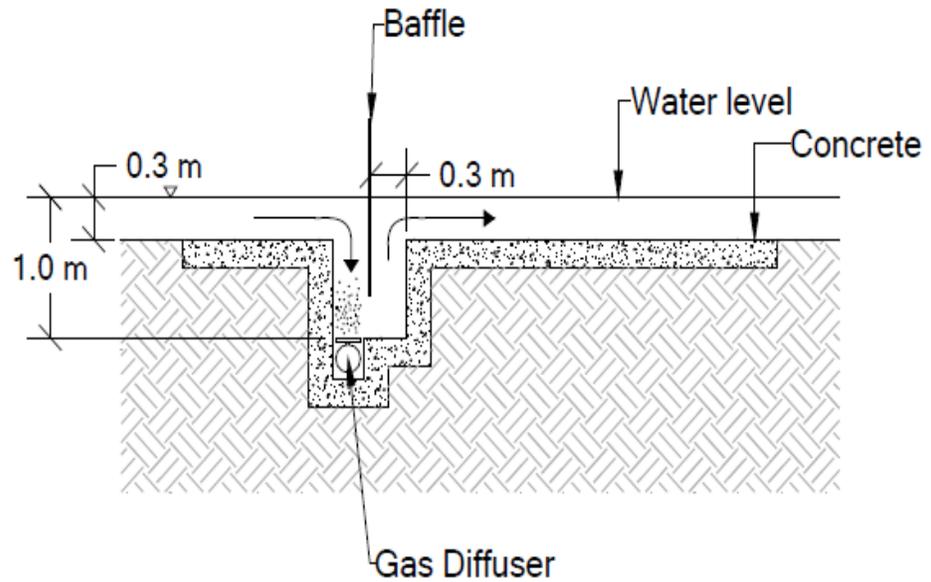
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Vista de la sección del sistema de agitación por medio de paletas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12. Sistema de inyección de CO₂ al raceway



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13. Foto de un cultivo de microalgas en estanques



Fuente: www.biodisol.com

Utilizando PBR, las unidades de producción necesarias serían 545, de 132 tubos cada una, con un volumen de efectivo de producción total de 16, 273,700 litros. Además se necesitarían equipos para la recuperación de biomasa, tanques de reacción para la obtención de biodiesel y pruebas de calidad para el biodiesel y subproductos del proceso.

Para la producción a nivel piloto (50 Ha), la tabla muestra los estimados de producción de biomasa y biodiesel, en dos sistemas de cultivo (raceway y fotobioreactor) y la captura de CO₂, asumiendo dos concentraciones lipídicas en las microalgas del 30 y 50% (p/p).

Tabla 5. Estimados de producción y captura de CO2 para dos sistemas de cultivo

Sistema cultivo	Conc. lípidos (%)	Área (Ha)	Biodiesel			Biomasa		Captura CO2
			Barril/año	Gal/año	Gal/mes	Ton/año	Ton/mes	Ton CO2 /año
Raceways	30	50	15,368	512,275	42,690	6,500	542	11,895
Raceways	50	50	25,613	853,783	71,149	6,500	542	11,895
PBR	30	50	21,175	705,847	58,821	8,864	739	16,221
PBR	50	50	35,292	1,176,402	98,034	8,864	739	16,221

*PBR; fotobioreactor.

2.6 Fase 4. Implementación de un cultivo -industrial (200 Ha).

El objetivo de esta fase sería implementar un cultivo a escala industrial en un área de 200 Ha con una producción de alrededor de 100,000 barriles anuales. Esta cantidad de combustible, sería la equivalente a la necesaria para la operación de una termoeléctrica de 34.5 MW.

Para 200 Ha, el sistema raceway se realizaría de acuerdo a las especificaciones de la fase piloto, con 690m de largo, 60m de ancho y 0.3m de profundidad. De esta manera para los cálculos mostrados en la tabla anterior, se necesitarían 50 unidades, cada una aproximadamente de 4 Ha.

El volumen efectivo de trabajo en el total de unidades sería de 629,760.00 litros de cultivo. Utilizando PBR, para cada 100Ha se necesitarían 1,090 unidades cada una de 132 tubos, con un volumen efectivo total de 32, 577,260 litros de cultivo. En esta etapa además del diseño de reactores a mayor escala se requiere del diseño de servicios que acompañen a este sistema y una etapa adicional de acuerdo a los volúmenes de producción para la separación del producto y elaboración de biodiesel, sin dejar de lado las operaciones de control de calidad en todos los puntos del proceso.

Los estimados de producción de biomasa y biodiesel en dos sistemas de cultivo (raceway y fotobiorreactor) y la captura de CO₂, asumiendo dos concentraciones lipídicas en las microalgas del 30 y 50% (p/p); se muestran para la fase industrial (200 Ha), en la siguiente tabla.

Tabla 6. Estimados de producción y captura de CO₂ por dos sistemas de cultivo

Sistema cultivo	Conc. Lípidos (%)	Área (ha)	Biodiesel			Biomasa		Captura co2
			Barril/año	Gal/año	Gal/mes	Ton/año	Ton/mes	Ton CO ₂ /año
Raceways	30	200	61,473	2,049,101	170,758	26	2,167	47,580
Raceways	50	200	102,454	3,415,132	284,594	26	2,167	47,580
PBR	30	200	84,702	2,823,386	235,282	35,455	2,955	64,882
PBR	50	200	141,168	4,705,608	392,134	35,455	2,955	64,882

*PBR; fotobiorreactor.

2.7 Cronograma de implementación

Ilustración 14. Cronograma de implementación

Actividad	Mes		Trimestres															
	Inicio	Finalización	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12 al 40			
Definición compra de los equipos de laboratorio	1	3	■															
Compra de equipos de laboratorio	1	3	■															
Adecuación de laboratorio	1	3	■															
Recolección y caracterización de cepas	3	9		■	■													
Compra de materiales e insumos para producción 0,5 Ha	3	9		■	■													
Comienzo adecuación de terreno 0,5 Ha	3	9		■	■													
Estandarización de técnicas	3	12		■	■	■												
Estandarización de proceso de producción de microalgas a nivel de laboratorio	3	12		■	■	■												
Estandarización del proceso de extracción de aceites	3	21		■	■	■	■											
Estandarización del proceso de producción de biodiesel	3	21		■	■	■	■											
Estandarización del proceso de secado de biomasa	9	21			■	■	■	■										
Construcción de biorreactores	9	12			■													
Pruebas de calidad para biomasa y biodiesel	12	21				■	■	■										
Producción de 0,5 Ha	21	36								■	■	■	■	■				
Ajustes de las variables proceso a escala de 0,5 Ha	21	36								■	■	■	■	■				
Construcción de 50 Ha	24	36								■	■	■	■	■				
Resultados de 0,5 Ha y análisis de puesta en marcha de 50 Ha	36	36													■			
Producción de biodiesel y biomasa a escala de 50 Ha	36	120														■		

Fuente: Elaboración propia

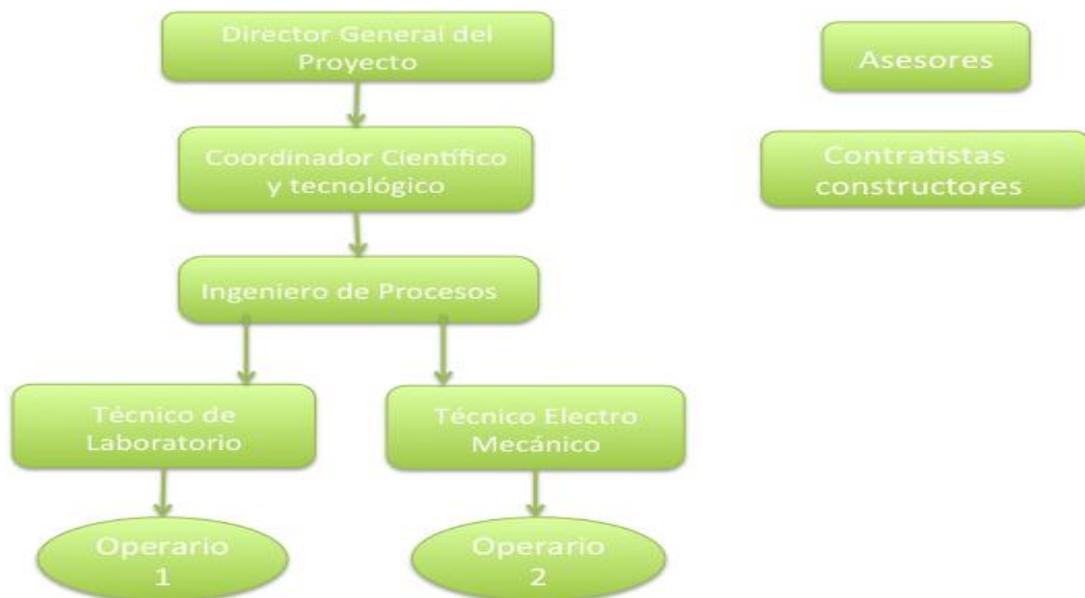
Las fases de implementación y el cronograma son optimistas, en cuanto a que se espera una respuesta oportuna de todos los proveedores, así como respuestas positivas en las pruebas microbiológicas y fisicoquímicas que se lleven a cabo.

Quizás en una siguiente etapa es importante hacer un estudio más detallado del cronograma que aquí se presenta. La estructura organizacional está contemplada para que el grupo consultor – ejecutor realice sus labores de manera eficiente, contemplando siempre la posibilidad de ir a la par formando el capital humano dominicano.

2.8 Estructura organizacional

Para la ejecución y desarrollo del proyecto se propone la contratación de un grupo consultor-ejecutor del proyecto, el cual inmerso en las instalaciones de una termoeléctrica tenga la libertad y maniobrabilidad oportuna de desarrollar las actividades propuestas en el cronograma.

Ilustración 15. Propuesta para la estructura organizacional del programa



Fuente: Elaboración propia

Director general del proyecto

Es una persona con perfil ejecutivo y gerencial con amplio conocimiento en la ejecución de proyectos tecnológicos, en lo administrativo, técnico y financiero.

Su labor será dirigir el proyecto durante toda su ejecución, velando por el cumplimiento de términos y condiciones presupuestales, técnicas y cumplimiento de cronogramas.

Coordinador científico y tecnológico del proyecto

Persona experta y con amplia experiencia en el montaje de proyectos de investigación biotecnológicos, específicamente en el campo de las Microalgas.

Su función será diseñar e implementar los procesos idóneos para el logro de los mejores rendimientos en cada una de las etapas, en los ámbitos técnicos, científicos y de calidad.

Ingeniero de procesos

Ingeniero de procesos biotecnológicos, agroindustriales o áreas afines, con habilidad y experiencia en el desarrollo ingenieril de procesos productivos.

Su función será ejecutar las acciones correspondientes a cada una de las fases del proyecto, velando por su estricto cumplimiento en términos de rendimientos y calidad.

Técnico de laboratorio

Persona con el título de técnico de laboratorio, con amplia experiencia en técnicas biotecnológicas y fisicoquímicas.

Su labor será tener a punto todas las técnicas necesarias en las áreas de microbiología industrial, biología molecular y fisicoquímica, cuantitativa y cualitativa necesaria para el desarrollo del proyecto.

Técnico electromecánico

Persona con el título de técnico electro-mecánico o equivalente, con experiencia en montaje y manejo de sistemas de control.

Su función será responsabilizarse por el montaje y óptimo funcionamiento de los sistemas de control necesarios en cada una de las operaciones del proceso.

La implementación del programa de producción de microalgas para la producción de biodiesel en una termoeléctrica, presenta grandes ventajas frente a otros productores con necesidades similares. La disponibilidad en abundancia de los recursos vitales para el buen desarrollo de los cultivos, hacen de este un proyecto altamente factible.

Las condiciones de ubicación de esta planta con abundancia de agua marina y su facilidad de bombeo, la calidad del CO₂, la temperatura y la intensidad de la radiación solar, sumado a las posibilidades de expansión a terrenos aledaños, aseguran un desarrollo exitoso del programa.

CAPÍTULO III: RESULTADOS FINANCIEROS: ANÁLISIS, RIESGOS Y FACTORES DEL EMPRENDIMIENTO

3.1 Análisis financiero

A continuación se muestran los resultados de un modelo financiero basado en cotizaciones de equipos, mano de obra, suministros, servicios, valores de terreno, etc., así como de los precios de venta del biodiesel, la proteína para consumo animal y los bonos de carbono.

También se ha calculado el valor actual neto (VAN) para de esta manera evidenciar que técnica es más rentable en la etapa del proceso de obtención de biodiesel.

Se ha ejecutado un análisis de sensibilidad para la verificar las variaciones de dos más parámetros económicos que son el porcentaje de lípidos presentes en las microalgas y el precio de venta del aceite de microalga sin refinar.

Tabla 7. Datos económicos

Datos económicos		
Valores en USD		
Inversión en 0.5 Ha fase 1 y 2	1,839,988	
Inversión en 50 Ha fase 3	11,952,500	
Precio actual biodiesel por litros	1.26	
Precio actual proteína en toneladas	385	
Precio actual de Co2 en toneladas	6	
Producción anual biodiesel fase 3	3,227,304	litros
Producción anual de proteína fase 3	6,504	Toneladas
Producción anual de carbono fase 3	1,188	Toneladas
Costo de capital	20%	
Valor presente neto a 10 años	-997,178	
Valor presente neto a 20 años	1,680,262	
Nota: El análisis financiero no incluye el pago del impuesto sobre la renta		

Fuente: Elaboración propia

El costo de la biomasa de microalgas se modifica en relación a la técnica de cultivo de las microalgas. Tal y como ha sido expresado en la segunda parte de este trabajo, la producción de las microalgas en estanque y en fotobioreactores tiene una obtención y un costo de inversión desigual.

Tabla 8. Costos y gastos

Años		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos de bienes producidos											
	Composición de aceites	0	8,000	48,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
	Físico químicos biomasa	0	4,000	24,000	199,200	199,200	199,200	199,200	199,200	199,200	199,200
	Transferrificación	0	3,400	20,400	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
	Caracterización biodiesel	0	8,000	48,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
	Consumo energía	0	3,168	19,008	48,132	48,132	48,132	48,132	48,132	48,132	48,132
	Total	0	26,568	159,408	1,987,332	1,987,332	2,086,699	2,086,699	2,191,034	2,191,034	2,300,585
Gastos generales y administrativos											
	Nómina	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900
	Transporte	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080
	Servicios	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400
	Alquileres	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
	Auditoria Calidad	50,000	0	0	50,000	0	0	0	0	0	0
	Seguros	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
	Contabilidad	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
	Viajes	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
	Imprevistos 5%	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119
	Total	241,499	191,499	201,074	201,074	211,128	211,128	221,684	221,684	232,768	232,768

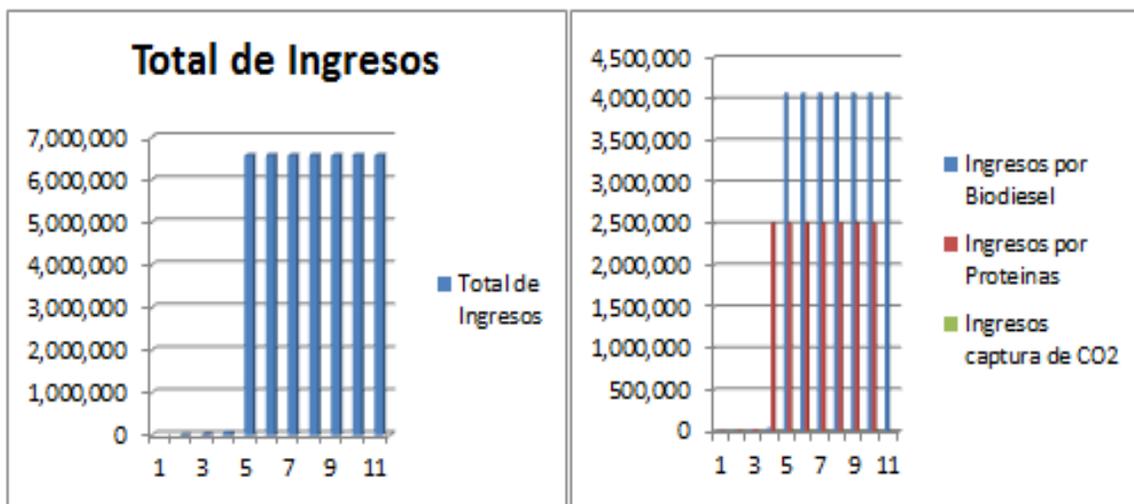
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Ingresos

Años		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
	Biodiesel										
	Litros	0	8,067	32,268	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304
	Precio x Litros	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
	Ingresos por Biodiesel	0	10,164	40,658	4,066,403						
	Proteínas										
	Toneladas	0	16	65	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504
	Precio x Toneladas	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385
	Ingresos por Proteínas	0	6,237	24,948	2,504,040						
	Captura de CO2										
	Toneladas	0	30	119	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188
	Precio x Toneladas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Ingresos captura de CO2	0	178	713	7,128						
	Total de Ingresos	0	16,580	66,318	6,577,571						

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16. Total de ingresos



Fuente: Elaboración propia

En un proyecto de inversión, el aspecto de estimar los costos debe ser catalogado como parte integral de los procesos de ingeniería, diseño, planificación y análisis del proyecto; por lo que se requiere de la participación de todos los integrantes de la empresa

El producto final del proceso de estimación de costos tiene gran importancia para varios propósitos:

- ✓ Suministra las bases para establecer un precio de venta del producto, evaluar posibles contratos, etc.
- ✓ Establecer si el producto en cuestión proporcionaría utilidades.
- ✓ Implantar parámetros para programas de mejoramiento de la productividad.

Para la evaluación financiera que se muestra a continuación ha sido realizada una estimación de costos, la cual es utilizada comúnmente para pronosticar resultados futuros en aspectos ingenieriles y financieros; de hecho uno de los inconvenientes iniciales para evaluaciones y análisis económicos consiste en que cada proyecto tiene un carácter de singularidad y por tanto se parte de la premisa de que no se ha diseñado nada con los mismos requerimientos ni restricciones.

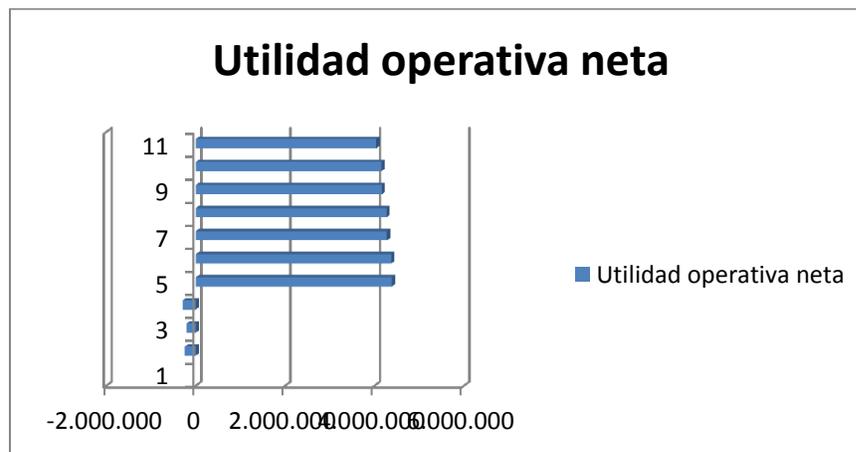
Esto significa que no hay datos anteriores exactos que puedan ser utilizados como base sin una modificación trascendente, para estimar los costos y beneficios de forma directa; es por esto que se opta por estimar condiciones futuras.

Tabla 10. Flujo de fondos a 10 años

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujos de Efectivo											
Ingresos		0	16,580	66,318	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571
Costos de producción		0	26,568	159,408	1,987,332	1,987,332	2,086,699	2,086,699	2,191,034	2,191,034	2,300,585
Ingresos antes de gastos		0	-9,988	-93,090	4,590,239	4,590,239	4,490,872	4,490,872	4,386,538	4,386,538	4,276,986
Gastos generales y administrativos		241,499	191,499	201,074	201,074	211,128	211,128	221,684	221,684	232,768	232,768
Ganancia antes de depreciación intereses e impuestos		-241,499	-201,487	-294,163	4,389,165	4,379,111	4,279,745	4,269,188	4,164,853	4,153,769	4,044,218
Tasa impositiva		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gastos impuestos sobre la renta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad operativa neta		-241,499	-201,487	-294,163	4,389,165	4,379,111	4,279,745	4,269,188	4,164,853	4,153,769	4,044,218
Presupuesto de capital	1,839,988	183,999	183,999	12,136,499	119,525						
Entradas de Efectivo	-1,839,988	-425,498	-385,486	-12,430,662	4,269,640	4,259,586	4,160,220	4,149,663	4,045,328	4,034,244	3,924,693
Valores en USD											
Costo de Capital	20%										
Valor presente neto del periodo de planeación	(977,178)										

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17. Utilidad operativa neta fondos a 10 años



Fuente: Elaboración propia

El valor económico agregado de un proyecto de ingeniería, se evidencia a través de la interpretación de los flujos de caja después de haber aplicado los impuestos.

En los cuadros siguientes se evidencia el costo de capital de la deuda y su relación con la tasa de rendimiento.

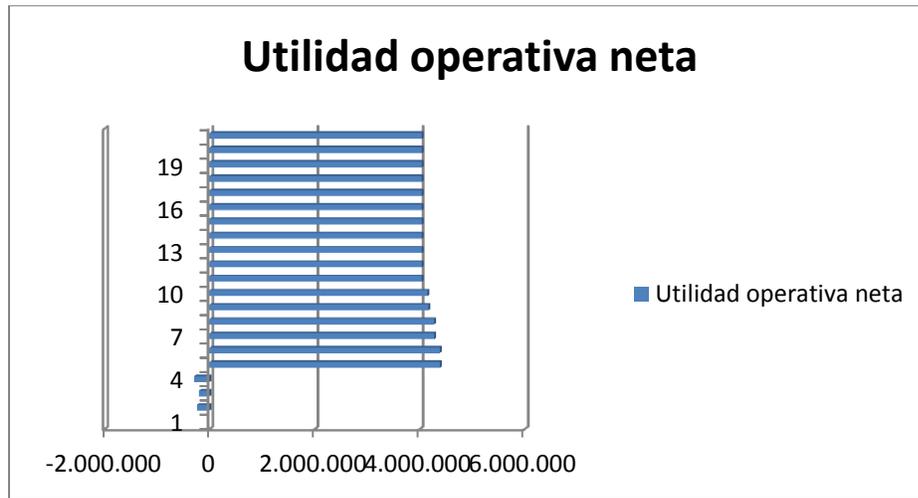
Tabla 11. Flujo de fondos a 20 años

Flujos de Efectivo																					
Ingresos	0	16,580	66,318	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	
Costos de producción	0	26,568	159,408	1,987,332	1,987,332	2,086,689	2,086,689	2,191,034	2,191,034	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	
Ingresos antes de gastos	0	-9,988	-93,090	4,590,239	4,590,239	4,490,872	4,490,872	4,386,538	4,386,538	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	
Gastos generales y administrativos		241,499	191,499	201,074	201,074	211,128	211,128	221,684	221,684	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	
Ganancia antes de depreciación																					
Intereses e impuestos		-241,499	-201,467	-294,163	-4,388,165	-4,378,111	-4,279,745	-4,269,188	-4,164,853	-4,153,769	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	-4,044,218	
Tasa impositiva		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Gastos impuestos sobre la renta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad operativa neta		-241,499	-201,467	-294,163	4,388,165	4,378,111	4,279,745	4,269,188	4,164,853	4,153,769	4,044,218										
Presupuesto de capital		1,839,988	183,999	183,999	12,136,499	119,525															
Entradas de Efectivo		1,839,988	-425,498	-385,486	-12,430,662	4,269,640	4,259,586	4,160,220	4,149,663	4,045,328	4,034,244	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	
Costo de Capital																				20%	
Valor presente neto del periodo de planeación																					1,680,262

Fuente: Elaboración propia

El capital de trabajo representa los fondos que son requeridos para los activos circulantes imperantes para el inicio y soporte a las actividades de funcionamiento del proyecto.

Ilustración 18. Utilidad operativa neta fondos a 20 años



Fuente: Elaboración propia

Los costos de mantenimiento y operación envuelven varios de los conocimientos de gastos periódicos anuales relacionados con el ciclo de funcionamiento del ciclo de vida.

3.2 Análisis de riesgos

A lo largo de este estudio, se han ido identificando diferentes posibles riesgos, que harían que el programa de implementación sufriera tropiezos o fracasara en caso de tener previstas las respectivas contingencias. Ya que estos riesgos son de diferente naturaleza, éstos se han agrupado en científicos y tecnológicos, legales, de mercado y financieros.

3.3 Riesgos científicos y tecnológicos

Por la naturaleza biotecnológica del proyecto, es de esperarse que este grupo constituya los mayores riesgos y los que afectarían en mayor medida el éxito del proyecto.

En primer lugar, en la etapa de bioprospección, se podría presentar el fenómeno de no encontrar la cepa de microalgas con el rendimiento o la calidad de lípidos adecuados para la obtención del biocombustible deseado. Las técnicas analíticas y de biología molecular, son herramientas poderosas, que permiten hoy en día hacer determinaciones muy rápidas con unos altísimos porcentajes de datos que dan cuenta del material biológico con que se está trabajando. Sin embargo podría ocurrir el fenómeno mencionado.

La propuesta preventiva a este evento, consiste en que de forma paralela en el laboratorio se vayan adaptando cepas de colecciones, con permisos de explotación comercial, y ya probadas en sus rendimientos. De todas formas la bioprospección es fundamental, ya que está ampliamente demostrado, que las cepas nativas, ya adaptadas a su ambiente, tienen mayor posibilidad de supervivencia y menos riesgos de contaminación.

Como un segundo riego se podría pensar en que aunque las tecnologías de obtención de biodiesel son ampliamente conocidas y probadas, por alguna razón la estandarización no de los resultados esperados. Para evitar este evento y asegurar mejores resultados, es importante prever la contratación de un experto en el tema, si es que el equipo que se compre no prevé un entrenamiento profundo para el personal que estará a cargo de este proceso.

Por otro lado se ha detectado que en la República Dominicana hay pocos profesionales de altas cualificaciones en las áreas de la fisicoquímica, la microbiología y la biología molecular, al no existir estos estudios como carreras profesionales. En los comienzos del proyecto se contará con expertos en el tema, personal ya entrenado de varios años, pero es fundamental ir formando expertos dominicanos que aseguren la continuidad en el tiempo de este programa.

Finalmente es importante contar con holguras de tiempo sobre los cronogramas del proyecto, ya que por muchas razones, programas de esta naturaleza pueden presentar retrasos en su ejecución, ya sea por dificultades en la estandarización de procesos, retrasos en las importaciones de equipos, contaminaciones de los cultivos, entre otros.

3.4 Riesgos legales

República Dominicana, es un país con un aparato de gobierno pesado, lo cual no facilita los trámites legales necesarios para la ejecución de un proyecto de esta naturaleza. Podría entonces ocurrir, que los permisos necesarios para las construcciones y el uso de las tierras, correspondientes a los ministerios de obras públicas y comunicaciones y medio ambiente no se consiguieran dentro de los términos estipulados. Es por esto fundamental contar con el concurso del departamento legal de la termoeléctrica, para tener todo lo necesario y que no haya ningún impedimento legal para el buen curso de las acciones pertinentes.

3.5 Riesgos de mercado

Aun siendo la biomasa de microalgas un valioso insumo para muchas empresas, podría ocurrir que por desconocimiento de este producto en los mercados locales, sea difícil encontrar los canales adecuados para su distribución y venta. Frente a este riesgo existen varias opciones, entre ellas, el que una termoeléctrica decida desarrollar productos de valor agregado con esta biomasa, o utilizarla como insumo para una mayor generación de energía, con otras tecnologías ya probadas. Otra opción es comenzar muy pronto una campaña de mercadeo que permita a sectores interesados, encontrar en la biomasa de microalgas un insumo interesante para sus productos.

En un horizonte de 10 años, podría también ocurrir, que los costos de los combustibles fósiles no hayan variado de manera significativa, de forma que los biocombustibles no hayan comenzado a ser competitivos, o que se hayan encontrado otras fuentes de combustibles más económicas que los producidos a partir de las microalgas. En este caso, es importante mantener presente, que en el cultivo de microalgas, la producción de biocombustibles es solo una opción, y que muchos mercados internacionales comprarían la biomasa completa para la producción de cosméticos, alimentos, etc.

En general los riesgos detectados, están condicionados por las características propias de proyectos biotecnológicos. Estos riesgos basados en las características propias de los sistemas biológicos que se han de tomar siempre en cuenta, cuando se decida a llevar a cabo una inversión en este tipo de tecnologías.

3.6 Otros escenarios

Una vez desarrollado el estudio de factibilidad para la obtención de biodiesel mediante microalgas, es importante dar un último vistazo a otras posibilidades que tendría una termoeléctrica, también a partir del cultivo de microalgas, en aras de aprovechar los recursos disponibles y que harían de la explotación de los mismos, proyectos ganadores.

3.7 Inversión+ desarrollo+ innovación+ inversión (I+D+I_i)

Craig Venter, reconocido científico y empresario de la biotecnología, quien a la par que el gobierno de EEUU y en forma privada, desarrollo el proyecto del genóma humano, ha dedicado sus últimos años, en su empresa syntethic genomics a la investigación con microorganismos y con microorganismos genéticamente modificados, que produzcan biocombustibles.

En una reciente entrevista con la prestigiosa revista scientific american, asegura que los microorganismos definitivamente con mayor potencial para la producción del reemplazo de los combustibles fósiles, son la microalgas.

Como él, en el mundo hay mucha gente investigando y muchas agencias gubernamentales y no gubernamentales, apoyando la investigación en estos campos.

Si se piensa en inversionistas en tecnologías de punta, y en la obtención de resultados patentables, quedarse en la fase de laboratorio un par de años, explorando lo inexplorado en República Dominicana, es decir haciendo bioprospección, podría en el futuro tener un alto valor por la novedad de los descubrimientos.

Las otras fases del proceso, es decir, los procesos de extracción, de secado y de transesterificación, son igualmente susceptibles de mejoras y desarrollos tecnológicos que lleven a innovaciones muy atractivas en un futuro de mediano plazo.

Es decir, el campo de la investigación está abierto y con grandes posibilidades. Proyectos de investigación, seguirían cumpliendo con muchos de los argumentos que hacen atractivo un programa de producción de microalgas, así sus beneficios directos se vean en un horizonte de tiempo mayor.

3.8 Producción de alimentos y suplementos nutricionales

El mercado de alimentos funcionales en el mundo sigue creciendo año a año. Solamente en Estado Unidos se espera que al 2015, éste represente 8.6 billones de dólares. Son varias ya las cepas aprobadas por la FDA (food and drug administration) con el sello GRAS (generally recognized as safe), lo cual implica que son de libre uso como alimento o como suplemento alimentario.

La mayoría de ellas, y especialmente la spirulina, son reconocidas en al ámbito médico y de la nutrición, como un súper alimento que aporta a la dieta biomoléculas que contribuyen a mantener un buen estado de salud y que pueden reemplazar la proteína animal.

El cultivo de spirulina, así como el de chlorella, dunaliella, isochyris, haematococcus y algunas más, está ya muy estandarizado y sus procesos son sencillamente las etapas de cultivo más el secado de la biomasa. Teniendo la biomasa en polvo, luego el proceso es de tabletaje o encapsulado, y el mercado es ampliamente conocido. Lo importante en estos casos es mantener estándares de calidad y de inocuidad adecuados, de forma tal que los cultivos no vayan a sufrir ningún tipo de contaminación.

A partir de la biomasa seca también se pueden desarrollar alimentos que la contengan, y de esta forma enriquecer sus características nutricionales.

Las inversiones iniciales, irían hasta el proceso de secado, adicionando la encapsulación y el envase. Los precios en el mercado varían mucho, pero en general un kilo de spirulina en polvo está rondando los 25 USD.

3.9 Producción de hidrocarburos

Dentro de las grandes empresas que actualmente producen biocombustibles en forma industrial, tanto en Europa como en Estados Unidos, se encuentran desarrollos muy interesantes, encaminados a que las microalgas

en lugar de sintetizar lípidos, sinteticen hidrocarburos. El desarrollo de estas cepas (aunque hay especies de fácil consecución en la naturaleza), en general les han llevado varios años de adaptación y protocolos muy estrictos de estandarización.

La producción de este tipo de moléculas se presenta para muchos, mucho más atractiva, que la producción de aceites, ya que los procesos con los hidrocarburos serían absolutamente replicables a los de las refinerías de petróleo, y se obtendrían combustibles que reemplazarían directamente a la gasolina.

De todas formas hay que tener en cuenta que el mercado de la gasolina es diferente al del biodiesel y que para este último, tampoco hay que hacer ningún cambio en los motores de autos y máquinas. Este último factor, valga la pena resaltarlo aquí, es lo que ha frenado el desarrollo de muchas otras fuentes de energía “limpias”, como p.ej. el hidrógeno.

El mercado es claro, pero tiene el mismo problema de los precios del biodiesel y hasta en un futuro de probablemente 10 a 15 años, sus precios no serán competitivos frente al petróleo, el carbón o el gas, y por lo tanto para ser competitivos tendrán que seguir siendo subvencionados.

3.10 Producción de ácidos grasos poli-insaturados (PUFA's)

Los ácidos grasos producidos por la microalgas, cuando son en su mayoría, de cadena corta e insaturados, son aptos para la producción de biodiesel de alta calidad. En cambio, si producen ácidos grasos de cadena larga y son poli-insaturados, además de que no son aptos para la producción de biodiesel, poseen un valor nutricional altísimo y son muy cotizados en el mercado. Entre ellos los más conocidos son lo omega 3 y 6, así como el DHA.

Estos ácidos grasos pueden ser consumidos, en los suplementos nutricionales o en los alimentos que la contengan, pero si industrialmente, estos son aislados de la biomasa, para uso industrial de otro tipo de alimentos o suplementos su valor se incrementa en gran medida.

Se han demostrado además efectos sobre la salud que van desde el correcto desarrollo de las funciones cerebrales en niños y adultos, como efectos positivos en la retina y en los tejidos reproductivos. Igualmente se ha investigado sobre su efecto positivo en varias enfermedades incluyendo las cardiovasculares, varios tipos de cáncer y hay un gran interés por sus propiedades anti-inflamatorias.

Las inversiones en este tipo de proyectos serían similares hasta los cultivos y luego se tendrían que implementar procesos muy cuidadosos de extracción de estos aceites debido a su gran propensión a la oxidación. Por lo mismo, los sistemas de empaque deben ser también cuidadosamente diseñados e implementados. Hoy día un gramo de DHA se vende a 1.9 € el gramo.

Al concluir este estudio de factibilidad, se podrían destacar los siguientes ítems:

- ✓ Se realizó una aproximación real a las posibilidades que tiene una empresa termoeléctrica de implementar un programa de producción de microalgas, ya que tiene ventajas competitivas muy favorables.
- ✓ Dentro del programa de producción de microalgas, el estudio se centró en la producción de aceites, conducentes a la fabricación de biodiesel.
- ✓ Se encontraron mercados favorables para la producción de biodiesel y proteína (como subproducto del proceso) en República Dominicana, sin excluir las posibilidades de exportación.
- ✓ El programa que se desarrollaría por etapas, tiene dos etapas no productivas que corresponden a la fase de laboratorio y a la fase de planta piloto en una extensión de 0.5 Ha. En estos niveles las producciones son mínimas pero es la única forma de escalar los procesos a fases industriales.

- ✓ La etapa 3 se desarrolló previendo una producción en un terreno de 50 Ha, cuyos volúmenes de biodiesel alcanzarían para proveer de combustible la planta de 34.5 MW y así pensar en un modelo de autoabastecimiento
- ✓ Se deja planteada una etapa 4 de 200 Ha. No se desarrolla el modelo financiero ya que su implementación estaría sujeta a múltiples variables.
- ✓ El análisis financiero arroja entonces un flujo de capital positivo si se considera en un horizonte de tiempo de 20 años.
- ✓ Se dejan planteadas otras opciones que basadas en los mismos principios podrían quizás generar mayor interés a la empresa, aunque algunas de ellas se alejan del negocio de la energía, pero pueden producir retornos mucho más interesantes.
- ✓ Hay que tener siempre en mente que estos son proyectos biotecnológicos, que implican riesgos en cuanto a que no son fácilmente estandarizables, sufren riesgos de contaminación, requieren altos capitales de inversión inicial, y pueden fácilmente no permitir cumplir los cronogramas propuestos.

CONCLUSIONES

A través del estudio del contexto en que se desarrollaría este programa, es claro que existen empresas pioneras que le han apostado al desarrollo de proyectos de cultivos de microalgas para la producción de biocombustibles de diferentes clases, entendiendo que es una necesidad la pronta implementación de procesos que lleven a la producción de combustibles alternos a los combustibles fósiles, con valores agregados como la captura de CO₂, y la producción de proteína para diversos usos, de la cual el mundo está necesitado.

Para una empresa termoeléctrica constituiría este proyecto, la posibilidad de producir combustible, negociar bonos de carbono y tener biomasa disponible para otros usos, incluidas otras tecnologías para generación de energía, o su venta o desarrollo de productos para múltiples usos.

En la actualidad es imprescindible hallar combustibles más amigables con el medio ambiente, los cuales disminuyan la subordinación de los combustibles fósiles y que su costo de obtención sea eficiente.

Para la obtención de biodiesel, las microalgas son unas de las óptimas opciones a las oleaginosas. En este proyecto se ha hecho énfasis el potencial que tiene el cultivo de microalgas para la obtención de biodiesel, así como también sus ventajas con relación a las otras plantas oleaginosas.

Sin embargo, la obtención de biodiesel está aún en etapa de perfeccionamiento a escala de laboratorio. No se conoce de manera exacta el costo global de obtención de biodiesel, es preciso considerar las etapas desiguales de obtención para establecer la viabilidad financiera de su producción industrial.

Durante la descripción de este proyecto se ha enfatizado en el estudio de la fase de extracción del aceite de las microalgas ya que es una de las fases más caras en el proceso de obtención de biodiesel.

Existe en la actualidad cuatro métodos de obtención del aceite de las microalgas, los cuales han sido analizados para establecer cuál método es el más óptimo desde el punto de vista económico.

La opción principal es la extracción mecánica debido a prensas. En este paso las microalgas deben ser preliminarmente disecadas. Varias metodologías son utilizadas para llevar a cabo esta fase como el secador solar/ spray, el tambor rotativo.

Se ha realizado una estimación económica de estas metodologías de secado y se llegó al desenlace de que el secador solar es la opción de deshidratación menos costosa, sobre todo por su bajo consumo energético. Sin embargo, este método presenta el inconveniente de ser lento y de requerir un área de secado mayor.

En conclusión podemos decir que la implementación de microalgas como fuente de materia prima para la obtención de biodiesel presenta varias superioridades con respecto a las oleaginosas.

Su obtención industrial es una fuente que vale la pena ser aprendida a profundidad.

Como efecto de este estudio se ha conseguido como resultado indicaciones de que se pueden reducir los costes de la fase de obtención de aceite de microalgas a través de la elección del procedimiento que mejor se acomode al tipo de microalga y al precio de venta.

Sin embargo, un factor significativo en el proceso de obtención de biodiesel es la metodología de cultivo de las microalgas.

Esta producción se puede hacer por fotobioreactores (interiores o exteriores) o por estanques. En este paso intermedian diferentes factores como lo son: tipo de microalga, la capacidad de cultivo, la ubicación de la planta, lo cual representa un costo significativo en el proceso de obtención de biodiesel.

Los adelantos tecnológicos y las indagaciones demuestran que la obtención de biodiesel mediante microalgas puede ser realidad en un futuro muy cercano.

RECOMENDACIONES

Debido al elevado contenido de aceite o alta productividad, las algas son consideradas idóneas para la producción de biocombustibles, obteniendo así una significativa disminución de emisiones como por ejemplo: TPH, CO, NOx y material particulado.

Para alcanzar el progreso de un proceso sostenible de obtención de biodiesel a partir de algas, que ya sea técnica y administradamente factible, se deben superar varios factores, el primordial es el costo de transformación de la biomasa, que implica la optimización de medios, elección y administración de cepas y el diseño de fotobiorreactores.

Un punto muy importante y que debe ser denotado es que además de ser realizable en el ámbito físico, un proyecto también debe serlo en el aspecto económico también.

El mayor valor agregado de este programa son sus características sistémicas y sostenibles. Es decir, este programa insertaría en una dinámica muy importante a las termoeléctricas con su entorno. Integraría las diferentes áreas de la empresa, utilizando los insumos que se generan en las distintas fases del proceso actual. Daría como resultado a futuro, una empresa con soluciones ambientales reales, tangibles y rentables. Competiría con el tiempo con empresas que no han dado el salto al uso de los biocombustibles, pudiendo ser con el tiempo auto-abastecedora de su propio combustible.

Tendría con el tiempo otras líneas de negocio creando un importante abanico de posibilidades económicas para su crecimiento económico.

Ampliación:

La cantidad de plantas a nivel industrial que usan microalgas como material para la producción de biodiesel es uno de los medidores del proyecto.

La ampliación se basa principalmente en la generación de un prototipo que pueda ser replicado y esparcido por zonas donde no existe abastecimiento.

Replicabilidad:

Una de las metas de todo proyecto es lograr trascender y expandirse a otras fronteras en donde puede ser aplicada, sus resultados puedan ser parte del desarrollo tecnológico de otros lugares, de forma tal que pueda generarse energía a menor costo y de forma sostenible, es por esto que se recomienda aplicar el modelo propuesto, ya que el mismo facilita su replicabilidad.

Sostenibilidad:

El mercado actual de los combustibles es muy demandante, por lo que se espera que las proyecciones del biodiesel crezcan también.

El biodiesel procedente del cultivo de microalgas obtenido en sistemas cerrados tiene importantes ventajas si es comparado con otros tipos de biodiesel extraídos de aceites u otras materias primas.

Un punto palpable de este hecho es que por ejemplo, la palma produce 6 toneladas por año en una hectárea, mientras que las microalgas producen de 100 a 180 toneladas en el mismo periodo de tiempo y en el mismo espacio.

Gracias a que el aceite proveniente del cultivo de microalgas no es un aceite comestible no es necesaria que sean cultivadas en terrenos fértiles, por lo que no se estaría utilizando terreno que vulnerizaría la seguridad alimenticia, ni por otro lado se talarían árboles para la utilización de dicha tierra.

A nivel ambiental, las algas se encuentran a nivel superior de cualquier cultivo que permita la adherencia de dióxido de carbono, debido a que este producto se alimenta especialmente de un gas muy perjudicial para el medio ambiente, absorbiendo un estimado de 180 tons por cada tonelada de algas.

Este punto la convierte en un cultivo de constituyente de ingresos de los créditos de carbono que pagan los países signatarios del protocolo de Kyoto mediante el banco mundial.

Este estudio de viabilidad fue realizado, basado en el interés de la empresa generadora de electricidad dominicana de tener una opción de modelo de negocio sostenible, de acuerdo a la propuesta realizada por Blue & Green en julio de 2011.

Esta propuesta consta de varias etapas y este estudio de viabilidad constituye la primera de ellas, siendo las otras, la constitución administrativa del programa, la capitalización del mismo, el diseño tecnológico, las fases de montaje de laboratorio y piloto, para llegar finalmente a una puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la producción de aceites aptos para la elaboración de biodiesel.

La fijación de CO₂, se consigue actualmente a través de la fotosíntesis realizada por las plantas terrestres y por un gran número de microorganismos fotosintéticos. Sin embargo, se estima que las plantas pueden contribuir a una reducción solo del 3-6% de las emisiones globales de CO₂, mientras que las microalgas al crecer mucho más rápido que las plantas, su fijación de CO₂ puede llegar a ser 10 a 50 veces más alta.

Este estudio presenta las necesidades para el cumplimiento de las etapas en que el programa deberá ser desarrollado, a corto, mediano y largo plazo, incluyendo la organización, financiación, diseño y montaje de tres escalas

necesarias para llegar a la producción industrial (laboratorio y piloto de 0.5 Ha) y se hacen consideraciones sobre lo que sería una escala semi-industrial de 50 Ha y una industrial de 200 Ha.

El estudio propone un programa en el que se busca que los cultivos de microalgas, alcancen niveles interesantes de producción de aceites aptos para elaboración de biodiesel, utilizando tecnologías disponibles.

Sin embargo, contando con la versatilidad metabólica de las cepas seleccionadas, se propenderá por la obtención de otros sub-productos o co-productos de mayor valor agregado e interés comercial, tales como suplementos dietarios, alimentos para peces, ganado o aves, sustancias de interés para el sector cosmético o farmacéutico, etc, que hagan aún más atractivo el negocio y se acerquen al concepto de biofábricas.

Este programa de producción de microalgas se puede convertir, según este estudio, en una estrategia para la empresa tanto de RSE como de desarrollo sostenible, respondiendo de manera sistémica y sostenible a ideales como:

- ✓ Una cristalización de las acciones necesarias para que la empresa cumpla sus metas de responsabilidad social corporativa (RSC).
- ✓ La generadora de electricidad requiere a mediano y largo plazo el suministro o la producción de combustibles de segunda y tercera generación.
- ✓ Para una generadora de electricidad como compañía y a nivel corporativo, tener una estrategia propia de captura de parte del CO₂ que emite, le generará una imagen de sostenibilidad inigualable.

- ✓ Una empresa que diversifica sus mercados tiene mayor posibilidad de ser competitiva y sostenible en el tiempo. Con la producción de microalgas, necesariamente se desarrollarán otros mercados y otros productos que le permitirán a la empresa generar valor, crear otras líneas de producción o simplemente ser proveedor de materias primas altamente apetecidas en mercados como el de insumos para alimentación animal, insumos agrícolas, productos nutraceuticos, etc.

- ✓ Acercarse a la comunidad es una necesidad sentida de todas las empresas que se han comprometido verdaderamente con la responsabilidad social empresarial (RSE).

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- ✓ Brealey, Richard; Myers, Stewart; Marcus, Alan. (Página 253). Fundamentos de Administración Financiera. 5ta Edición. España: McGRAW-HILL.2007.
- ✓ Cengel, Yunus. Boles A, Michael, (Página 78). Termodinámica. 6^{ta} Edición. México: McGRAW-HILL.2009.
- ✓ Tomás Perales Benito. (Página 21). El universo de las Energías Renovables. España Marcombo. 2012.
- ✓ Monthieu, Chloé; Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel; madrid, junio 2010
- ✓ Laurent Lardon, Arnaud Helias, Bruno Sialve, Jean-Phimippe, Steyer, Olivier Bernard “Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from microalgae”, 2009.
- ✓ Gomez, Holga; “Producción y Valorización de biomasa a partir de microalgas.”
- ✓ Arief Widjaja ; “Lipid production from microalgae as a promising candidate for biodiesel production”, Department of chemical engineering, Institute of Technology Sepuluh, Indonesia Vol 13, n°1, 47 – 51, April 2009.
- ✓ Luís Jutglar Banyeres. (Página 495). Generación de Energía Solar Fotovoltaica. España: Marcobo, S. A. 2012.
- ✓ Ignacio Vélez Pareja. (Página 94). Decisiones de Inversión para la Valoración Financiera de Proyectos y Empresas.. Colombia: Editorial Pontificia universidad Lutaima. 1998.
- ✓ Carlos Contrás Núñez. (Página 172). Conceptos Básicos de Gestión Económica y Financiera. República Dominicana: Editora Búho. 2013.
- ✓ Berk, Jonathan; Demarzo, Peter. (Página 111). Finanzas Corporativas. México: Pearson.2008

- ✓ Juan Antonio Flórez Uribe. (Página 46). Proyectos de Inversión para las PYME. 2da Edición. Colombia: Ecoe Ediciones. 2010.
- ✓ Paul Lira Briceño. Evaluación de Proyectos de Inversión. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas S. A. C. 2013.

Internet:

- ✓ <http://www.cne.gov.do/>
 - ✓ <http://adie.org.do/>
 - ✓ <https://www.dgii.gov.do/legislacion/leyesTributarias/Documents/57-07.pdf>
 - ✓ <http://www.unesco.org>
 - ✓ www.economia48.com/spa/d/depreciacion/depreciacion.htm
 - ✓ Investigación sobre biocombustibles y microalgas:
- www.oilgae.com
 - www.biodieselsapin.com
 - www.biodiesel.org
 - www..biodiesel.com
 - www.abengoabioenergy.com
 - www.expobionergía.com
 - www.bioenerg.co.uk
 - www.iica.int
 - www.caledonbucclouch.com
 - www.biofuelsinternationalexpo.com
 - www.ers.usda.gov
 - www.biodisol.com
 - www.biomassmagazine.com

ANEXOS



Vicerrectoría de Estudios de Posgrado

Anteproyecto del trabajo para optar por el título de:
Maestría en Administración Financiera

Título:

**PROYECTO DE INVERSIÓN: CAPTURA DE CO₂ Y
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL CULTIVO
DE MICROALGAS EN TERMOELÉCTRICA
DOMINICANA**

Postulante:

Ing. Elisandia Herrera Guerrero

Mat.2013-2439

Tutor:

Dr. Reinaldo Ramón Fuentes Plasencia

Santo Domingo, Distrito Nacional

República Dominicana

Agosto, 2015

INTRODUCCIÓN

La sociedad moderna es una derrochadora de energía eléctrica, pero el combustible principal bajo el que se produce dicha energía está fundamentado bajo la base del petróleo. En décadas anteriores ha habido crisis energéticas (1973) las cuales han provocado una estabilidad e inclusive una pequeña reducción de la demanda ante los constantes incrementos de dicho compuesto orgánico.

Varios han sido los detonantes que han estimulado el desarrollo de alternativas ambientalmente sostenibles y económicas en materia de energía, entre los cuales se encuentran: la dependencia energética de muchos países y la falta de energía eléctrica, así como el agotamiento de los recursos petrolíferos, entre otros graves problemas medioambientales asociados.

Este estudio de viabilidad fue realizado, basado en el interés de la empresa generadora de electricidad dominicana de tener una opción de modelo de negocio sostenible, de acuerdo a la propuesta realizada por Blue & Green en Julio de 2011. Esta propuesta consta de varias etapas y este estudio de viabilidad constituye la primera de ellas, siendo las otras, la constitución administrativa del programa, la capitalización del mismo, el diseño tecnológico, las fases de montaje de laboratorio y piloto, para llegar finalmente a la puesta en marcha de la producción de microalgas para la producción de aceite en la elaboración de biodiesel.

El resultado de este estudio se centra en la factibilidad de implementar un programa de producción de microalgas por parte de alguna generadora de energía eléctrica, así como todas las ventajas que se derivan del mismo. La producción de biodiesel y otros co-productos y subproductos así como las consecuencias económicas, ambientales y sociales son descritas de forma amplia y sustentada.

El cliente en consecuencia es una generadora de electricidad en primer lugar y así se presenta en el informe, aunque como se verá, por las características del proyecto, al final los consumidores finales pueden representar una gran gama de sectores.

Este estudio fue realizado con base en la metodología McKinze y se convierte así en una primera aproximación a un plan de negocios, de lo que podría ser este programa, en caso que una generadora de electricidad dominicana decida optar por su desarrollo.

En los distintos países se ha planteado una estrategia de producción energética. Esta táctica está fundamentada en el aumento del ahorro y fomento de la energía, la cual nos permitirá trazar las pautas que nos admitan una dependencia menor de los combustibles fósiles.

Dentro de las ventajas que se encuentran al realizar cultivos de microalgas están las relacionadas a la tasa de crecimiento y a la obtención de aceites, los cuales son mayores al resultante producto de operaciones terrestres.

Desde hace cuatro décadas y media, los Estados Unidos estudiaron la forma de producción de nuevos carburantes con la finalidad de prevenir la declinación del combustible fósil.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sostenibilidad, la competitividad y la preservación del medio ambiente, son imperativos empresariales, que deben encontrar soluciones viables de pronta implementación. Estas soluciones deben ser sistémicas, aprovechando de la mejor manera todos los recursos disponibles en el entorno.

En general, todas las empresas generadoras de electricidad en el mundo, impactan de manera directa en la vida gubernamental y privada de los habitantes. Es decir las decisiones que éstas tomen, serán visibles para toda la sociedad y contribuirán al mejor desarrollo de la comunidad.

Las termoeléctricas, como los demás consumidores de combustibles fósiles, no son ajenas a las demandas de producción de energía limpia y cada vez menos dependientes de combustibles fósiles, por lo cual gobiernos y empresas han destinado importantes cifras de dinero en investigación y desarrollo en la búsqueda de fuentes alternativas.

Desde comienzos de los años ochenta, el departamento de energía de los EEUU definió como un programa de alto potencial, el estudio de las microalgas como productoras de aceites de gran calidad para la obtención de biodiesel, bioetanol, biogás y “petróleo verde”.

Actualmente por lo menos 150 compañías a nivel mundial han ido escalando el resultado de sus investigaciones y producen a escala piloto buenas cantidades de algún tipo de estos combustibles. Para finales de 2015 ya muchas de ellas tendrán plantas produciendo del orden de 120,000 barriles al año en instalaciones que en muchos casos están alrededor de unas 200 Ha.

La creciente demanda de energía en muchos países en rápido desarrollo, en todo el mundo, está empezando a crear una intensa competencia por las reservas mundiales de petróleo, que cada vez son menores. Además la combustión de combustibles derivados del petróleo ha generado serias preocupaciones sobre el cambio climático y los gases de efecto invernadero (GEI).

El mundo requiere de un cambio radical hacia fuentes de energía más limpias, soluciones nuevas para afrontar la creciente demanda de energía y reducir las implicaciones que tiene la generación de energía en el medio ambiente y la salud de la población en general. Esto ha hecho que poco a poco vayan surgiendo empresas interesadas en la sostenibilidad ambiental con el fin de disminuir el impacto negativo que produce su operación en el medio ambiente.

De esta manera, países como Alemania han establecido políticas para el fomento de la producción de energía renovable, logrando un salto del 8% de suministro energético a partir de fuentes renovables en el 2005, a casi un 13% en el 2010 y se estima que esta cifra alcance el 20% en el 2020. Estas políticas no solamente apuestan al uso de energía fotovoltaica o eólica, sino también al incremento en el uso de biocombustibles, para uso en el parque automotor alemán.

De acuerdo con el world energy outlook (2011), se requiere diversificar las fuentes de energía renovable, es decir que se debe hacer una gran inversión en desarrollar nuevas tecnologías en la generación de energía, a partir de fuentes renovables, que no compitan con los alimentos a nivel mundial. Pero sobre todo, se requiere un gran compromiso de los gobiernos y las empresas para disminuir los efectos negativos de la producción de energía y comenzar a explorar nuevas fuentes de energía renovables.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de implementación y análisis económico de un sistema prototipo de captura de CO₂ y la producción de biodiesel a partir de microalgas, en la costa del mar caribe, valorando su factibilidad, sostenibilidad ambiental y social.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer las condiciones óptimas del hábitat y el crecimiento de cepas de microalgas, valorando las condiciones de diseño y de operación como lo son: temperatura, presión, luminosidad, flujos, agitación y cantidad de nutrientes, en laboratorio.
- ✓ Enumerar los efectos que tiene el CO₂ sobre el medio ambiente y la sostenibilidad para las futuras generaciones.
- ✓ Presentar una propuesta para la extracción de aceite, refinación y producción de biodiesel a partir de microalgas tomando en cuenta la importancia de ajustar la capacidad técnica y productiva real de la tecnología desarrollada en la obtención.
- ✓ Exteriorizar una idea de cultivo piloto a pequeña escala en una extensión de 500 m² (0.5 Ha), con una producción de 20.000 litros anuales de biodiesel.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación teórica

El producto de este estudio lo constituye la forma en que una generadora de electricidad podría abordar la implementación de un programa de cultivo de microalgas en una planta generadora de energía eléctrica, para producir biodiesel, capturar CO₂ y obtener otros co-productos que hagan de la generadora una empresa líder en soluciones económica, ambiental y socialmente sostenibles.

Este estudio presenta las necesidades para el cumplimiento de las etapas en que el programa deberá ser desarrollado, a corto, mediano y largo plazo, incluyendo la organización, financiación, diseño y montaje de tres escalas necesarias para llegar a la producción industrial (laboratorio y piloto de 0.5 Ha) y se hacen consideraciones sobre lo que sería una escala semi-industrial de 50 Ha y una industrial de 200 Ha.

El estudio propone un programa en el que se busca que los cultivos de microalgas, alcancen niveles interesantes de producción de aceites aptos para elaboración de biodiesel, utilizando tecnologías disponibles. Sin embargo, contando con la versatilidad metabólica de las cepas seleccionadas, se propenderá por la obtención de otros sub-productos o co-productos de mayor valor agregado e interés comercial, tales como suplementos dietarios, alimentos para peces, ganado o aves, sustancias de interés para el sector cosmético o farmacéutico, etc, que hagan aún más atractivo el negocio y se acerquen al concepto de biofábricas.

Por ser el cultivo de microalgas un proceso biotecnológico, las fases de investigación y desarrollo son fundamentales y requieren de tiempo e inversiones, pero al mismo tiempo contribuyen a formar personal científico a través de la transferencia y desarrollo de las tecnologías que se van a implementar, generan empleo y aumentan el capital social y de conocimiento de la empresa.

Justificación metodológica

El mayor valor agregado de este programa son sus características sistémicas y sostenibles. Es decir, este programa insertaría en una dinámica muy importante a las termoeléctricas con su entorno. Integraría las diferentes áreas de la empresa, utilizando los insumos que se producen en las diferentes etapas del proceso actual. Daría como resultado a futuro, una empresa con soluciones ambientales reales, tangibles y rentables. Competiría con el tiempo con empresas que no han dado el salto al uso de los biocombustibles, pudiendo ser con el tiempo auto-abastecedora de su propio combustible. Tendría con el tiempo otras líneas de negocio creando un importante abanico de posibilidades económicas para su crecimiento económico.

Este es un proyecto que en su objetivo y estructura propone soluciones integrales que contribuyen a un mejor futuro de las termoeléctricas como empresa. A lo largo de este estudio de viabilidad, se analizan los factores por los cuáles se podrían obtener, a partir del cultivo de microalgas beneficios tangibles e intangibles para la empresa.

Justificación práctica

Este programa de producción de microalgas se puede convertir, según este estudio, en una estrategia para la empresa tanto de RSE como de desarrollo sostenible, respondiendo de manera sistémica y sostenible a ideales como:

- ✓ Una cristalización de las acciones necesarias para que la empresa cumpla sus metas de responsabilidad social corporativa (RSC). En este caso estas acciones se ven representadas en la inserción de un nuevo proceso que genera investigación, formación de personas a nivel científico y tecnológico, empleo, calidad de vida, uso eficiente e integral de los recursos con que cuenta la empresa (agua, terreno, energía).

- ✓ La generadora de electricidad requiere a mediano y largo plazo el suministro o la producción de combustibles de segunda y tercera generación. Los contratos que tiene una generadora de electricidad de suministro de carbón y gas natural son económicamente muy interesantes, pero tienen un límite en el tiempo. Comenzar a explorar, investigar y desarrollar tecnologías propias de auto generación de combustibles, podría mantener a una generadora de electricidad con el tiempo en una posición privilegiada económicamente y desde ya altamente competitiva.
- ✓ Aunque exista polémica a nivel mundial sobre cómo evolucionará el mercado de bonos de Carbono en las bolsas del mundo, para una generadora de electricidad como compañía y a nivel corporativo, tener una estrategia propia de captura de parte del CO₂ que emite, le generará una imagen de sostenibilidad inigualable.
- ✓ Una empresa que diversifica sus mercados tiene mayor posibilidad de ser competitiva y sostenible en el tiempo. Con la producción de microalgas, necesariamente se desarrollarán otros mercados y otros productos que le permitirán a la empresa generar valor, crear otras líneas de producción o simplemente ser proveedor de materias primas altamente apetecidas en mercados como el de insumos para alimentación animal, insumos agrícolas, productos nutracéuticos, etc.
- ✓ Acercarse a la comunidad es una necesidad sentida de todas las empresas que se han comprometido verdaderamente con la responsabilidad social empresarial (RSE). Llegar a la comunidad con soluciones sociales a través de la generación de nuevos empleos, nuevas fuentes de trabajo, nuevos productos y porque no, con soluciones nutricionales, creará la mejor imagen que una generadora de electricidad pueda desear.

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Las microalgas son organismos unicelulares, microscópicos, fotosintéticos, que tienen la capacidad de tomar la luz y el CO₂ del ambiente en el que se encuentran y producir O₂, junto con otra cantidad de biomoléculas de gran valor. Entre estas biomoléculas se encuentran principalmente proteínas, aceites, ácidos grasos, carbohidratos, polisacáridos vitaminas, colorantes, hormonas, etc.

Desde mediados de la segunda guerra mundial, los gobiernos y los científicos volcaron su atención en algunas de las más de 500,000 especies de microalgas que existen en el mundo, en búsqueda de una proteína que supliera las necesidades de proteína animal, de la cual se preveía su escasez.

El resultado de estos estudios se ve representado en un gran boom de alimentos funcionales y nutraceuticos que contienen proteínas de microalgas, así como una gama de suplementos nutricionales que son comercializados mayormente en tabletas y encapsulados.

A finales de la década de los 70 y previendo el final de los combustibles fósiles, el laboratorio nacional de energías renovables de los Estados Unidos (NRLE) comenzó con un estudio minucioso de cómo obtener aceites de microalgas que pudieran convertirse en biodiesel. A finales del 2010 el departamento de energía de los EEUU publicó un documento exhaustivo de todas las posibilidades, beneficios, retos y falencias que existen para la obtención de biodiesel a partir de microalgas llamado “national algal biofuels. technology roadmap”.

Las microalgas se desarrollan en sistemas aireados, en cultivos líquidos donde las células tengan un buen acceso de luz, dióxido de carbono y otros nutrientes.

Los sistemas para producción de microalgas a nivel industrial se pueden catalogar en dos tipos principales: abiertos y cerrados. Los desarrollos iniciales para la producción industrial de microalgas y sus metabolitos a nivel comercial se centraron en el uso de sistemas abiertos (open ponds o también conocidos como raceways), los cuáles consisten en estanques de grandes dimensiones y muy poca profundidad. Estos pueden ser construidos bajo el nivel del suelo o sobre el mismo, dependiendo de las calidades y características del terreno. Según las condiciones climáticas del lugar, estos estanques pueden estar al aire libre o cubiertos por invernaderos en condiciones controladas.

Entre sus cualidades ventajosas pueden destacarse en diferentes ámbitos los siguientes beneficios:

- ✓ Beneficios económicos ya que se diversificarán las fuentes de combustibles hasta llegar a ser auto-abastecedores de por lo menos un porcentaje de su combustible; se implementarán otras líneas de producción y por lo tanto se abrirán otros mercados.
- ✓ Beneficios ambientales a partir de la capturaré CO₂ directamente de la planta, aliviando la carga contaminante de la misma; se generarán procesos más limpios de producción; se generarán ciclos de mínimo gasto de energía en los procesos, utilizando los mismos recursos disponibles en la planta para los nuevos procesos.
- ✓ Beneficios sociales, en la medida en que se genera mayor confianza y acercamiento a la comunidad, se genera empleo directa e indirectamente, se desarrollarán productos de beneficio social, que contribuirá p. ej. a campañas nutricionales entre la población infantil.
- ✓ Formación de talento humano, a través del desarrollo e implementación del programa, personal de planta de la empresa y otros científicos y técnicos contratados, se irán formando en un alto nivel, generando así más capital humano para la empresa y para el país.

El mayor valor agregado de este programa frente a la responsabilidad social empresarial, son sus características sistémicas, sostenibles y rentables. Es decir, este programa insertaría en una dinámica muy importante a la empresa, con su entorno. Integraría las diferentes áreas, utilizando los insumos que se producen en las diferentes fases del proceso actual. Daría como resultado una empresa con soluciones ambientales reales, tangibles y rentables.

Competiría con el tiempo con empresas que no han dado el salto al uso de los biocombustibles, siendo además auto abastecedor, podría tener otras líneas de negocio creando un importante abanico de posibilidades económicas para favorables para su fortalecimiento. Adicionalmente formaría permanentemente su capital humano en procesos biotecnológicos de impacto nacional e internacional.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

- ✓ **Análisis de sensibilidad:** Es el análisis de los efectos que los cambios en las ventas, costos y otros elementos pueden ejercer en la rentabilidad de un proyecto.³
- ✓ **Desarrollo sostenible:** Es el desarrollo que compensa las necesidades de la generación presente, sin poner en riesgo la capacidad de las descendencias futuras tras compensar sus propias necesidades.⁴
- ✓ **Depreciación:** Es la pérdida de valor que experimenta un activo fijo al prestar la función de su propia naturaleza durante el tiempo de vida.⁵
- ✓ **Responsabilidad social corporativa:** Este término es utilizado de forma popularizada para distinguir la obligación de las empresas respecto a los temas demandados por la sociedad.
- ✓ **Eficiencia:** El desempeño o eficiencia se enuncia en términos de la salida deseada y la entrada requerida.⁶
- ✓ **Efecto invernadero:** se trata de la retención del calor derivado del Sol en la atmósfera a consecuencia de un cinturón de gases, por los que se les ha dado el nombre. Entre ellos se encuentra el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano.⁷
- ✓ **Energía fósil:** aquella que se obtiene de la combustión de sustancias que se produjeron en el subsuelo a partir de la acumulación de residuos en forma de compuestos de carbono, procedentes de plantas, animales y de seres vivos de hace millones de años.

³ Brealey, Richard; Myers, Stewart; Marcus, Alan. (Página 253). *Fundamentos de Administración Financiera*. 5ta Edición. España: McGRAW-HILL.2007.

⁴ <http://www.unesco.org>

⁵ www.economia48.com/spa/d/depreciacion/depreciacion.htm

⁶ Cengel, Yunus. Boles A, Michael, (Página 78). *Termodinámica*. 6^{ta} Edición. México: McGRAW-HILL.2009.

⁷ Tomás Perales Benito. (Página 21). *El universo de las Energías Renovables*. España Marcombo. 2012

- ✓ **Factor de potencia.** Es el cociente entre la potencia activa y la total de una corriente.⁸
- ✓ **Flujo de caja libre (FCL):** Relación de ingresos-egresos en el tiempo que se usa para determinar la conveniencia o no de una alternativa (proyecto) de inversión.⁹
- ✓ **Inversión:** Es cualquier sacrificio de recursos hoy, con la esperanza de recibir algún beneficio en el futuro.¹⁰
- ✓ **Inversor.** Dispositivo que convierte la corriente continua en alterna.¹¹
- ✓ **kilovatio-hora (KWh):** Es una unidad de energía. Corresponde a la energía desplegada por una potencia de un kilovatio (kW) durante una hora, equivalente a 3,6 millones de julios.
- ✓ **Renovable:** Se considera renovable a los procedimientos que aprovechan la luz solar, el viento derivado directamente de esa radiación electromagnética, y los recursos hídricos, y procedimientos complementarios los restantes.¹²
- ✓ **Proyecto:** Origen de costos y beneficios que acontecen en diferentes periodos.¹³

⁸ Luís Jutglar Banyeres. (Página 495). *Generación de Energía Solar Fotovoltaica*. España: Marcombo, S. A. 2012.

⁹ Ignacio Vélez Pareja. (Página 94). *Decisiones de Inversión para la Valoración Financiera de Proyectos y Empresas..* Colombia: Editorial Pontificia universidad Lutaima. 1998.

¹⁰ Ignacio Vélez Pareja. (Página 312). *Decisiones de Inversión para la Valoración Financiera de Proyectos y Empresas..* Colombia: Editorial Pontificia universidad Lutaima. 1998.

¹¹ Ignacio Vélez Pareja. (Página 218). *Decisiones de Inversión para la Valoración Financiera de Proyectos y Empresas..* Colombia: Editorial Pontificia universidad Lutaima. 1998.

¹² Tomás Perales Benito. (Página 51). *El Universo de las Energías Renovables*. España Marcombo. 2012.

¹³ Carlos Contrás Núñez. (Página 172). *Conceptos Básicos de Gestión Económica y Financiera*. República Dominicana: Editora Búho. 2013.

- ✓ **Tasa de descuento:** Es la tasa de interés que establece la equivalencia entre valores tasas futuras y presentes. Es la máxima entre el costo de capital y el costo de oportunidad del dinero de la firma.¹⁴
- ✓ **Tasa interna de rentabilidad (TIR):** Es la tasa de interés que hace que el valor presente neto de los flujos de efectivos sea igual a cero.¹⁵
- ✓ **Viabilidad financiera (o económica):** busca definir, mediante la aplicación de criterios financieros y económicos, si el plan de negocio es recomendable desde el punto de vista de rentabilidad.¹⁶
- ✓ **Valor presente neto (VAN):** Es la diferencia entre el valor presente de la inversión, menos el valor presente de la recuperación de los fondos aplicando una tasa de descuento mínima aceptada para la aprobación de un proyecto de inversión.¹⁷
- ✓ **Periodo de recuperación:** En un indicador que mide la liquidez de un proyecto y el riesgo relativo al anticipar los eventos a corto plazo. También mide el plazo de tiempo que se requiere para recuperen la inversión.¹⁸
- ✓ **Valor del dinero en el tiempo:** Es la relación entre el tiempo, el interés y el poder de compra del dinero.
- ✓ **WACC:** Es la tasa de rendimiento mínima exigida por los inversionistas para tomar la decisión de inversión en un proyecto.

¹⁴ Ignacio Vélez Pareja. (Página 106). Decisiones de Inversión para la Valoración Financiera de Proyectos y Empresas. Colombia: Editorial Pontificia universidad Lutaima. 1998.

¹⁵ Berk, Jonathan; Demarzo, Peter. (Página 111). Finanzas Corporativas. México: Pearson.2008

¹⁶ Juan Antonio Flórez Uribe. (Página 46). Proyectos de Inversión para las PYME. 2da Edición. Colombia: Ecoe Ediciones. 2010.

¹⁷ Carlos Contrás Núñez. (Página 174). Conceptos Básicos de Gestión Económica y Financiera. República Dominicana: Editora Búho. 2013.

¹⁸ Carlos Contrás Núñez. (Página 175). Conceptos Básicos de Gestión Económica y Financiera. República Dominicana: Editora Búho. 2013.

MARCO ESPACIAL

El objeto de investigación se emplaza en la captura de CO₂ y producción de biodiesel a través del cultivo de microalgas en termoeléctrica de la República Dominicana.

MARCO TEMPORAL

La investigación se llevará a cabo en un período de análisis comprendiendo en 10 años.

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación

La manera más eficaz de hacer posible este proyecto de investigación es empapándose de los aspectos relacionados con el mismo, tener una visión de lo que se quiere lograr y de las pautas son necesarias seguir para obtenerlo. La producción de biodiesel debido al cultivo de microalgas es un proceso relativamente nuevo, por lo que parte de la información aquí recopilada provendrá de los medios de información disponibles a la mano: internet, revistas, libros y estudios de pre-factibilidad nacionales e internacionales, así como con contacto con especialistas del área (la investigación realizada será del tipo descriptiva).

Una vez desarrollado el estudio de factibilidad para la obtención de biodiesel mediante de microalgas, es importante dar un vistazo a otras posibilidades que tendría una termoeléctrica Dominicana, también a partir del cultivo de microalgas, en aras de aprovechar los recursos disponibles y que harían de la explotación de los mismos, proyectos ganadores.

Parte de este trabajo de investigación lo constituye la agrupación, organización y resumen de la información recopilada con la finalidad de lograr un orden lógico que responda a los objetivos del proyecto. De igual manera, la investigación sobre datos económicos (costes del equipo) y técnicos (detalle y desarrollo de los procesos) las diferentes tecnologías que existen para la extracción de lípidos de las microalgas se ha recurrido a fuentes ya mencionadas.

Métodos de investigación

Ha sido realizada una investigación profunda para conseguir información fiable de los precios del mercado. Concomitantemente con las búsquedas y con el estudio económico, se hizo la redacción interpretativa de los gráficos, las

tablas y la bibliografía. Esta investigación se realizará siguiendo el método inductivo, se parte de un hecho particular y se induce con la utilización de herramientas financieras a un resultado general aplicable a cualquier industria.

Se redactó de una forma clara, mediante datos notables para la buena comprensión en la producción de biodiesel a partir de las microalgas.

Al final se presentarán los resultados económicos y por último las conclusiones.

Técnicas a utilizar en el desarrollo de la investigación

Para la obtención de la información primaria se utilizaron las siguientes fuentes:

Comisión Nacional de Energía (CNE)

Organismo Coordinador (OC)

Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica (ANIE)

Corporación Dominicana de Empresas Estatales (CDEEE)

En la recolección de la información secundaria se consultaron como fuentes:

- ✓ Diccionarios
- ✓ Revistas
- ✓ Libros de Texto
- ✓ Consultas con expertos en las áreas de generación de energía y financieros.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I: EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD. CONCEPTOS, CÁLCULOS Y RAZONES ECONÓMICAS DE FUNDAMENTACIÓN

EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD

Empresas pioneras

Realidad de los combustibles fósiles

El agotamiento del petróleo

Problemática ambiental mundial y generación de CO₂

Bonos de carbono

Carencia de proteína a nivel mundial

Responsabilidad social empresarial en latinoamérica

Experiencias en responsabilidad social ambiental (RSA)

Sistemas de cultivos

CONCEPTOS

Definición de microalgas

Microalgas como alternativa para la captura de CO₂

Microalgas productoras de aceites

CÁLCULOS Y RAZONES ECONÓMICAS DE FUNDAMENTACIÓN

Producción de biodiesel y otros biocombustibles a partir de microalgas

Biomasa: producto de alto valor agregado en el cultivo de microalgas

Otras biomoléculas de microalgas de importancia comercial

Concepto de biofábrica

Mercado potencial para productos y subproductos del cultivo de microalgas

Autoabastecimiento de combustible en la propia planta termoeléctrica

Mercado para subproductos

Sector ganadero

Sector avícola

Agricultura orgánica

CAPÍTULO II: ACCIONES PARA LA VISIÓN, PROYECCIÓN EMPRESARIAL. PRESUPUESTO Y RAZONES FINANCIERAS

Bonos de carbono

Plan de implementación y organización

Recursos necesarios para la implementación del programa

Fases para la implementación del cultivo de microalgas

Fase 1. Implementación de laboratorio para el mantenimiento de cepas microalgales

Implementación de un cultivo piloto

Fase 3. Implementación de un cultivo semi-industrial (50 Ha)

Fase 4. Implementación de un cultivo -industrial (200 Ha).

Cronograma de implementación
Estructura organizacional

CAPÍTULO III: RESULTADOS FINANCIEROS: ANÁLISIS, RIESGOS Y FACTORES DEL EMPRENDIMIENTO

Análisis financiero
Análisis de riesgos
Riesgos científicos y tecnológicos
Riesgos legales
Riesgos de mercado
Otros escenarios
Inversión+ desarrollo+ innovación+ inversión (I+D+Ii)
Producción de alimentos y suplementos nutricionales
Producción de hidrocarburos
Producción de ácidos grasos poli-insaturados (PUFA's)

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- ✓ Brealey, Richard; Myers, Stewart; Marcus, Alan. (Página 253). Fundamentos de Administración Financiera. 5ta Edición. España: McGRAW-HILL.2007.
- ✓ Cengel, Yunus. Boles A, Michael, (Página 78). Termodinámica. 6^{ta} Edición. México: McGRAW-HILL.2009.
- ✓ Tomás Perales Benito. (Página 21). El universo de las Energías Renovables. España Marcombo. 2012.
- ✓ Monthieu, Chloé; Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel; madrid, junio 2010
- ✓ Laurent Lardon, Arnaud Helias, Bruno Sialve, Jean-Phimippe, Steyer, Olivier Bernard “Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from microalgae”, 2009.
- ✓ Gomez, Holga; “Producción y Valorización de biomasa a partir de microalgas.”
- ✓ Arief Widjaja ; “Lipid production from microalgae as a promising candidate for biodiesel production”, Department of chemical engineering, Institute of Technology Sepuluh, Indonesia Vol 13, n°1, 47 – 51, April 2009.
- ✓ Luís Jutglar Banyeres. (Página 495). Generación de Energía Solar Fotovoltaica. España: Marcobo, S. A. 2012.
- ✓ Ignacio Vélez Pareja. (Página 94). Decisiones de Inversión para la Valoración Financiera de Proyectos y Empresas.. Colombia: Editorial Pontificia universidad Lutaima. 1998.
- ✓ Carlos Contrás Núñez. (Página 172). Conceptos Básicos de Gestión Económica y Financiera. República Dominicana: Editora Búho. 2013.
- ✓ Berk, Jonathan; Demarzo, Peter. (Página 111). Finanzas Corporativas. México: Pearson.2008

- ✓ Juan Antonio Flórez Uribe. (Página 46). Proyectos de Inversión para las PYME. 2da Edición. Colombia: Ecoe Ediciones. 2010.
- ✓ Paul Lira Briceño. Evaluación de Proyectos de Inversión. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas S. A. C. 2013.

Internet:

- ✓ <http://www.cne.gov.do/>
- ✓ <http://adie.org.do/>
- ✓ <https://www.dgii.gov.do/legislacion/leyesTributarias/Documents/57-07.pdf>
- ✓ <http://www.unesco.org>
- ✓ www.economia48.com/spa/d/depreciacion/depreciacion.htm
- ✓ Investigación sobre biocombustibles y microalgas:
 - www.oilgae.com
 - www.biodieselsapin.com
 - www.biodiesel.org
 - www..biodiesel.com
 - www.abengoabioenergy.com
 - www.expobionergía.com
 - www.bioenerg.co.uk
 - www.iica.int
 - www.caledonbucleouch.com
 - www.biofuelsinternationalexpo.com
 - www.ers.usda.gov
 - www.biodisol.com
 - www.biomassmagazine.com

ANEXO II

Inversión/ Presupuesto											
Requerimientos Financieros											
Valores en USD											
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Presupuesto de Capital											
Laboratorio											
1	Cabina de flujo laminar	9,600									
2	Autoclave	6,700									
3	Centrífuga (tubos para centrífuga)	9,500									
4	Microscopio	3,000									
5	Potenciometro	440									
6	Material de microbiología	2,500									
7	Material de vidrio	3,700									
8	Rotoevaporador	7,500									
9	Vortex	900									
10	Shaker	8,000									
11	Balanza electrónica	3,000									
12	Micropipetas	950									
13	Termómetros	210									
14	Desecador	680									
15	Equipos de filtración al vacío	2,000									
16	Incubadora	4,000									
17	Fotobioreactor de 5L	7,200									
18	Accesorios para fotobioreactores	2,500									
19	FlowCAM® VS-IV	79,930									
20	Reactivos para medios de cultivo	2,000									
21	Reactivos para transesterificación	2,000									
22	Ultraturrax	2,000									
	Total de Laboratorio	158,310									
Sistema de Producción											
1	Terreno (0,5 Ha)	200,000			2,000,000						
2	Adecuación del terreno	383,571			2,100,000						
3	Bioreactores	60,000			3,000,000						
4	Tanques de almacenamiento	128,000			128,000						
1	Almacenamiento/ biomasa	30,000			500,000						
2	Equipos decantación y separación	441,107			500,000						
3	Equipos extracción de aceites	25,000			500,000						
4	Periféricos e instalaciones	40,000			1,000,000						
5	Equipo de secado de biomasa	97,000			970,000						
1	Equipo producción de biodiesel	250,000			554,000						
2	Almacen biodiesel/glicerina	20,000			500	se pueden aprovechar existentes					
3	Periféricos e instalaciones	7,000			700,000						
	Total de Producción	1,681,678			11,952,500						
	Total Inversión de Capital sin mantenimiento	1,839,988	0	0	11,952,500	0	0	0	0	0	0
Inversión en mantenimiento de equipos											
	Un porcentaje de la Inversión	0.00%	10.00%	10.00%	10.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
	Mantenimiento, reemplazo y reparación de equipos	0	183,999	183,999	183,999	119,525	119,525	119,525	119,525	119,525	119,525
Total de Presupuesto de Capital anual		1,839,988	183,999	183,999	12,136,499	119,525	119,525	119,525	119,525	119,525	119,525

Fuente: Elaboración propia

Ingresos

Modelo Financiero										
Proyecciones Financieras Valores en USD										
Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos										
Biodiesel										
Litros	0	8,067	32,268	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304	3,227,304
Precio x Litros	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Ingresos por Biodiesel	0	10,164	40,658	4,066,403	4,066,403	4,066,403	4,066,403	4,066,403	4,066,403	4,066,403
Proteinas										
Toneladas	0	16	65	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504	6,504
Precio x Toneladas	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385
Ingresos por Proteinas	0	6,237	24,948	2,504,040	2,504,040	2,504,040	2,504,040	2,504,040	2,504,040	2,504,040
Captura de CO2										
Toneladas	0	30	119	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188
Precio x Toneladas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ingresos captura de CO ₂	0	178	713	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128
Total de Ingresos	0	16,580	66,318	6,577,571						

Fuente: Elaboración propia

Costos y gastos:

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos de bienes producidos										
Composición de aceites	0	8,000	48,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
Físico químicos biomasa	0	4,000	24,000	199,200	199,200	199,200	199,200	199,200	199,200	199,200
Transferterificación	0	3,400	20,400	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
Caracterización biodiesel	0	8,000	48,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
Consumo energía	0	3,168	19,008	48,132	48,132	48,132	48,132	48,132	48,132	48,132
Total	0	26,568	159,408	1,987,332	1,987,332	2,086,699	2,086,699	2,191,034	2,191,034	2,300,585
Gastos generales y administrativos										
Nómina	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900	107,900
Transporte	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080	31,080
Servicios	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400
Alquileres	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Auditoria Calidad	50,000	0	0	50,000	0	0	0	0	0	0
Seguros	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Contabilidad	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Viajes	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Imprevistos 5%	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119	9,119
Total	241,499	191,499	201,074	201,074	211,128	211,128	221,684	221,684	232,768	232,768

Fuente: Elaboración propia

Flujo de efectivo a 20 años:

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Flujos de Efectivo																					
Ingresos		0	16,580	66,318	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571	6,577,571
Costos de producción		0	26,568	159,408	1,987,332	1,987,332	2,086,699	2,086,699	2,191,034	2,191,034	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585	2,300,585
Ingresos antes de gastos		0	-9,988	-93,090	4,590,239	4,590,239	4,490,872	4,490,872	4,386,538	4,386,538	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986	4,276,986
Gastos generales y administrativos		241,499	191,499	201,074	201,074	211,128	211,128	221,684	221,684	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768	232,768
Ganancia antes de depreciación intereses e impuestos		-241,499	-201,487	-294,163	4,389,165	4,379,111	4,279,745	4,269,188	4,164,853	4,153,769	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218	4,044,218
Tasa impositiva		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gastos impuestos sobre la renta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad operativa neta		-241,499	-201,487	-294,163	4,389,165	4,379,111	4,279,745	4,269,188	4,164,853	4,153,769	4,044,218										
Presupuesto de capital	1,839,988	183,999	183,999	12,136,499	119,525																
Entradas de Efectivo	-1,839,988	-425,498	-385,486	-12,430,662	4,269,640	4,259,586	4,160,220	4,149,663	4,045,328	4,034,244	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693	3,924,693
Costo de Capital	20%																				
Valor presente neto del periodo de planeación	1,680,262																				

Fuente: Elaboración propia