

Modelo de negocio para la viabilidad de una empresa de producción y comercialización de biodiésel a partir de la microalga *Chlorella* en Colombia

Business model for the viability of a biodiesel production and commercialization company from the *Chlorella* in Colombia

Ramírez Naranjo, David Orlando; Ospina Rodríguez, Sebastián; Bonilla Gaviria, Juan Pablo

Resumen

Identificando la situación actual del biodiésel en el contexto nacional e internacional, se pretende evaluar mediante un modelo de negocio verde la viabilidad de crear una empresa de producción y comercialización de biodiésel a partir de la microalga *Chlorella* en Colombia. Por medio de matrices de decisión de alternativas y validando algunos procesos a nivel experimental, se analizaron y eligieron las características técnicas/operativas requeridas para el proceso de producción. Se desarrollaron estudios de mercado de intencionalidad exploratorio, organizacional y financiero, proyectando a *GreenFuels & Consultores Colombia* como una empresa que producirá y comercializará biodiésel a partir de *Chlorella*, para atender las distribuidoras mayoristas, que requieren mezclas diésel-biodiésel de calidad y cumplir con sus metas de producción, aumentando paralelamente sus

Abstract

Identifying the current situation of biodiesel in the national and international context, it is intended to evaluate through a green business model the viability of creating a biodiesel production and marketing company from the *Chlorella* microalgae in Colombia. By means of alternative decision matrices and validating some processes at an experimental level, the technical / operational characteristics required for the biodiesel production process from the *Chlorella* microalgae were analyzed and chosen, as well as exploratory intentionality market, organizational and financial research. Proposing *GreenFuels & Consultants Colombia* as a company that will produce and market biodiesel from *Chlorella* to wholesale distributors, who need to trade their quality diesel-biodiesel blends and maintain good social and environmental practices. Therefore, *GreenFuels & Consultants Colombia* as a green business model

Recibido / Received: Mayo 08 del 2017 Aprobado / Approved: Junio 08 del 2017

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: jpbonillag@unbosque.edu.co

Autor para comunicaciones / Author communications: Universidad El Bosque

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

externalidades positivas al ambiente y la sociedad. Por lo tanto, *GreenFuels & Consultores Colombia* como modelo de negocio verde, es un proyecto viable en términos técnicos, validado en el mercado, con una propuesta de valor clara e innovadora y financieramente rentable.

Palabras Clave: Negocios verdes; biodiesel; microalga; modelo de negocio; *Chlorella*

is a viable project in technical terms, market acceptability, clear and innovative value proposition and financially profitable.

Keywords: Green business; biodiesel; microalgae; business model; *Chlorella*

Introducción

Las microalgas son un conjunto heterogéneo de microorganismos fotosintéticos unicelulares procariontas y eucariotas, que se localizan en diversos hábitats tales como aguas marinas, dulces, salobres, residuales o en el suelo, bajo un amplio rango de condiciones de temperatura, pH y nutrientes. Estos microorganismos se consideran responsables de la producción del 50% de oxígeno y de fijar el 50% del carbono del planeta [1].

Además, las microalgas son una alternativa prometedora para la obtención de aceites y proteínas. Existe una mayor ventaja al usarlas como materia prima para la producción de biodiésel con respecto a otras plantas oleaginosas, como la palma de aceite, soya, semillas de girasol y jatropha. Las ventajas radican principalmente en la alta eficiencia fotosintética de las microalgas, tasas de crecimiento elevada [2], periodos de cosecha y ciclos de recolección cortos [3], no compiten con ningún otro cultivo por la tierra [4], fijan grandes cantidades de CO₂ lo que permite acoplar su producción para la reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero) [5], pueden prescindir del uso de plaguicidas y herbicidas, su cultivo requiere menores cantidades de agua y son flexibles ante el tipo de calidad de esta [1].

Es por lo anterior que en los últimos años se ha venido investigando sobre la producción de biodiesel a partir de microalgas, como una alternativa que promueva la seguridad alimentaria de la población y juegue un papel importante en la reducción y captura de GEI. Así como aportar a la diversificación de las energías alternativas y permita cumplir con el abastecimiento de biodiesel en Colombia, la tendencia del año 2017 indica que los niveles de producción han sido más bajos que la venta del mismo [6].

Existen muchos estudios que se enfocan en buscar alternativas de crecimiento y cultivo, recolección, extracción de lípidos y procesamiento de éstas para generar valor agregado [7]. Sin embargo, no evalúan esta alternativa como un modelo de negocio con proyecciones industriales haciendo énfasis en estudiar el mercado, diseñar una propuesta de valor clara y validarla en términos económicos para el contexto colombiano. Por lo tanto, se pretende evaluar mediante un modelo de negocio verde la viabilidad de crear una empresa de producción y comercialización de biodiésel a partir de la microalga *Chlorella* en Colombia.

Metodología

La presente investigación se desarrolló en dos etapas. La primera con el fin de analizar y seleccionar las características técnicas/operativas requeridas para el proceso de producción de biodiésel a partir de la microalga *Chlorella*. La segunda para corroborar la factibilidad técnica y lo encontrado en la bibliografía.

Estos procedimientos se realizaron en las instalaciones del Tecnoparque-Sena Nodo Bogotá. Posteriormente se realizó un estudio de mercado de intencionalidad exploratorio, organizacional y financiero para la producción y comercialización de biodiésel a partir de la microalga *Chlorella* en Colombia.

Etapa 1: Desarrollo y viabilidad de los referentes técnicos

Se adaptó el Método Cuantitativo para la Toma de Decisiones de Sanint, 2004, el cual consiste en definir los

principales factores que determinan la toma de decisión de una alternativa requerida, para asignar valores ponderados según el peso o importancia de cada una.

Al comparar una o más opciones se procede a asignar una calificación a cada factor, de acuerdo con una escala predeterminada. La suma de las calificaciones ponderadas permitirá seleccionar la alternativa que acumule mayor puntaje.

De esta manera se asegura identificar cada una de las técnicas más adecuadas en torno a los requerimientos de producción de biodiésel a partir de microalgas.

Así mismo, a medida que se define cada uno de los procesos operativos que se implementarán en el modelo de negocio para producir y comercializar biodiésel a partir de *Chlorella* en Colombia, se realizó una validación experimental de cada una de las etapas de producción en las instalaciones del Tecnoparque-Sena nodo Bogotá.

Etapa 2: Modelo de negocio para la producción de biodiésel a partir de *Chlorella*

Para la realización del estudio de mercado de intencionalidad exploratorio, organizacional y financiero para la producción y comercialización de biodiésel a partir de *Chlorella* en Colombia, se adaptó la metodología Canvas, como una herramienta para analizar la viabilidad de crear una empresa.

Para su desarrollo se decidió dividir en cinco fases (estudio organizacional, estudio de mercado de intencionalidad exploratorio, propuesta de valor, estudio de macrolocalización y modelo financiero), teniendo en cuenta los fundamentos del modelo Canvas, los cuales son: crear, entregar y capturar valor [8].

Estudio organizacional

Es el establecimiento del marco en el que se desarrolla la organización, de modo que se determinen las condiciones en las que se cumplan los objetivos y metas de la empresa [9], se adaptó la Metodología para el Diagnóstico y Diseño de una Estructura Organizacional de Argüelles, 2007 y se desarrolló el análisis FODA explicado por Amaya, 2005.

Estudio de mercado de intencionalidad exploratorio

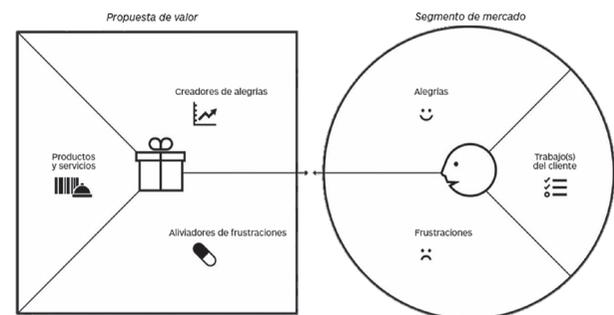
Se tuvo como guía de referencia el Manual para la Elaboración de Planes de Negocio del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2010. Esta fase se compone de un análisis de la oferta (directa e indirecta) y demanda, donde se identifica el segmento del cliente y se tiene en cuenta la base de decisión del mismo.

Propuesta de valor

Ya que se busca describir de una manera estructurada y detallada las características específicas del modelo de negocio, se decidió utilizar la herramienta del lienzo de la propuesta del valor, planteada por Osterwalder, 2014.

La propuesta de valor se conforma de dos partes como se evidencia en la imagen, la primera es el perfil del cliente en el cual se describe de manera detallada el segmento del cliente específico al cual le apunta el modelo de negocio, dividido en trabajos, frustraciones y alegrías. La segunda es el mapa de valor, donde se detallan las características de la propuesta de valor del modelo de negocio, este a su vez se divide en productos y servicios, aliviadores de frustraciones y creadores de alegrías.

Imagen 1. Lienzo de la propuesta de valor



Fuente: (Osterwalder, Pigneur, Bernarda, & Smith, 2014)

Estudio de macrolocalización

Con el fin de llegar a una decisión de macrolocalización donde no se ignoren factores ambientales y sociales, pero que también ofrezca un desempeño económico en función de los costos de producción, logísticos y de

comercialización. Se escogieron una serie de criterios y subcriterios propuestos en la Metodología para la Localización de Instalaciones de Producción de Biocombustibles con Enfoque de Cadenas de Suministro, Aplicaciones en el Contexto Colombiano, de Duarte, 2015.

El estudio de macrolocalización consistió en la selección de factores, donde se identificó la estructura de la cadena de suministro, seguido de la determinación de las posibles regiones de localización. Donde se identificaron factores incidentes, se realizó una jerarquización de factores (características determinantes) y un análisis cualitativo de los factores en las posibles ubicaciones [10], para esto se calificará con una escala de 1 a 8 (1 significa el menor cumplimiento de los subcriterios y 8 el mayor cumplimiento).

Modelo financiero

El modelo financiero permite demostrar la capacidad de generar valor económico de la idea de negocio. Para ello se tuvo como referencia el Manual para la Elaboración de Planes de Negocio del Ministerio de Comercio de Industria y Turismo, 2010. Con el fin de que esté acorde con los lineamientos propuestos por las entidades gubernamentales nacionales con el fin de acceder a recursos de potenciales inversionistas. En ésta se aconseja realizar una evaluación financiera a partir del flujo de caja del proyecto de inversión, con el fin de calcular indicadores que ayuden a la toma de decisiones, tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN).

Resultados

Etapa 1: Desarrollo y viabilidad de los referentes técnicos

Proceso de cultivo

El proceso de cultivo para *Chlorella* se comprende dos etapas, en primer lugar, el acondicionamiento celular, con el fin de mantener condiciones de crecimiento controladas y así favorecer la división celular, aumentar la concentración y evitar la contaminación. Seguido de su cultivo a gran escala como segunda etapa de producción de biomasa.

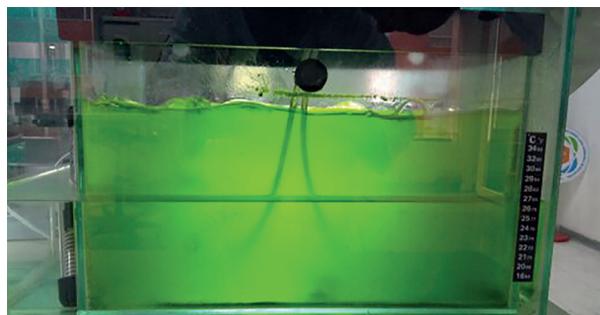
Para esta primera fase de acondicionamiento celular se propone el uso de fotobiorreactores en panel o plano, ya que obtuvo la puntuación ponderada más alta (3) dentro de la matriz de selección de tecnologías para el cultivo de acondicionamiento celular (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de decisión para identificar de tecnología de acondicionamiento celular de microalga.

Factores	Foto biorreactor en panel [11]		Foto biorreactor tubular [11]		Foto biorreactor de columna [11]		
	P.P	Calif	P.P	Calif	P.P	Calif	
Iluminación	0.3	3	0.9	2	0.6	1	0.3
Baja inversión inicial	0.4	3	1.2	1	0.4	2	0.8
Fácil mantenimiento	0.3	3	0.9	1	0.3	2	0.6
Total	1	9	3	4	1.3	5	1.7

Fuente: Autores, 2017, P.P - Peso Ponderado, Calif. – Calificación (3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo)

Imagen 2. Cultivo de *Chlorella* en fotobiorreactor en panel - Tecnoparque



Fuente: Autores, 2017

En cuanto a la segunda fase o crecimiento a gran escala se pretende utilizar el sistema abierto para el cultivo de microalgas Raceway o High Rate Algal Ponds (HRAP). Se valoró con el puntaje ponderado más alto (2.2) en la matriz de decisión para identificar tecnología de crecimiento a gran escala.

Tabla 2. Matriz de decisión para identificar tecnología de crecimiento a gran escala de microalga.

Factores	P.P	Raceway [12], [13], [14]		Sistemas cerrados [12], [13]	
		Calif	P.P	Calif	P.P
Bajos costos de operación	0.2	3	0.6	1	0.2
Productividad	0.2	1	0.2	3	0.6
Inversión	0.2	3	0.6	1	0.2
Evaporación del medio de cultivo	0.2	1	0.2	3	0.6
Durabilidad en el tiempo	0.2	3	0.6	1	0.2
Total	1	11	2.2	9	1.8

Fuente: Autores, 2017, P.P - Peso Ponderado, Calif. – Calificación (3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo)

Con las tecnologías de cultivo identificadas es importante conocer cuál será el medio de cultivo más apropiado para el crecimiento de *Chlorella*. De acuerdo con lo anterior, se decidió, con los criterios determinados, que Remital es la alternativa más viable con el puntaje ponderado más alto (2.4) (Tabla 3).

Tabla 3. Medios de cultivo evaluados – Tecnoparque

Factores	P.P	Extracto de gallinaza al 30% [15]		Remital [15]		Algae Culture Broth [16]	
		Calif	P.P	Calif	P.P	Calif	P.P
Bajo costo	0.4	3	1.2	2	0.8	1	0.4
Crecimiento celular	0.4	1	0.4	3	1.2	2	0.8

	Extracto de gallinaza al 30% [15]		Remital [15]		Algae Culture Broth [16]		
Fácil acceso	0.2	3	0.6	2	0.4	1	0.4
Total	1	7	2.2	7	2.4	4	1.6

Fuente: Autores, 2017, P.P - Peso Ponderado, Calif. – Calificación (3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo)

Imagen 3. Medios de cultivo evaluados - Tecnoparque



Fuente: Autores, 2017

Proceso de producción

Las unidades que componen el proceso a partir del cual se genera biodiésel de microalgas son las siguientes: Recolección de la biomasa, secado, disrupción celular, extracción de los lípidos y finalmente obtención del biodiésel.

En este orden, para el caso de la recolección de biomasa como primer proceso unitario, se obtuvo que la centrifugación es la tecnología más conveniente con un valor de calificación mayor (2.2) en comparación a las otras opciones propuestas en la tabla 4.

Tabla 4. Matriz de decisión para identificar tecnología de recolección de biomasa (*Chlorella*).

Factores	Centrifugación [17]		Sedimentación por gravedad [18]		Floculación [19]		
	P.P	Calif	P.P	Calif	P.P	Calif	
Costo inicial	0.4	1	0.4	3	1.2	2	0.8
Eficiencia de recolección	0.4	3	1.2	1	0.4	2	0.8
Tiempo de recolección	0.2	3	0.6	1	0.2	2	0.2
Total	1	7	2.2	5	1.8	6	1.8

Fuente: Autores, 2017, P.P - Peso Ponderado, Calif. – Calificación (3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo)

Imagen 4. Proceso de centrifugación *Chlorella* – Tecnoparque



Fuente: Autores, 2017

Después del proceso de recolección de biomasa se debe realizar el secado de la misma, para lo cual, se obtuvo de acuerdo con la matriz de decisión para identificar tecnología de secado y lisis celular, el Liofilizador con un puntaje ponderado de (2.3).

Tabla 5. Matriz de decisión para identificar tecnología de secado de biomasa (*Chlorella*)

Factores	Secado al sol [20]		Horno [21]		Liofilizador [22]		
	P.P	Calif	P.P	Calif	P.P	Calif	
Coste inicial	0.3	3	0.9	2	0.6	1	0.3
Tiempo de secado	0.2	1	0.2	3	0.6	2	0.4
Eficiencia de secado	0.2	1	0.2	2	0.4	3	0.9
Doble propósito (Secado + lisis celular)	0.3	1	0.3	2	0.6	3	0.9
Total	1	6	1.6	9	2.2	6	2.5

Fuente: Autores, 2017, P.P - Peso Ponderado, Calif. – Calificación (3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo)

Imagen 5. Proceso liofilización *Chlorella* – Tecnoparque



Fuente: Autores, 2017

Para el siguiente proceso unitario referido a la extracción de lípidos, se escogió como tecnología asociada a la misma, el uso de solventes (Hexano y 2-Propanol) con una puntuación ponderada de (2.3).

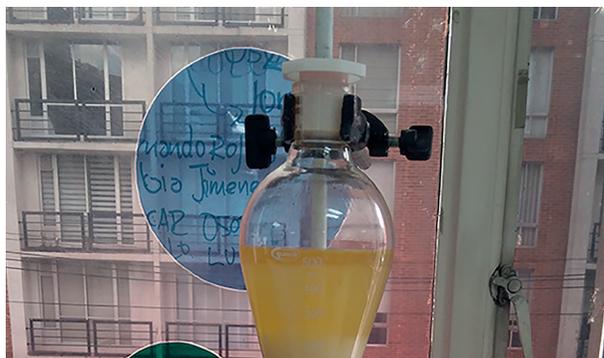
Tabla 6. Matriz de decisión para identificar tecnología de extracción de lípidos.

Factores	Bligh & Dyer [23]		Solventes (hexano y 2-propanol) [24]		Fluidos supercríticos [25]		
	P.P	Calif	P.P	Calif	P.P	Calif	P.P
Coste	0.3	2	0.6	3	0.9	1	0.3
Eficiencia de extracción	0.3	3	0.9	2	0.6	1	0.3
Uso de insumos contaminantes y tóxicos	0.4	1	0.4	2	0.8	3	1.2
Total	1	7	1.9	6	2.3	5	1.8

Fuente: Autores, 2017, P.P - Peso Ponderado, Calif. – Calificación (3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo)

Finalmente, la última etapa de obtención de biodiésel se realizará por medio de transesterificación, como tecnología económica, de requerimientos y eficiencia mucho más alta a los otros métodos usados como el uso directo, microemulsiones y pirolisis [1].

Imagen 6. Proceso transesterificación *Chlorella* – Tecnoparque



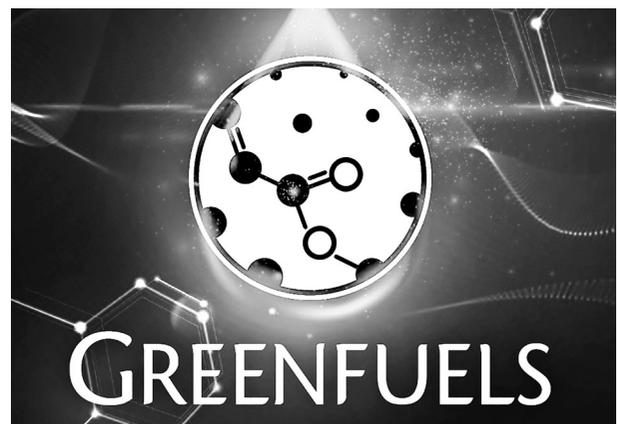
Fuente: Autores, 2017

Etapa 2: Modelo de negocio para la producción de biodiésel a partir de *Chlorella*

Estudio organizacional

Para iniciar con el estudio organizacional es importante en primer lugar identificar la razón social de la empresa, como una herramienta de reconocimiento legal y comercial. Para ello, se escogió el nombre de *GreenFuels & Consultores Colombia*. Con el fin de generar reconocimiento en el mercado como una empresa de producción y comercialización de combustibles “verdes” en Colombia. Orientando lo que se quiere hacer, cómo, quién y cuándo se hará, mediante la identificación de los valores corporativos, misión, visión, análisis FODA, organigrama y descripción del equipo de trabajo de *GreenFuels & Consultores Colombia*.

Imagen 7. Logotipo *GreenFuels & Consultores Colombia*



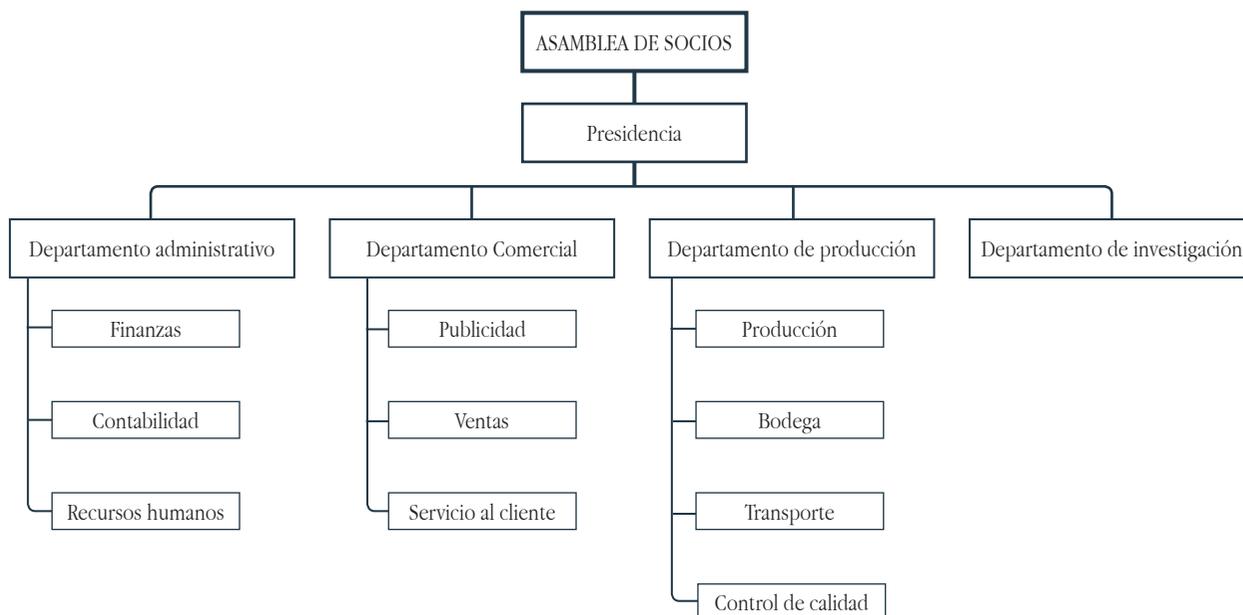
Fuente: Autores, 2017

Teniendo en cuenta lo anterior la misión de *GreenFuels & Consultores Colombia* es: producir energía alternativa a través de la biomasa de microalga, que reemplace el diésel fósil en el territorio colombiano, con el fin de incorporar en la canasta energética del país un biocombustible de tercera generación que cuide el ambiente, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera, así como evitando la discusión energía vs alimento. Aportando en la generación de investigación, desarrollo e innovación y oportunidades de negocio.

La visión de *GreenFuels & Consultores Colombia*, pretende producir y comercializar biocombustible que innove la forma en que se hace a nivel nacional, siempre pensando en las tendencias

y posibles oportunidades de consolidarse en mercados internacionales, como una alternativa a la creciente demanda energética mundial a partir de sus principios como negocio verde.

Imagen 8. Organigrama *GreenFuels & Consultores Colombia*



Fuente: Autores, 2017

Así mismo la matriz de análisis FODA permitió evaluar el entorno externo (Amenazas y Oportunidades) y recursos internos (Fortalezas y debilidades) de la organización, con el fin de proponer o diseñar estrategias de trabajo a través de indicadores de resultado, como se muestra a continuación:

Estrategia ofensiva (Fortalezas + Oportunidades):

- Diseñar un programa de investigación constante con el fin de promover la innovación y desarrollo de patentes.
- Diseñar un programa de búsqueda y aplicación a oportunidades de reconocimiento con incentivos económicos, de organizaciones públicas o privadas a nivel nacional e internacional.

Estrategias ofensivas (Fortalezas + Amenazas):

- Promover el conocimiento de biodiésel a partir de microalgas a través de la participación en congresos

o pláticas, que organicen las entidades o sectores relacionados a los biocombustibles.

- Oportunidades de alianza con las entidades relacionadas de carácter relevante en el mercado de biocombustibles como Ecopetrol y la Federación Nacional de Biocombustibles.

Estrategias de reorientación (Debilidades + Oportunidades):

- Promover un programa de búsqueda de inversionistas a partir de los atributos de innovación y valores ecológicos que promueve el mismo, con el fin de aumentar la capacidad de inversión inicial.

Estrategias de supervivencia (Debilidades + Amenazas):

- Fortalecer la capacidad de promoción y marketing de venta con el fin de adquirir reconocimiento en el mercado.

Estudio de mercado de intencionalidad exploratorio

Análisis oferta

En Colombia se encuentran dos iniciativas que plantean la producción de biodiésel a partir de microalgas. La primera Fuel Algae que nació de estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia y abastece la demanda a 60 fincas de Mariquita (Tolima) con un consumo total de 80 gal/mes [26], está al no destinar el biodiésel producido al consumo en el sector transporte a nivel nacional no entraría a competir de manera directa con el modelo de negocios que se propone en el presente trabajo. La segunda iniciativa identificada fue la de la multinacional Oil Fox que tenía planeado comenzar su proceso de producción de biodiésel a partir de algas en Colombia, sin embargo, en la actualidad este se encuentra postergado por razones internas de la compañía, debido a esto tampoco serían competidores directos actualmente. Por esta razón se tomará como punto de referencia a las empresas productoras de biodiésel a partir de microalgas en América Latina.

Argentina es uno de los países que ha destacado en la producción del biocombustible en los últimos años, por lo que se ha logrado la promoción de empresas como la ya mencionada Oil Fox, que realizó un acuerdo con YPF (empresa de energía más importante de Argentina) para la producción de 50.000 ton/año de biodiésel [27].

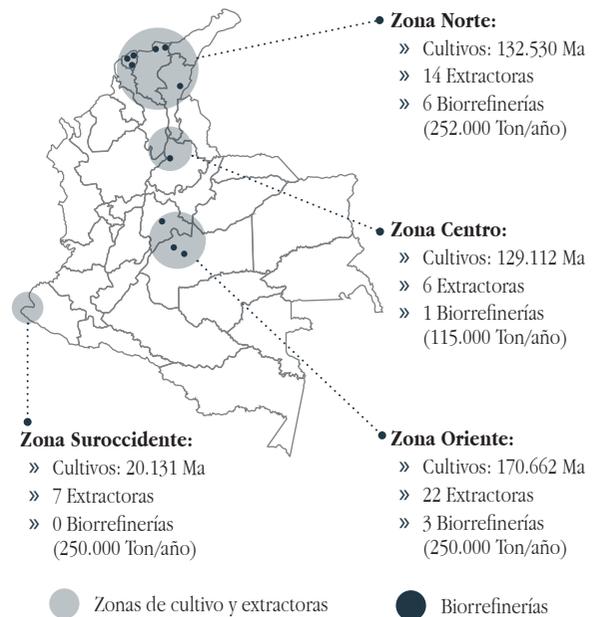
Así mismo, otra de las empresas más representativas en Sudamérica es Algae Fuels que cuenta con una planta piloto que cultiva microalgas para la producción de biocombustibles, ubicada en Mejillones, Antofagasta, y cuenta con un área de 0.9 Ha de los cuales 0.3 Ha son de superficie productiva, compuesta por dos biorreactores de 100 L cada uno, dos fotobiorreactores de 300 L cada uno, dos sistemas abiertos tipo raceway de 740 L cada uno, dos sistemas tipo Raceway de 3 m³ cada uno y por último, otros dos sistemas tipo Raceway de 10 m³ cada uno. Esta planta tiene una capacidad de producción de biodiésel de 200 L/día [28].

Esto implica que a nivel Colombia, actualmente no existen modelos de negocio de producción de biodiésel a partir de microalgas que compitan con nuestra propuesta, frente al mismo segmento del cliente como lo es la industria de los combustibles destinada al parque automotor colombiano.

En términos indirectos, la producción y comercialización de biodiésel en Colombia según la Federación Nacional de Biocombustibles (Fedebiocombustibles) en un 100% se produce a escala industrial con finalidad de mezcla con ACPM a partir de aceite de palma. Plantas de extracción concentradas en 4 zonas principales del país (Zona Norte, Zona Centro, Zona Oriente y Zona Suroccidente) y un aproximado de 500.000 toneladas de producción al año de aceite virgen de palma, las cuales se refinan en 12 grandes compañías productoras del mismo, de las cuales 10 se encuentran actualmente en funcionamiento y 2 aún no se encuentran en operación según Fedebiocombustibles (2017).

Estas 10 empresas, cuentan con una capacidad de producción de 811.000 toneladas al año (911.235,9 m³/año). Las empresas que mayor capacidad de producción y por ende se presentan como nuestros más grandes competidores son BioD (200.000 ton/año), Biocombustibles Sostenibles del Caribe (170.000), Ecodiesel de Colombia (120.000), Aceites Manuelita (120.000) y La Paz (70.000), que equiparan un 87% del mercado de producción de biodiésel en Colombia, en las zonas de mayor influencia del mismo, las cuales son el norte, oriente y centro del país [29].

Imagen 9. Distribución de los cultivos, extractoras y biorrefinerías de palma de aceite.



Fuente: Aranda, Barón, Huertas, & Orjuela. (2014). Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biodiésel en Colombia.

Ahora bien, cuando se analizan en términos monetarios los volúmenes de biodiésel vendidos en Colombia, es importante destacar que se debe tener en cuenta que el precio del mismo fluctúa de acuerdo con lo establecido bajo las resoluciones mensuales expedidas por el Ministerio de Minas y Energía.

Para dar un análisis aproximado de los ingresos por venta de biodiésel se tomará como referencia el mes de julio del año 2017, debido a que era el último reportado en el sitio web de Fedebioenergías, para este mes se registraron ventas de 42.563,63 toneladas equivalentes a 12.633.856,24 galones aproximadamente, a un precio de 9.886,23 COP/galón. Según la Resolución 40603 del 28 de junio de 2017. Dando como resultado un total de ventas en el país para el mes de Julio de 124.901.208.575,57 COP.

Análisis demanda

Los clientes de *GreenFuels & Consultores Colombia*, se resumen en 17 empresas mayoristas dedicadas a realizar la mezcla correspondiente de ACPM y biodiésel, éstas se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 7. Distribuidores mayoristas en Colombia

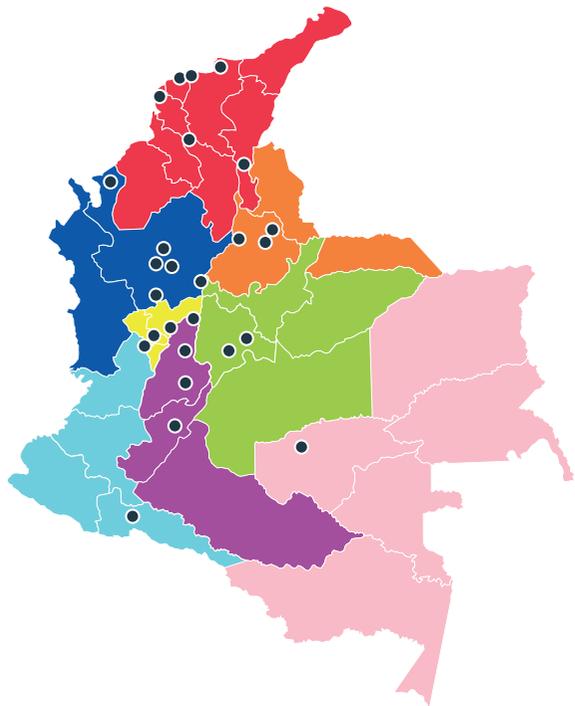
	Ubicación	Participación mercado (%) [30]
ORGANIZACIÓN TERPEL S. A	Centro. oriente y norte del país	38,14%
EXXONMOBIL DE COLOMBIA S. A	Centro. oriente y norte del país	15,24%
BIOMAX	Centro. oriente y norte del país	15,34%
CHEVRON PETROLEUM COMPANY	Centro. oriente y norte del país	9,11%
PETROMIL S.A.S	Cartagena	6,21%

	Ubicación	Participación mercado (%) [30]
ZEUSS PETROLEUM S.A	Girardota	3,28%
MINEROIL	Itagüí	1,36%
COOPERATIVA AYATAWACOOP	Maicao	2,42%
PETROBRAS COLOMBIA COMBUSTIBLES S.A	Centro. oriente y norte del país	2,33%
PUMA ENERGY COLOMBIA COMBUSTIBLE S.A.S	Caribe	1,71%
CI ECOSPETROLEO S.A	Barranquilla	1,47%
COOMULPINORT	Cúcuta	1,11%
PLUS COMBUSTIBLES S.A	Bogotá	0,72%
OCTANO DE COLOMBIA S.A	Madrid	0,54%
ZAPATA Y VELASQUEZ S.A	Medellín	0,38%
COMERCIALIZA DORA PROXXON S.A	Medellín	0,16%
DISCOWACOOP	Maicao	0,48%
Total		100%

Fuente: Autores, 2017

Así mismo las distribuidoras mayoristas cuentan con 30 instalaciones donde operan, estas se encuentran ubicadas en diferentes regiones del país como se muestra en la imagen 10.

Imagen 10. Ubicación distribuidores mayoristas por región



Ubicación distribuidores mayoristas por región	
	Noroeste
	Norte (Costa Atlántica)
	Centro
	Tolima Grande
	Eje Cafetero
	Noroeste
	Suroeste
	Otros
	Mezcladoras

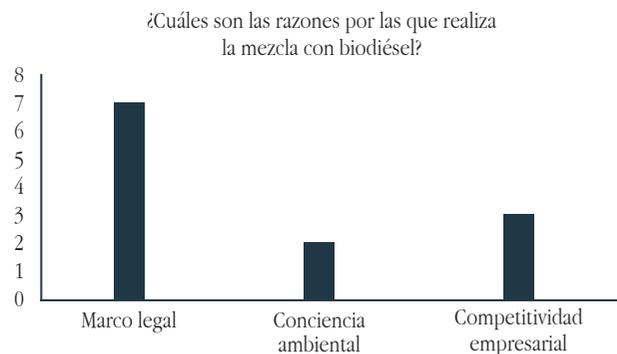
Fuente: Aranda, Barón, Huertas, & Orjuela. (2014). Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biodiésel en Colombia.

Para identificar las razones a partir de las cuales los clientes toman la decisión de escoger la empresa que supla su necesidad de abastecerse de biodiesel, se propuso encuestar a cada una de las empresas mayoristas entorno a conocer sus requerimientos e intencionalidad de compra.

De las 17 mayoristas, se logró obtener resultado de 11 de ellas, debido principalmente al nivel de accesibilidad de los datos que se requerían puesto que se trataba de información de carácter restringido al público en general. Lo que quiere decir que se logró encuestar al 65% de la muestra total. Obteniendo los siguientes resultados:

La base de decisión por la cual las mayoristas distribuyen los combustibles en el país con mezclas previas de biodiésel se debe a razones de exigencias normativas por parte del programa de mezclas propuesto por el Ministerio de Minas y Energía, seguido de estrategias de competitividad que les permite alimentar su valor agregado frente a la competencia del sector. Por último, la razón de menor relevancia para las distribuidoras mayoristas como base de decisión para realizar mezclas ACPM-Biodiésel es la conciencia ambiental.

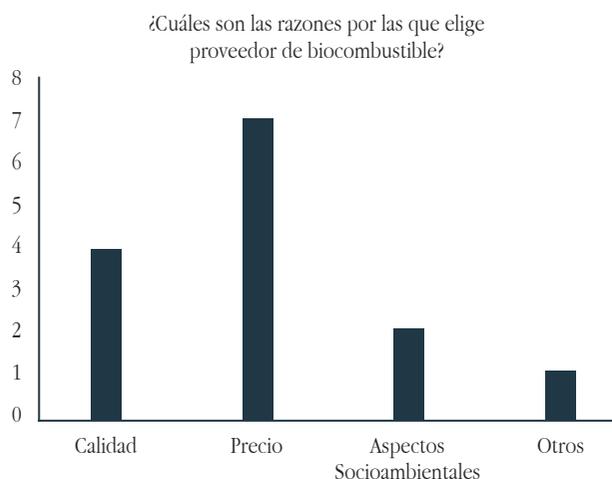
Imagen 11. Razones de la realización de mezclas de biodiésel por parte de los distribuidores mayoristas.



Fuente: Autores, 2017

Las razones que los distribuidores mayoristas encuentran de mayor relevancia para tomar la decisión de compra de B100 (biodiésel), es en primer lugar el precio, asociado a aquellas zonas donde el gobierno pone un techo y los competidores están en libertad de ofertar a un menor precio. En segundo lugar, está la calidad con la que se entrega el B100, adicionando valor agregado a las mezclas resultantes. Y como última razón, se encuentran los aspectos socioambientales, relacionados a los impactos que sus proveedores causen. Así mismo, una de las empresas encuestadas mencionó que su decisión de compra se vería influenciada si desde el gobierno se promueven exenciones en impuestos e incentivos tributarios, por compra de biodiesel a partir de microalgas.

Imagen 12. Razones de elección del proveedor de biodiésel por parte de los distribuidores mayoristas.

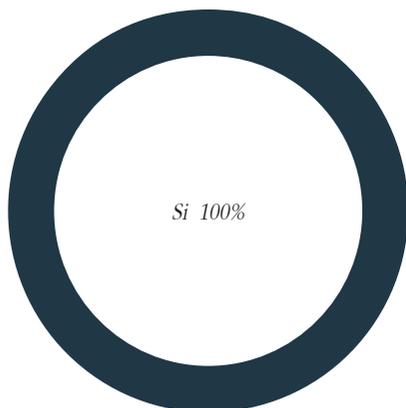


Fuente: Autores, 2017

El 100% de las empresas mayoristas que contestaron la encuesta, respondieron que sí estarían dispuestas a comprar biodiésel a partir de microalgas si se cumple con la calidad mínima establecida por la resolución, lo que nos da un punto de partida positivo en términos de aceptabilidad en el mercado.

Imagen 13. Interés de compra de los distribuidores mayoristas de biodiésel a partir de microalgas.

¿Si se asegura la calidad según lo dispone la resolución, ¿Usted compraría biodiésel que usa como materia prima microalgas?



Fuente: Autores, 2017

Por último, a las empresas encuestadas por medio telefónico se logró preguntar sobre cuál sería el volumen mínimo mensual que comprarían de biodiésel a una empresa productora, con el fin de establecer una cota de incursión en el mercado para GreenFuels & Consultores Colombia. Obteniendo que 26.417 galones/mes es el volumen mínimo que una distribuidora mayorista estaría dispuesta a comprar.

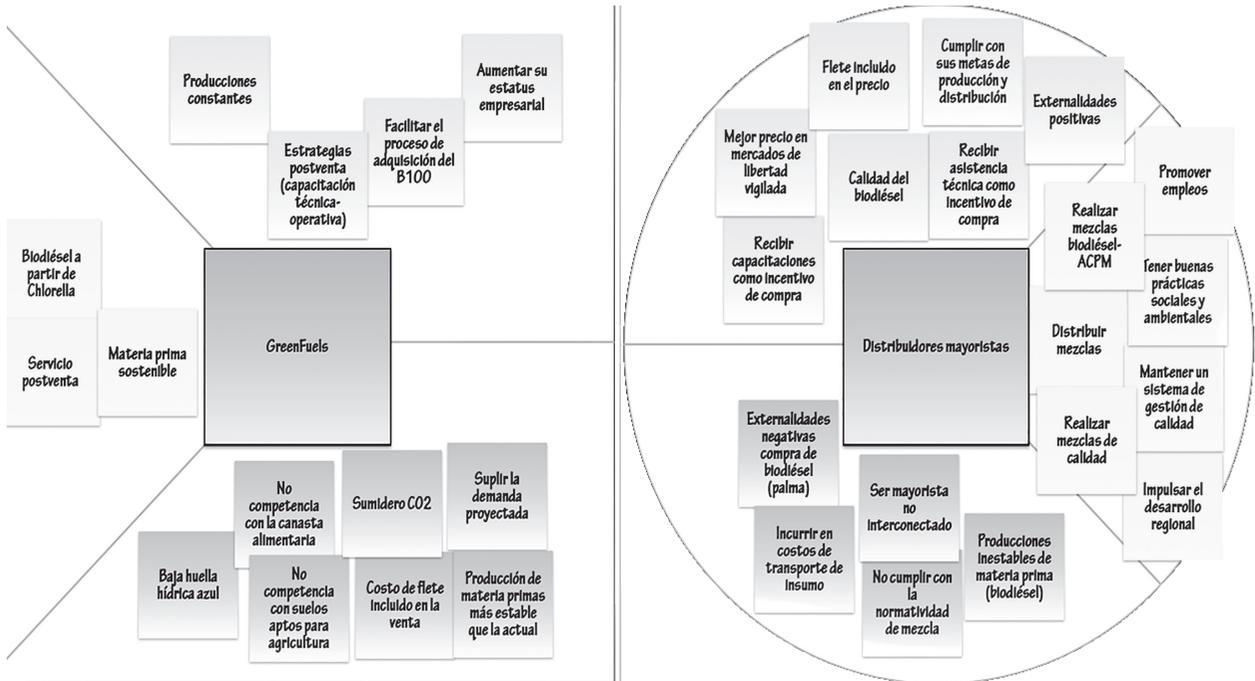
Propuesta de valor

Se diseñó la propuesta de valor de *GreenFuels & Consultores Colombia* con base al lienzo de valor del modelo Canvas. El cual determina en primera instancia cuales son las actividades o tareas que los distribuidores mayoristas intentan resolver, los problemas que intentan solucionar o las necesidades que intentan satisfacer. Así, como lo que les produce frustraciones a los distribuidores mayoristas, referido a lo que les molesta antes, durante o después de intentar resolver un trabajo. Por último, las cosas que les producen alegría, enfocándose en los resultados y beneficios incluyendo las utilidades funcionales y ahorros en los costos. De esta manera se procede a identificar cuáles son los servicios y productos que ofrecerá *GreenFuels & Consultores Colombia*. Teniendo en cuenta cuáles serán las frustraciones que los servicios y productos aliviarán y a su vez como se pretende sorprender o dar alegría a los distribuidores mayoristas a partir de los mismos.

Se pudo determinar que los productos y servicios atienden la necesidad de 6 de los 7 trabajos (realizar mezclas biodiesel-ACPM, distribuir mezclas, realizar mezclas de calidad, tener buenas prácticas sociales y ambientales, imantener un sistema de gestión de calidad e impulsar el desarrollo región) de las mayoristas, dejando así la promoción de empleos como el trabajo que *GreenFuels & Consultores Colombia* no podrá cubrir.

Para los aliviadores de frustración (externalidades negativas compra de biodiésel palma, incurrir en costos de transporte de insumo, ser mayorista no interconectado, no cumplir con la normatividad de la mezcla, producciones inestables de materia prima) de los clientes se podrán aliviar 4 de las 5 identificadas, dejando el ser mayoristas no interconectados por poliductos como la frustración sin atender.

Imagen 14. Propuesta de valor de GreenFuels & Consultores Colombia



Fuente: Autores, 2017

Por último, se dará atención a 6 de las 7 alegrías (recibir capacitaciones como incentivo de compra, mejor precio en mercados libertad vigilada, flete incluido en el precio, calidad del biodiesel, cumplir con sus metas de producción y distribución, recibir asistencia técnica como incentivo de compra, externalidades positivas) de relevancia para el cliente por medio de los creadores de alegría de los que se compone la propuesta de valor de *GreenFuels & Consultores Colombia*, dejando como alegría sin satisfacer la mejora de los precios en mercados de libertad vigilada.

Es de destacar que para todos los casos la propuesta de *GreenFuels & Consultores Colombia*, se ocupa de las frustraciones, alegrías y trabajos de los distribuidores mayoristas con mayor extremidad, esencialidad e importancia.

Estudio de macrolocalización

Para determinar la zona o lugar indicado de instalación del proceso productivo y dar cumplimiento a los objetivos de *GreenFuels & Consultores Colombia*, se comenzó por identificar la cadena de suministro y distri-

bución, donde se identificaron los insumos básicos requeridos, siendo estos, agua, cepa de *Chlorella*, CO₂, nutrientes (Remital), reactivos (hexano, 2-propanol, metanol y NaOH) y energía. Adicionalmente se detalló el segmento del cliente, entendido como las distribuidoras mayoristas (Tabla 7), con sus respectivas plantas y distribución geográfica en el país (Imagen 10).

Es importante resaltar que para determinar la macrolocalización de la planta de *GreenFuels & Consultores Colombia* se debe tener en cuenta de igual forma, que un crecimiento eficiente de la cepa requiere de factores climáticos específicos como lo son: temperatura entre los 24 y 28 °C y luminosidad entre 1500 a 2000 lux [31].

Teniendo esto en cuenta, se evaluaron las posibles zonas de macrolocalización de acuerdo los factores más relevantes en torno a la ubicación de la planta de producción de biodiésel de *GreenFuels & Consultores Colombia*. La matriz de calificación y selección de la zona se muestran a continuación, siendo que por ser 8 zonas se determinó este número como el puntaje máximo, en donde la zona ideal tiene esta calificación y la menos ideal tiene 1:

Tabla 8. Matriz de calificación para la macrolocalización de GreenFuels & Consultores Colombia

Factor	Peso pond.	Subcriterio	Regiones							
			Noroeste	Norte (Costa Atlántica)	Centro	Tolima Grande	Eje Cafetero	Noreste	Suroeste	Otros
Costos	0,2	Costos de transporte	5	1	4	7	8	6	1	3
		Costos de materia prima (Remital)	2	8	7	3	6	4	1	5
		Promedio subcriterios	3,5	4,5	5,5	5	7	5	1	4
		Valor Ponderado	0,7	0,9	1,1	1	1,4	1	0,2	0,8
Infraestructura y factores tecnológicos	0,15	Existencia de modos de transporte	7	8	8	8	8	8	7	6
		Disponibilidad vías de transporte	8	8	8	8	8	8	8	7
		Disponibilidad servicios públicos	8	8	8	8	8	8	8	8
		Disponibilidad de terrenos	8	8	8	8	8	8	8	8
		Promedio subcriterios	7,75	8	8	8	8	8	6,2	6,2
		Valor Ponderado	1,16	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	0,93	0,93
Factores económicos y estructura de impuestos	0,15	Riesgos financieros	8	8	8	8	8	8	8	8
		Tasas de desempleo	6	3	8	7	7	7	5	4
		Promedio subcriterios	7	5,5	8	7,5	7,5	7,5	6,5	6
		Valor Ponderado	1,05	0,825	1,20	1,125	1,125	1,125	0,975	0,90

Factor	Peso pond.	Subcriterio	Regiones							
			Noroeste	Norte (Costa Atlántica)	Centro	Tolima Grande	Eje Cafetero	Noreste	Suroeste	Otros
Mercados y clientes	0,2	Proximidad de la demanda	5	1	4	7	8	6	1	3
		Número de clientes-tamaño del mercado	7	8	5	7	4	5	6	3
		Distancia y número de competidores	5	3	4	6	6	6	7	8
		Promedio subcriterios	5,7	4,0	4,3	6,7	6,0	5,7	4,7	4,7
		Valor Ponderado	1,13	0,80	0,87	1,33	1,20	1,13	0,93	0,93
Medio ambiente y factores relacionados con el clima	0,2	Temperatura	7	8	7	5	6	6	7	8
		Intensidad solar	6	8	5	6	6	7	5	6
		Exigencias y disposiciones ambientales (CO2)	8	4	8	3	2	5	6	1
		Promedio subcriterios	7,0	6,7	6,7	4,7	4,7	6,0	6,0	5,0
		Valor Ponderado	1,40	1,33	1,33	0,93	0,93	1,20	1,20	1,00
Factores sociales	0,1	Disposición frente a nuevos proyectos	8	8	8	8	8	8	8	8
		Promedio subcriterios	8	8	8	8	8	8	8	8
		Valor Ponderado	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Fuente: Autores, 2017

Tabla 9. Matriz de selección para la macrolocalización de GreenFuels & Consultores Colombia

Factor	Noroeste	Norte (Costa Atlántica)	Centro	Tolima Grande	Eje Cafetero	Noreste	Suroeste	Otros
Costos	0,7	0,9	1,1	1	1,4	1	0,2	0,8
Infraestructura y factores tecnológicos	1,16	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	0,93	0,93
Factores económicos y estructura de impuestos	1,05	0,825	1,20	1,125	1,125	1,125	0,975	0,90
Mercado y clientes	1,13	0,80	0,87	1,33	1,20	1,13	0,93	0,93
Medio ambiente y factores relacionados con el clima	1,40	1,33	1,33	0,93	0,93	1,20	1,20	1,00
Factores sociales	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Total	6,246	5,858	6,500	6,392	6,658	6,458	5,038	5,363

Fuente: Autores, 2017

Teniendo en cuenta los resultados de las tablas anteriores se pudo determinar que la región que mayor puntaje ponderado obtuvo de acuerdo con los factores encontrados como determinantes para la puesta en marcha de una planta de *GreenFuels & Consultores Colombia*, fue el Eje Cafetero con un puntaje total de 6,658 sobre 8, siendo las zonas centro y noreste las siguientes con puntajes de 6,5 y 6,246 respectivamente.

Modelo financiero

Para realizar la evaluación financiera, es importante en primer lugar conocer el tamaño a partir del cual se va a diseñar la capacidad de producción de la planta de *GreenFuels & Consultores Colombia*. Para el presente caso y de acuerdo con las expectativas de la demanda, se propone un escenario de capacidad instalada de producción para 126 ton/mes (141.000 L/mes). Sin embargo, se comenzará con una producción de 90 ton/mes (100.000 L/mes) en el año 2020 de acuerdo con la cantidad mínima de compra expuesta en los resultados de base de deci-

sión del cliente), equivalente al 0.14% de la demanda de biodiésel proyectada en Colombia para ese mismo año.

Teniendo en cuenta lo anterior se calculó la inversión inicial, la cual especifica los costos incurridos en cada una de las unidades de producción de *GreenFuels & Consultores Colombia*: Cultivo, recolección biomasa, secado y disrupción, extracción de lípidos, transesterificación y otros (gastos de terreno, importación de maquinaria, contenedores, etc.)

Se formularon 3 escenarios hipotéticos, uno pesimista (A), moderado (B) y optimista (C), con fin de determinar qué sucedería con el proyecto en cada uno de éstos de acuerdo con los siguientes supuestos:

- Año a año se asume un incremento en el volumen de ventas, teniendo en cuenta el aumento en los gastos operativos y de administración, con una relación lineal entre costos e ingresos.
- El incremento del precio por biodiésel y sub productos y los costos de operación y produc-

ción, así como el nivel de ventas, serán iguales a la inflación proyectada para los próximos cinco años, calculada por Bancolombia, el DANE y el Banco de la República.

- El crecimiento de ventas de acuerdo con cada escenario es el siguiente: Escenario A: mantiene un crecimiento constante del 9% de acuerdo con el peor crecimiento de ventas presentado en el periodo 2011-2015, de biodiésel en Colombia [30]. Escenario B: un crecimiento moderado del 9% en los primeros años, de acuerdo con el peor crecimiento de ventas presentado en el periodo 2011-2015 de biodiésel en Colombia [30], y del 23% en el año 5, correspondiente a la tasa mundial de crecimiento promedio anual entre el periodo 2000-2013 [32]. Escenario C: Un aumento progresivo en las mezclas de biodiésel, con el fin de ir cumpliendo progresivamente las metas nacionales de B20.
- El precio de la glicerina como subproducto, será constante para todos los años, a un precio de 5.336,5 COP/galón (Pureza del 85%) y para todos los escenarios.

- Proporción de área requerida - biodiésel (B100) producido, es correspondiente a 4,7 ha para 126 ton/mes. Teniendo como referencia la producción de la empresa AlgaeFuels (Antofagasta, Chile).
- Precios de venta de B100 para cada escenario así. Escenario A: Precio más bajo registrado en el año 2016. Escenario B: Precio promedio registrado en el año 2016. Escenario C: Precio más alto registrado en el año 2016. Todos estos según Fedebiocombustibles.
- Los gastos administrativos para el año cero, se adicionan a la inversión inicial, ya que para este año no se generan ingresos por venta de B100.
- Exención por impuesto de renta del 40%, de acuerdo con la Ley 693 de 2001.

De acuerdo con los supuestos se obtuvieron los siguientes flujos de caja, para cada uno de los escenarios propuestos.

Tabla 10. Flujo de caja libre escenario A con proyección de egresos e ingresos a 5 años

Flujo de caja libre escenario A						
	0	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión	\$7.704.842.761	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ventas netas	\$0	\$2.622.282.398	\$2.949.753.024	\$3.318.118.182	\$3.732.484.780	\$4.198.597.480
Costos de producción	\$0	\$1.442.224.504	\$1.622.329.501	\$1.824.926.009	\$2.052.822.769	\$2.309.179.276
Margen bruto	-\$7.704.842.761	\$1.180.057.894	\$1.327.423.523	\$1.493.192.173	\$1.679.662.012	\$1.889.418.204
Gastos de operación/ admón.	\$341.016.228	\$352.610.780	\$363.894.325	\$375.538.943	\$387.556.189	\$399.957.987
Otros ingresos	\$0	\$176.315.265	\$198.333.515	\$223.101.405	\$250.962.308	\$282.302.481
Depreciación (-)	\$0	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992
Utilidad operativa/admón.	-\$8.045.858.989	\$690.964.387	\$849.064.722	\$1.027.956.643	\$1.230.270.139	\$1.458.964.706
Gasto por intereses	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ingreso antes de impuesto sobre la renta	-\$8.045.858.989	\$690.964.387	\$849.064.722	\$1.027.956.643	\$1.230.270.139	\$1.458.964.706

Flujo de caja libre escenario A						
	0	2020	2021	2022	2023	2024
Impuesto sobre la renta	\$0	\$91.207.299	\$112.076.543	\$135.690.277	\$162.395.658	\$192.583.341
Ingreso neto	-\$8.045.858.989	\$599.757.088	\$736.988.179	\$892.266.366	\$1.067.874.481	\$1.266.381.365
Depreciación (+)	\$0	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992
Flujo operativo	-\$8.045.858.989	\$912.555.080	\$1.049.786.171	\$1.205.064.358	\$1.380.672.472	\$1.579.179.356
Flujo de caja libre	-\$8.045.858.989	\$912.555.080	\$1.049.786.171	\$1.205.064.358	\$1.380.672.472	\$1.579.179.356

Fuente: Autores, 2017

Tabla 11. Flujo de caja libre escenario B con proyección de egresos e ingresos a 5 años

Flujo de caja libre escenario B						
	0	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión	\$7.704.842.761	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ventas netas	\$0	\$3.605.449.803	\$4.055.698.374	\$4.562.173.987	\$5.649.796.266	\$7.171.625.388
Costos de producción	\$0	\$1.442.224.504	\$1.622.329.501	\$1.824.926.009	\$2.259.988.369	\$2.868.738.836
Margen bruto	-\$7.704.842.761	\$2.163.225.299	\$2.433.368.874	\$2.737.247.979	\$3.389.807.897	\$4.302.886.552
Gastos de operación/ admón.	\$341.016.228	\$352.610.780	\$363.894.325	\$375.538.943	\$387.556.189	\$399.957.987
Otros ingresos	\$0	\$182.327.616	\$205.096.688	\$230.709.163	\$285.710.227	\$362.669.134
Depreciación (-)	\$0	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992
Utilidad operativa/admón.	-\$8.045.858.989	\$1.680.144.143	\$1.961.773.246	\$2.279.620.207	\$2.975.163.943	\$3.952.799.707
Gasto por intereses	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ingreso antes de impuesto sobre la renta	-\$8.045.858.989	\$1.680.144.143	\$1.961.773.246	\$2.279.620.207	\$2.975.163.943	\$3.952.799.707
Impuesto sobre la renta	\$0	\$221.779.027	\$258.954.068	\$300.909.867	\$392.721.640	\$521.769.561
Ingreso neto	-\$8.045.858.989	\$1.458.365.116	\$1.702.819.177	\$1.978.710.339	\$2.582.442.303	\$3.431.030.146
Depreciación (+)	\$0	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992
Flujo operativo	-\$8.045.858.989	\$1.771.163.108	\$2.015.617.169	\$2.291.508.331	\$2.895.240.294	\$3.743.828.137
Flujo de caja libre	-\$8.045.858.989	\$1.771.163.108	\$2.015.617.169	\$2.291.508.331	\$2.895.240.294	\$3.743.828.137

Fuente: Autores, 2017

Tabla 12. Flujo de caja libre escenario C con proyección de egresos e ingresos a 5 años

Flujo de caja libre escenario C						
	0	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión	\$7.704.842.761	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ventas netas	\$0	\$3.908.024.379	\$4.436.389.275	\$5.494.024.479	\$7.370.783.241	\$10.649.307.626
Costos de producción	\$0	\$1.491.260.138	\$1.692.878.508	\$2.096.460.745	\$2.812.611.735	\$4.063.661.435
Margen bruto	-\$7.704.842.761	\$2.416.764.242	\$2.743.510.767	\$3.397.563.734	\$4.558.171.506	\$6.585.646.191
Gastos de operación/ admón.	\$341.016.228	\$352.610.780	\$363.894.325	\$375.538.943	\$387.556.189	\$399.957.987
Otros ingresos	\$0	\$188.544.987	\$214.036.270	\$265.062.516	\$355.607.872	\$513.782.253
Depreciación (-)	\$0	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992
Utilidad operativa/admón.	-\$8.045.858.989	\$1.939.900.458	\$2.280.854.720	\$2.974.289.316	\$4.213.425.196	\$6.386.672.465
Gasto por intereses	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ingreso antes de impuesto sobre la renta	-\$8.045.858.989	\$1.939.900.458	\$2.280.854.720	\$2.974.289.316	\$4.213.425.196	\$6.386.672.465
Impuesto sobre la renta	\$0	\$256.066.860	\$301.072.823	\$392.606.190	\$556.172.126	\$843.040.765
Ingreso neto	-\$8.045.858.989	\$1.683.833.597	\$1.979.781.897	\$2.581.683.126	\$3.657.253.071	\$5.543.631.700
Depreciación (+)	\$0	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992	\$312.797.992
Flujo operativo	-\$8.045.858.989	\$1.996.631.589	\$2.292.579.889	\$2.894.481.118	\$3.970.051.062	\$5.856.429.692
Flujo de caja libre	-\$8.045.858.989	\$1.996.631.589	\$2.292.579.889	\$2.894.481.118	\$3.970.051.062	\$5.856.429.692

Fuente: Autores, 2017

Con los flujos de caja libre se determinan los indicadores de rentabilidad de los escenarios planteados. Se tuvo en cuenta una tasa de interés del 16% correspondiente a la tasa de interés comercial ordinaria efectuada para el corte 2017-09-08 de Banco Av. Villas, puesto que es una tasa de interés que puede llegar a ser atractiva para los inversionistas. Los indicadores calculados fueron VPN (Valor presente neto), TIR (Tasa interna de retorno) y tiempo de retorno de la inversión.

Tabla 13. Indicadores de rentabilidad escenario A proyección a 5 años

VPN	-\$3.851.560.522
TIR	-6,63%
Retorno inversión	>5 años

Fuente: Autores, 2017

Tabla 14. Indicadores de rentabilidad escenario B proyección a 5 años

VPN	\$169527.031
TIR	16,83%
Retorno inversión	3 años y 8 meses

Fuente: Autores, 2017

Tabla 15. Indicadores de rentabilidad escenario C proyección a 5 años

VPN	\$2.555.469.488
TIR	27,0%
Retorno inversión	3 años y 2 meses

Fuente: Autores, 2017

Análisis de resultados

Etapas 1: Desarrollo y viabilidad de los referentes técnicos

Especie de microalga

Según la matriz de decisión, la especie que más ventajas presentó en términos de crecimiento, contenido de lípidos, tolerancia a condiciones ambientales y resistencia a altos niveles de contaminación fue *Chlorella*. Esta especie, ha sido objeto de estudio de varios artículos y tesis por sus diferentes características. Dentro de estos estudios está el de Luis Miguel Serrano, quien realizó un análisis que permitió seleccionar microalgas con perspectivas para su uso como posible materia prima de aceites para la producción de biodiesel. Dentro de este estudio se evaluaron 4 cepas nativas de Colombia, entorno a productividad, crecimiento y acumulación de lípidos. Se encontró que al igual que este trabajo, *Chlorella*, mostró un mejor perfil como fuente potencial para la producción de biodiésel. Esto nos indica que

teóricamente *Chlorella* es la especie que más se ajusta al contexto nacional como la fuente de aceite más adecuada para una empresa de producción y comercialización de biodiésel a partir de microalgas.

Sistema de cultivo

El proceso de cultivo consta de 2 fases, la primera de acondicionamiento y otra de crecimiento masivo. De acuerdo con las matrices de decisión, para la elección de los sistemas de cultivo, se determinó que para el acondicionamiento se usarán fotobiorreactores en panel. Debido a sus ventajas en términos de incidencia de iluminación, bajo costo de inversión y fácil mantenimiento. Así mismo, se eligió para la fase de crecimiento masivo el Raceway como el sistema con más beneficios evaluando variables de costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, productividad de crecimiento, evaporación del medio de cultivo y durabilidad en el tiempo.

Haciendo una revisión de las empresas dedicadas a la producción y comercialización de bioproductos en base de microalgas. Se encontró que compañías como Cellana y AlgaeFuels, ubicadas en Hawái y Antofagasta respectivamente y enfocadas principalmente a la producción de biodiésel. Usan dentro de sus procesos de producción fotobiorreactores en panel y Raceway. Demuestra su viabilidad a escala industrial debido a sus bajos costos y eficiencia [33] [34].

Medio de cultivo

Según la matriz de decisión, el medio de cultivo de menor costo, de mayor eficiencia en términos de crecimiento celular y de fácil obtención fue el Remital; comparado con un extracto de gallinaza al 30% y Algae Culture Broth. Éste último se usó para las pruebas de validación ya que en principio de forma teórica se encontró como uno de los medios de cultivo más eficientes a escala de laboratorio. Puesto que según un estudio realizado por Peraza-Díaz (1997) se determinó que para volúmenes iniciales de hasta 15 o 20 litros, no se recomienda el uso de fertilizantes agrícolas como medio de cultivo, ya que el uso de medios simplificados de menor coste puede afectar al crecimiento y por consiguiente la composición

de las microalgas en lo que se refiere a su contenido intracelular [35]. Sin embargo, Remital es una buena opción para escala industrial donde se manejan altos volúmenes, como en este caso donde la planta propuesta manejará aproximadamente 660 m³. Adicionalmente, se concuerda con Ochoa (2016) quien determina que el uso de fertilizantes agrícolas es una alternativa económica para reducir los costos de producción de microalgas en sistemas comerciales [36].

Recolección de biomasa

En este proceso se eligió según la matriz de decisión la centrifuga, como la técnica a más bajo costo, alta eficiencia de recolección y tiempo de recolección más idónea. Este resultado se asemeja con lo encontrado por Hattab, Ghaly, & Hammouda (2015) en su estudio sobre la evaluación de métodos de concentración y recolección de biomasa de microalgas más usados con el propósito de escalar a procesos industriales, teniendo en cuenta 8 criterios los cuales son: deshidratación, eficiencia, costo, toxicidad, factibilidad para escala industrial, tiempo, especificidad de especies, reutilización del medio y mantenimiento. Encontrando, que las tres técnicas más viables son la centrifuga de discos, filtración de flujo cruzado y centrifugación de decantador [37].

Secado de la biomasa y disrupción celular

Para el secado de biomasa y disrupción celular, de acuerdo con los criterios escogidos (Costo de inversión, tiempo de secado, eficiencia del secado y doble utilidad) se identificó el proceso de liofilización como el más adecuado para las necesidades de *GreenFuels & Consultores Colombia*. Teniendo en cuenta lo anterior y comparándolo con el informe Patent Landscape Report: Microalgae-Related Technologies, en el cual reportaron que para el proceso de secado y disrupción celular de acuerdo a las diferentes metodologías patentadas a nivel mundial, la liofilización es la que presenta mayores patentes con un total de 502 [38], demostrando que a nivel industrial esta técnica es la que presenta mayor interés por los diferentes sectores involucrados en impulsar las tecnologías desarrolladas para generar valor agregado a las microalgas.

Extracción de lípidos

El proceso que se identificó en la matriz de decisión fue la técnica con solventes (Hexano y 2-propanol). Debido a que presenta un costo inferior, eficiencia de extracción mayor y menor potencial de causar contaminantes y tóxicos al ambiente. Técnica que según el estudio de Salazar (2012), sobre la “Evaluación de métodos de extracción de aceite de microalgas para la producción de biodiésel”, determinó que este método es la mejor opción para la extracción de aceite de microalgas con el objeto de producir biodiésel a nivel industrial. Ya que, además de presentar uno de los mejores rendimientos de lípidos entre los distintos métodos evaluados, es una solución considerada segura a gran escala y los reactivos usados son relativamente económicos, fáciles de recuperar después de la extracción y con selectividad a lípidos neutros (los de mayor valor en la producción de biodiésel), además asegura que la biomasa resultante del proceso tendrá un valor como materia prima segura en el aprovechamiento para otros sectores industriales [39].

Etapa 2: Modelo de negocio para la producción de biodiésel a partir de *Chlorella*

Estudio de mercado de intencionalidad exploratorio

Colombia en la actualidad no ha impulsado la implementación de otras materias primas diferentes a la palma de aceite. Esta puede ser una razón por la cual en el país no existen modelos de negocio claros en torno a la producción de biodiésel a partir de microalgas, lo que suscite una competencia directa a *GreenFuels & Consultores Colombia*. Por lo tanto, se tomó como principal competencia las productoras de biodiésel de palma (oferta indirecta).

Dentro de la competencia indirecta, existen diez empresas productoras de B100 y dos que aún no están en operación, estas se encuentran ubicadas en las zonas Norte, Centro, Oriente y Suroccidente del país, debido a que en estas zonas se ubican los cultivos y extractores de aceite de palma. Esto indica que para las empresas productoras de B100 a partir de aceite de palma les es más importante

ubicarse cerca a los cultivos y plantas extractoras que a su segmento de cliente (distribuidoras mayoristas), lo que significaría un mayor coste en términos de transporte, a diferencia de *GreenFuels & Consultores Colombia* a quien le importa más ubicarse en una zona más central a las distribuidoras mayoristas con el fin de disminuir costos de transporte y estar en disposición de suministrar B100 a un menor tiempo posible.

De igual forma, actualmente el compendio de las 12 empresas productoras de B100 a partir de aceite de palma tienen una capacidad instalada de 921.000 ton/año, de las cuales vendieron aproximadamente a las distribuidoras mayoristas 507.940 ton para el año 2016.

Esto significa que suponiendo que para el año 2020 se dupliquen los porcentajes de mezcla de B10 a B20, como lo tiene previsto el gobierno colombiano en el CONPES 3510, se pasarán de vender 507.940 ton/año a 1.015.880 ton/año aproximadamente. Lo que significa que actualmente no se cuenta con la capacidad instalada necesaria para suplir la demanda proyectada faltando 94.880 ton/año para el 2020. Es por esto que *GreenFuels & Consultores Colombia* se presenta como una alternativa viable con cabida en el mercado.

Las distribuidoras mayoristas o demanda, son un compendio de 17 empresas, sin contar Ecopetrol (encargado de realizar las mezclas previas del 2% al 4%, que posteriormente envía por poliductos a las distribuidoras mayoristas con el diésel).

Del total de las empresas, 4 son las que mayor participación tienen en el mercado, siendo: Terpel, ExxonMobil, Biomax y Chevron. Así mismo, las 17 empresas tienen un total de 30 plantas mezcladoras, concentradas en su mayoría en la zona del Eje Cafetero, Centro y Tolima grande. Zonas en las cuales *GreenFuels & Consultores Colombia* puede desarrollar su actividad comercial al ubicarse estratégicamente cerca a estas.

Dentro de las encuestas aplicadas a 11 de las 17 distribuidoras mayoristas, se pudo identificar que:

- No todas las distribuidoras mayoristas se encuentran interconectadas, esto quiere decir que no se encuentran conectadas a la red de poliductos de Ecopetrol,

lo que implica que estas distribuidoras deben recibir el diésel con mezcla previa de carro tanques.

- En efecto, en la mayor parte del territorio colombiano se comercializa ACPM con una mezcla al 9% y 10% con biodiésel, así como lo especifica la norma. Siendo Ecopetrol la única empresa que realiza mezclas menores al 5%.
- Las distribuidoras mayoristas no les dan un peso considerado a factores como la conciencia ambiental y competitividad empresarial a la hora de escoger su proveedor de biodiésel, esto puede ser debido a la falta de alternativas en términos de uso de materias primas diferentes al aceite de palma, ligado a la falta de promoción del gobierno a nuevas alternativas.
- Si *GreenFuels & Consultores Colombia* quiere llegar a competir en el mercado debe cuidar la calidad y el precio como los factores que las distribuidoras mayoristas ven como los más importantes a la hora de decidir que proveedor utilizar.
- Las distribuidoras mayoristas encuestadas en un 100% estas dispuestas a comprar biodiésel a partir de microalgas, cuidando el factor de calidad según la resolución vigente. Lo que indica que el sector se encuentra dispuesto a acoger biodiésel de nuevos proveedores.

Por último, el precio del biodiesel en Colombia (1.04 US/litro) es más bajo comparado con los países más productores como el caso de Alemania (1.58 US/litro) y Argentina (1.33 US/litro) [40], debido a que la palma de aceite como materia prima supone precios más bajo que el uso de aceites de colza o soya [41]. Este precio es fundamental puesto que de él depende que el gobierno aumente los porcentajes de mezcla o no, ya que el aumento de mezclas es directamente proporcional al aumento de los precios del ACPM para el consumidor final.

Propuesta de Valor

La propuesta de valor de *GreenFuels & Consultores Colombia*, fue construida bajo las necesidades reales del cliente (distribuidoras mayoristas) de acuerdo con lo planteado por la metodología de Osterwalder. Esto nos da un valor agregado en comparación a nuestra competencia entorno a:

Tabla 16. Relación productos y servicios de GreenFuels & Consultores Colombia como factores diferenciadores

Productos y servicios	Factor diferenciador
Biodiésel a partir de <i>Chlorella</i>	Mayor eficiencia fotosintética que las plantas oleaginosas, logrando convertir entre el 3 y el 8% de la energía solar en biomasa, mientras que el rendimiento observado en las plantas es de aproximadamente 0,5% [4].
	Tasa de crecimiento elevada, duplicando su biomasa en aproximadamente 24 horas, en las condiciones climáticas adecuadas [2]. Periodos de cosecha y ciclos de recolección muy cortos, lo que permite cosechas múltiples o continuas a diferencia de los cultivos convencionales de producción de biodiésel [3]. Lo que implica que se podrán mantener volúmenes de producción constantes a través del año.
	Mayor producción de biomasa por hectárea, de entre 9 y 10 veces más que otros cultivos oleaginosos como la palma de aceite, coco y <i>Jatropha</i> . Lo que permite una mayor productividad en menor área. Se estima que para satisfacer el 50% de las necesidades de combustible para el transporte en los EE. UU., se requerirá de 45 Mha de palma de aceite cultivada, mientras que de microalgas tan solo de 2 a 45 Mha [42].
	Combustible de tercera generación, lo que quiere decir que no genera una competencia directa con la canasta alimentaria, ni con los usos productivos del suelo. Evitando el alza de los precios de productos como la soya, canola, aceite de palma etc. [4] [41]
Servicio posventa	De acuerdo con lo platicado durante las encuestas que se realizaron por medio telefónico, se identificó que uno de los factores que genera alegrías a nuestro cliente es la inclusión del flete en el precio de venta.
	De acuerdo con lo platicado durante las encuestas que se realizaron por medio telefónico, se identificó que uno de los factores que genera alegrías a nuestro cliente es implementar servicios de asistencia técnica y capacitaciones posventa como incentivo de compra, estas capacitaciones se realizarán en torno a que las empresas puedan cumplir con sus metas de mejora continua dentro de sus sistemas de gestión.
Materia prima sostenible	Fácil cultivo, crecen en diferentes condiciones ambientales ya que solo necesitan luz solar y nutrientes, sugiriendo cultivos en zonas no aptas para la agricultura u otras actividades, evitando generar conflictos por uso de suelo [43].
	Fijan grandes cantidades de CO ₂ (1,6-1.8 kg CO ₂ /kg de biomasa seca), lo que permite acoplar su producción para la reducción de gases de efecto invernadero [5] y contribuir al cumplimiento de las metas planteadas para Colombia en la COP21, de reducción del 20% de sus emisiones de GEI con relación a las proyectadas a 2030 [44]
	Alternativa a la deforestación y altos consumos de agua (huella hídrica azul) causados por el monocultivo de la palma de aceite [45]. Colombia ha sido identificada como uno de los 500 actores responsables de la deforestación mundial, clasificación realizada por el Programa Global del Dose, la cual busca alertar sobre la expansión ganadera y de cultivos de palma de aceite, identificados como los principales motores de deforestación en el país [46]

Fuente: Autores 2017

Modelo financiero

De acuerdo con lo planteado en los tres escenarios, se pudo identificar:

Un escenario A de carácter pesimista, en el que se suponen los mínimos crecimientos y venta del biodiésel al menor precio. El cual presenta un flujo de caja libre

para cada uno de los 5 años planteados de 2020 a 2024 entre 912.555.080 COP y 1.579.179.356 COP, sin embargo, esto no alcanzaría para que a los 5 años se recupere la inversión inicial de 7.704.842.761 COP, razón por la cual se obtuvo un VPN de -3.851.560.522 COP y una TIR de -6.63%, lo que quiere decir que para el año 5 no se alcanza a igualar la inversión inicial con las ganancias proyectadas para estos mismos años. A pesar de que este

escenario pesimista dio como no rentable a los 5 años, es de aclarar que aproximadamente al año 6 la inversión inicial se recuperaría.

Un escenario B de carácter moderado, el cual supone un crecimiento medio y ventas de biodiésel a un precio promedio. Obtuvo flujos de caja para el periodo 2020-2024 positivos de entre 1.771.163.108 COP y 3.743.828.137 COP, ganancias que permiten para los 5 años planteados recuperar la inversión inicial a los 3 años y 8 meses, además de generar ganancias. Razón por la cual se obtuvo un VPN de 169.527.031 COP y TIR de 16,83%. Por lo tanto, el escenario B es rentable en un periodo de 5 años, haciendo atractivo el proyecto para inversionistas.

Un escenario C de carácter optimista, en el cual se suponen los crecimientos más elevados progresivos y ventas del biodiésel con el precio más alto. Obteniendo flujos de caja libre anuales para el periodo 2020-2024 de entre 1.996.631.589 COP y 5.856.429.692 COP, lo que permitirá recuperar la inversión inicial a los 3 años y 2 meses, generando las ganancias más altas de los escenarios supuestos A y B, con un VPN de 2.555.469.488 COP y TIR del 27%. Siendo este escenario el más rentable y por ende el más atractivo para los inversionistas. A pesar de ser el escenario optimista no se considera alejado de la realidad, puesto que Colombia como ya se mencionó propuso para el año 2020 realizar mezclas B20 para el ACPM, lo que supone duplicar la producción y por ende las ventas de biodiésel actuales.

Conclusiones

De acuerdo con el contexto colombiano, los diferentes procesos unitarios encontrados como referentes y que se eligieron para la producción de biodiésel de *GreenFuels & Consultores Colombia*, son homologables de experiencias internacionales a una escala industrial colombiana, puesto que el país cuenta con las condiciones ambientales necesarias para los procesos referidos al cultivo de la especie *Chlorella vulgaris* en fotobiorreactores en panel y posterior crecimiento masivo en sistema Raceway. Utilizando como medio de cultivo Remital, recolección en centrifuga, secado y disrupción celular en liofilizador, extracción con solventes orgánicos (hexano y 2-propanol) y transesterificación.

De las unidades elegidas anteriormente, se pudo validar a escala laboratorio los procesos de cultivo en sistema panel, recolección, secado, lisis celular, extracción de lípidos y transesterificación. Por lo tanto, la producción de biodiesel a partir de microalgas en Colombia en términos técnicos/operativos es viable.

Así mismo, *GreenFuels & Consultores Colombia* presenta atractividad dentro del mercado del biodiésel colombiano ya que permitirá suplir parte de la demanda de biocombustible para el año 2020. A través de una propuesta de valor construida de las necesidades reales del segmento de cliente, propiciando una aceptabilidad y acogida estratégica dentro de un sector acostumbrado a recibir una única propuesta de los competidores (productores de biodiésel a partir de aceite de palma). Así mismo, se presenta como un proyecto de inversión rentable a 5 años bajo los escenarios moderado y optimista, con una TIR de 16,83% y 27% respectivamente. Teniendo en cuenta que para el escenario pesimista su rentabilidad se vuelve positiva aproximadamente hasta el sexto y séptimo año proyectado.

Así mismo *GreenFuels & Consultores Colombia*, es considerado un modelo de negocio verde ya que tiene en cuenta las características y los doce (12) criterios estipulados en el Plan Nacional de Negocios Verdes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Estas características y criterios comprenden los aspectos económico, ecológico y social. En el económico *GreenFuels & Consultores Colombia* de acuerdo con lo desarrollado en el artículo demuestra su viabilidad económica y aceptabilidad en el mercado. En cuanto al aspecto ecológico *GreenFuels & Consultores Colombia* propone un modelo de negocio que generará impactos positivos al ambiente tales como: reducción de gases de efecto invernadero, uso eficiente y sostenible del agua y alternativas a la disminución de la deforestación.

Por último, *GreenFuels & Consultores Colombia* propone dentro de su modelo de negocio la generación de impactos sociales positivos como la igualdad de oportunidades, condiciones de trabajo justas, capacitación y servicios posventa en buenas prácticas. Haciendo de, *GreenFuels & Consultores Colombia* un modelo de negocio verde, viable en términos técnicos, de aceptabilidad del mercado, propuesta de valor clara e innovadora y financieramente rentable.

Recomendaciones

- Se recomienda a las entidades relacionadas al sector biodiésel en Colombia, que generen iniciativas que incentiven y promuevan la diversificación de materias primas con el fin de ampliar el mercado, cumplir con las metas propuestas para el año 2020 y mitigar problemáticas socioambientales.
- Se recomienda realizar un balance energético al proceso para evidenciar la demanda energética en la extracción, purificación y producción de biodiesel. Generando indicadores como la energía producida como biodiesel/energía consumida para la producción de 1 ton de biodiesel de microalga.
- Debido a que las inversiones iniciales consideradas en el presente trabajo son muy elevadas, se recomienda realizar previamente a escala piloto, simulando los procesos elegidos para la producción de biodiésel a partir de *Chlorella* en Colombia.
- Para posteriores trabajos de investigación es recomendable hacer énfasis en la utilización de los subproductos obtenidos en el proceso (biomasa, glicerina), con el fin de identificar oportunidades de negocio a partir del modelo propuesto.
- Se recomienda investigar acerca del posible aprovechamiento de las aguas residuales o lagos eutrofizados como insumo nutritivo para el proceso de cultivo de *Chlorella*.
- Se recomienda que se exploren otros mercados para la comercialización del aceite y biodiésel proveniente de las microalgas. Tales como la industria jabonera y de generación de energía.
- Por último, se recomienda evaluar de manera más detallada el modelo propuesto en el artículo, a través de las características y los doce (12) criterios establecidos en el Plan Nacional de Negocios Verdes.

Referencias

- [1] A. G. Hernández, R. Vázquez-Duhalt, M. Sánchez, L. Serrano y A. Martínez, «Biodiésel a partir de Microalgas,» *BioTecnología*, pp. 38-61, 2009.
- [2] X. Meng, J. Yang, X. Xu, L. Zhang, Q. Nie y M. Xian, «Biodiesel production from oleaginous microorganisms,» *Renewable Energy*, pp. 1-5, 2009.
- [3] A. P. Vyas, J. L. Verma y N. Subrahmanyam, «A review of FAME production processes,» *Fuel*, pp. 1-9, 2010.
- [4] M. T. Arias, A. D. Martínez y R. O. Cañizares, «Producción de Biodiésel a partir de Microalgas: Parámetros de cultivo que afectan la producción de lípidos,» *Acta Biológica Colombiana*, pp. 43-68, 2013.
- [5] V. Patil, K. Q. Tran y H. R. Giselrød, «Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae,» *International Journal of Molecular Sciences*, pp. 1188-1195, 2008.
- [6] Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, «Producción y Venta de Biodiésel,» 10 2017. [En línea]. Available: <http://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-produccion-titulo-Biodiesel.htm>. [Último acceso: 22 09 2017].
- [7] M. A. Colorado, D. A. Moreno y J. L. Pérez, «Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. La experiencia en La Guajira, Colombia,» *Ambiente y Desarrollo*, pp. 113-126, 2013.
- [8] A. Osterwalder y Y. Pigneur, *Generación de Modelos de Negocio*, España: Deusto, 2011.
- [9] G. E. Esquiaqui y W. Escobar, *Estructura Organizacional y Estrategia Empresarial*, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2012.
- [10] A. E. Duarte, *Metodología para la localización de instalaciones de producción de biocombustibles con enfoque de cadenas de suministro. Aplicaciones en el contexto colombiano*, Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [11] L. Brennan y P. Owende, «Biofuels from microalgae- A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 21, 2009.
- [12] A. Hernández-Pérez y J. I. Labbé, «Microalgas, cultivo y beneficios,» *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, pp. 157-173, 2014.
- [13] J. J. Jaramillo, *Evaluación Tecno-Económica de la Producción de Biocombustibles a partir de*

- Microalgas, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [14] I. D. Godos, S. Blanco, P. A. García-Encina y E. B. R. Muñoz, «Long-term operation of high rate algal ponds for bioremediation of piggery wastewaters at high loading rates,» *Bioresource Technology*, pp. 4332-4339, 2009.
- [15] J. L. Sánchez y J. E. Padilla, Evaluación de las condiciones de cultivo de la microalga (*Chlorella sorokiniana*) para la producción de biodiésel, Villavicencio: Universidad de los Llanos, 2010.
- [16] HIMEDIA, «Algae Culture Broth,» 02 2015. [En línea]. Available: <http://himedialabs.com/TD/M342.pdf>. [Último acceso: 08 2017].
- [17] L. E. Spelter, A. Steiwand y H. Nirschl, «Processing of dispersions containing fine particles or biological products in tubular bowl centrifuges,» *Chemical Engineering Science*, pp. 4173-4181, 2010.
- [18] Y. Y. Ruiz, Y. P. Cárdenas, H. D. Romero y V. Kafarov, «Implementación de la metodología de síntesis y análisis de procesos a la etapa de cosecha de microalgas para la producción de biodiésel,» *Prospect*, pp. 132-144, 2012.
- [19] E. Molina, E. H. Belarbi, F. G. Acien, A. Robles y Y. Chisti, «Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics,» *Biotechnology Advances*, pp. 491-515, 2003.
- [20] A. P. Martínez, Extracción de Aceite de Microalgas, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2013.
- [21] M. J. Pérez y J. A. Quishpi, Evaluación Cuantitativa de la Producción de Biodiésel de Microalgas de Lagunas de Tratamiento de Agua Residual, Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, 2014.
- [22] A. K. Lee, D. M. Lewis y P. J. Ashman, «Disruption of microalgal cells for the extraction of lipids for biofuels: Processes and specific energy requirements,» *Biomass and bioenergy*, pp. 89-101, 2012.
- [23] Á. D. González, L. Galindo, S. González, Y. Ruiz y V. Kafarov, «Adaptación del Método de Bligh & Dyer a la Extracción de Lípidos de Microalgas Colombianas para la Producción de Biodiésel de Tercera Generación,» *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales*, pp. 25-34, 2011.
- [24] A. D. González, V. Kafarov y A. G. Monsalve, «Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiésel a partir de microalgas,» *Prospect*, pp. 53-60, 2009.
- [25] R. Halim, B. Gladman, M. K. Danquah y P. A. Webley, «Oil extraction from microalgae for biodiesel production,» *Bioresource Technology*, pp. 178-185, 2011.
- [26] A. d. N. UN, «Algas, el futuro de los biocombustibles,» 22 06 2015. [En línea]. Available: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/articulo/algas-futuro-de-los-biocombustibles.html>.
- [27] Biodiesel Argentina, «OIL FOX S.A INAUGURÓ SU PLANTA DE BIODIESEL A PARTIR DE ALGAS,» 30 08 2010. [En línea]. Available: <https://biodiesel.com.ar/3966/oil-fox-s-a-inauguro-su-planta-de-biodiesel-a-partir-de-algas>.
- [28] A. Biotechnology, Memoria 2015, Santiago, Chile: Algaefuels, 2016.
- [29] Fedebiocombustibles, «Información Estadística Sector Biocombustible,» 05 2017. [En línea]. Available: http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Biodiesel.htm.
- [30] SICOM, Boletín Estadístico Quinquenal, Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2015.
- [31] A. P. Martínez, Extracción de Aceite de Microalgas, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2013.
- [32] J. M. Dishington, «Revista Palmas,» La industria del biodiésel en Colombia perdió dinamismo, 04 2014. [En línea]. Available: <http://web.fedepalma.org/node/878>.
- [33] Algaefuels Biotechnology, Memoria 2015, Santiago, Chile: Algaefuels, 2016.
- [34] Cellana Inc, «ALDUO™: Powerful, Patented Technology for Consistent, Large-Scale Outdoor Algae Production,» 2016. [En línea]. Available: <http://cellana.com/technology/core-technology/>.

- [35] D. Peraza-Díaz, Cultivo de la diatomea *Chaetoceros* sp. con tres fertilizantes agrícolas, México: Universidad Autónoma de México, 1997.
- [36] L. Ochoa, Efecto de dos fertilizantes agrícolas comerciales sobre las microalgas *Tetraselmis suecica* (Kylin) Butcher y *Chlorella vulgaris* Beijerinck, La Coruña: Universidade da Coruña, 2016.
- [37] M. A. Hattab, A. Ghaly y A. Hammounda, «Microalgae Harvesting Methods for Industrial Production of Biodiesel: Critical Review and Comparative Analysis,» *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, pp. 1-26, 2015.
- [38] W. I. P. O. (WIPO), Patent Landscape Report: Microalgae-Related Technologies, Morocco: WIPO, 2016.
- [39] L. E. Salazar, Evaluación de Métodos de Extracción de Aceite de Microalgas para la Producción de Biodiésel, Piura: Universidad de Piura, 2012.
- [40] Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), «Precio del diésel para el usuario (US\$ por litro),» Banco Mundial, 2015. [En línea]. Available: https://datos.bancomundial.org/indicador/EP.PMP.DESL.CD?view=map&year_high_desc=false.
- [41] J. Lombana y J. Vega, Análisis del Sector Biodiésel en Colombia y su Cadena de Suministro, Barranquilla: Universidad del Norte, 2015.
- [42] Y. Chisti, «Biodiesel from microalgae,» *Biotechnology Advances*, pp. 294-306, 2007.
- [43] A. B. Avagyan, «A contribution to global sustainable development: inclusion of microalgae and their biomass in production and bio cycles,» *Clean Technologies Environmental Policy*, pp. 313-317, 2008.
- [44] C. G. Arbeláez, X. Barrera, R. Gómez y R. S. Castaño, El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21, Bogotá, D.C: WWF-Colombia; MinAmbiente, 2015.
- [45] F. Sánchez, «Colombia: el panorama en Cesar y Caquetá debido a erosión y conflicto de uso de suelos,» 13 06 2017. [En línea]. Available: <https://es.mongabay.com/2017/06/colombia-panorama-erosion-conflicto-uso-suelos-cesar-caqueta/>.
- [46] El Espectador, «Colombia, entre los 500 responsables de la deforestación global,» 11 02 2015. [En línea]. Available: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/colombia-entre-los-500-responsables-de-deforestacion-gl-articulo-543630>.
- [47] E. A. Sanint, Métodos Cuantitativos para la toma de Decisiones Ambientales, Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 2004.
- [48] J. A. Amaya, Gerencia: Planeación & Estrategia, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2005.
- [49] Ministerio de Comercio Industria y Turismo, Manual para la Elaboración de Planes de Negocio, Bogotá: Ventures, 2010.
- [50] A. Osterwalder, Y. Pigneur, G. Bernarda y A. Smith, Value Proposition Design, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2014.
- [51] F. N. d. B. d. Colombia, «Fedebiocombustibles,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.fedebiocombustibles.com>.
- [52] J. A. Aranda, M. J. Barón, I. Huertas y J. A. Orjuela, «Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biodiésel en Colombia,» *Ingeniería*, pp. 19-49, 2014.

Los Autores



David Orlando Ramírez Naranjo

Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, integrante del grupo de investigación en negocios verdes e innovación de la misma universidad, cuyo proyecto de grado ha sido postulado a tesis meritosa.



Sebastián Ospina Rodríguez

Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, integrante del grupo de investigación en negocios verdes e innovación de la misma universidad, cuyo proyecto de grado ha sido postulado a tesis meritosa.



Juan Pablo Bonilla Gaviria

Bonilla tiene 16 años de experiencia profesional en gerenciar proyectos de desarrollo sostenible. Es Economista con Maestría en Gerencia Ambiental de la Universidad de los Andes, Colombia. Experto en la formulación, planeación, estructuración e implementación de planes de negocios y empresas innovadoras sostenibles con responsabilidad social y ambiental, con alto impacto de desarrollo. Formuló las siguientes políticas públicas: Plan Nacional de Negocios Verdes (producto forestal no maderable, agricultura orgánica, uso sostenible de la biodiversidad, cambio climático, entre otros) y los cinco Programas Regionales de Negocios Verdes contribuyendo a la conservación del ambiente como capital natural que soporta el desarrollo del territorio. A su vez, ha coordinado la cooperación internacional en temas ambientales para Colombia; catedrático en Maestría y ganador de varias convocatorias de emprendimiento en desarrollo Sostenible. Perteneció al Grupo de investigación Choc Izone de la Universidad El Bosque.