



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE ECONOMIA Y CIENCIAS EMPRESARIALES

BIODIESEL DE MICROALGAS MARINAS. MODELO ENERGÉTICO DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL APLICADO A LA ECONOMÍA ECUATORIANA.

Trabajo de Investigación que se presenta como requisito para optar por el grado de Economista con concentración en Relaciones Económicas Internacionales y Economía Empresarial.

Autor: Jorge Javier Sandoval Pita
Tutor: Jorge Enrique Calderón Salazar

Guayaquil, julio de 2011

Samborondón, agosto 1 de 2011

Sr. Abg.

Mauricio Ramírez Manrique

Decano

Facultad de Economía y Ciencias Empresariales, UEES

Presente

En mi calidad de tutor del estudiante Jorge Javier Sandoval Pita, estudiante de la Facultad de Economía y Ciencias Empresariales de la UEES.

CERTIFICO:

Que he analizado el trabajo de investigación con el título: **BIODIESEL DE MICROALGAS MARINAS, MODELO ENERGÉTICO DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL APLICADO A LA ECONOMÍA ECUATORIANA**, presentado por el estudiante de la Facultad de Economía y Ciencias Empresariales Jorge Javier Sandoval Pita, con código estudiantil 2005054053, como requisito previo para optar por el Grado Académico de Economista con Concentraciones en Relaciones Económicas Internacionales, Economía Empresarial y Economía; considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, por lo que lo apruebo.

Muy Atentamente,

Econ. Jorge Calderón Salazar, MAE.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis y mis logros a Dios, por haberme privilegiado y bendecido con una familia llena de amor y rebosante de valores. Por la salud y fortaleza que nos otorga a diario, por dirigir en mi hogar toda enseñanza mediante el ejemplo y el esfuerzo, y por hacer de la honradez e inteligencia nuestros tesoros y herencia.

A mi padre Xavier y a mi madre Freya, a quienes admiro y amo más que a nadie, mis mayores inspiraciones, de quienes he aprendido y continúo aprendiendo, a quienes agradezco de manera infinita por la formación que me impartieron; por todo su apoyo, por sus valiosas enseñanzas, por su amor, cariño, entrega, dedicación, cuidados, y comprensión. Por la gran paciencia que siempre me han dedicado incondicionalmente, y por el soporte económico.

A mi hermano menor quien ha sido siempre, directa o indirectamente, la fuerza que me impulsa a no tener barrera en todo lo que hago ni límites en lo que me propongo a alcanzar. A mi hermana, por sus buenos deseos. A mis amigos, hermanos, por su apoyo en todo momento.

RECONOCIMIENTO

Agradezco a mi padre el Abogado Xavier Sandoval Baquerizo, y a todos y cada uno de mis maestros de la UEES, a quienes no solo les debo las bases de mi aprendizaje, sino también el haber intensificado mi fijación por las diversas disciplinas académicas que se reflejan en mi investigación, y por incentivar mi afición por el progreso científico, el desarrollo del país, y la enseñanza.

Dedico un especial agradecimiento a mi maestro, tutor, y amigo, el Economista Jorge Enrique Calderón Salazar, por su excepcional apoyo, por su calidad como persona, catedrático y profesional. Quien me ha transmitido sus conocimientos en varias ocasiones desde los inicios de mi carrera universitaria y me ha guiado con mucha paciencia y rigurosidad a través del camino de mi investigación.

Finalmente, agradezco a mis apreciados maestros; Isidro Fierro, y Jorge García, por despertar en mi un intenso interés por el estudio de los campos donde, bajo el marco de la sostenibilidad, toma lugar la convergencia entre el desarrollo ambiental y el desarrollo económico. Agradezco también al Economista Víctor Camacho y a la Ingeniera Elba Calderón por su apoyo crítico, y por su oportuna y acertada orientación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	II
ÍNDICE DE TABLAS O CUADROS	V
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VI
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	2
DELIMITACIÓN DEL OBJETO A INVESTIGAR.....	13
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	13
FORMULACION DEL PROBLEMA	14
SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA	14
OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACION	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
MARCO REFERENCIAL	16
DEFINICIONES CONCEPTUALES	25
FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	31
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	31
DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	31
NOVEDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
METODOLOGÍA: IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES E INDICADORES	32
VARIABLES CUANTITATIVAS	32
VARIABLES CUALITATIVAS	34
POBLACION Y MUESTRA	35
MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..	36
ENTREVISTAS.....	36
ENCUESTAS.....	36
SELECCIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA PROCESAR DATOS	37
RESULTADOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	37

CAPÍTULO I. SITUACIÓN HIDROCARBURIFERA Y BIOENERGÉTICA DEL ECUADOR..... 38

1.1. ESTADO SITUACIONAL DEL SECTOR PETROLERO NACIONAL	38
1.1.1. <i>Situación actual</i>	38
1.1.1.1. Producción Nacional de Petróleo	38
1.1.1.2. Oferta y Demanda de Diesel No.2.....	42
1.1.2. <i>Situación proyectada</i>	46
1.1.2.1. Proyección de la demanda total de Diesel No.2.....	46
1.1.2.2. Proyección de la oferta total de Diesel No.2.	47
1.1.2.3. Proyección de la producción nacional de Biodiesel. Determinación del Escenario Base.	48
1.2. ESTADO SITUACIONAL DEL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE	52
1.2.1. <i>Situación actual</i>	53
1.2.2. <i>Situación proyectada</i>	56
1.3. ESTADO SITUACIONAL DEL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL EN TÉRMINOS DE CULTIVOS BIOENERGÉTICOS Y DE ASPECTOS TERRITORIALES.....	58
1.3.1. <i>Situación actual de la frontera agrícola</i>	59
1.3.2. <i>Cultivo de Palma Africana</i>	60
1.3.3. <i>Cultivo de Caña de Azúcar</i>	62
1.4. INTRODUCCIÓN DEL BODIESEL EN EL PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS.....	64
1.4.1. <i>El Biodiesel</i>	65
1.4.1.1. La Transesterificación.....	65
1.4.1.2. Procesos y reacciones de la transesterificación.....	67
1.4.2. <i>Complementación de los Escenarios</i>	71
1.4.2.1. Escenario Base.....	71
1.4.2.2. Escenario Transporte Base	74
1.4.3. <i>Resumen del capítulo</i>	75
1.4.3.1. Análisis Histórico	75
1.4.3.2. Análisis Proyectado	76

CAPÍTULO II. CULTIVO DE MICROALGAS MARÍNAS PARA BODIESEL. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN DEL MODELO..... 80

2.1. LAS MICROALGAS MARINAS COMO CULTIVO BIOENERGÉTICO	80
2.1.1. <i>Requisitos básicos del cultivo de microalgas marinas</i>	81
2.1.1.1. Energía solar – Radiación Solar - Luz	81
2.1.1.2. Temperatura del cultivo	82
2.1.1.3. Circulación – Movimiento – Mezcla	83
2.1.1.4. Nutrientes	83
2.1.1.5. Dióxido de carbono – CO ₂ – Intercambio de gases.....	84
2.1.2. <i>Tipos de cultivos</i>	85
2.1.2.1. Estanques abiertos	85
2.1.2.2. Fotobiorreactores – FBRs.....	86
2.1.3. <i>Selección de especies</i>	88
2.1.4. <i>Cosecha de biomasa y extracción de aceite</i>	89

2.1.4.1. Floculación y coagulación	89
2.1.4.2. Centrifugación.....	90
2.1.4.3. Filtración y Microfiltración	90
2.1.4.4. Campo Eléctrico Pulsado	90
2.1.4.5. Extracción de aceite	91
2.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES – MODELOS EMPÍRICOS Y TEÓRICOS A UTILIZAR.	91
2.2.1. <i>Las variables</i>	92
2.2.2. <i>Modelo de cultivo de algas</i>	92
2.2.3. <i>Modelo de producción industrial de aceite de microalgas marinas</i>	99
2.3. POTENCIAL DE CRECIMIENTO - SIMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO ALGA- SP EN EL ECUADOR.	101
2.3.1. <i>Escenario Guayas – Guayaquil (Gye)</i>	101
2.3.2. <i>Escenario Base Completo</i>	107
2.3.2. <i>Escenario Transporte Base Completo</i>	109
2.4. RESUMEN DEL CAPÍTULO	110
<u>CAPÍTULO III. ESTUDIO DE LA DINÁMICA AMBIENTAL, ANÁLISIS ECONÓMICO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS GENERALES...</u>	112
3.1. ESTUDIO DE LA DINÁMICA AMBIENTAL DEL CULTIVO DE MICROALGAS Y DEL USO DEL BIODIESEL.	112
3.1.1. <i>Balance de Dióxido de Carbono – Emisión y Captura de CO2...</i>	113
3.1.2. <i>Potencial de contaminación de aguas y suelos – Etapa de Cultivo</i>	114
3.1.3. <i>Potencial de contaminación de aguas y suelos – Etapa de utilización del Biodiesel de microalgas</i>	116
3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL BIODIESEL DE MICROALGAS	117
3.3. ANÁLISIS DE COSTOS.....	121
3.4. ACEPTACIÓN DEL BIODIESEL EN EL ECUADOR	134
3.4.1. <i>Resultados de las encuestas</i>	134
3.4.2. <i>Resultados de la entrevista</i>	141
3.5. RESUMEN DEL CAPÍTULO	142
<u>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	145
CONCLUSIONES	145
RECOMENDACIONES	146
BIBLIOGRAFÍA	148
ANEXOS	162

ÍNDICE DE TABLAS O CUADROS

TABLA #1: PROMEDIOS PRODUCTIVOS DE LA EXPLOTACIÓN PETROLERA DESDE EL 2008 AL 2010.	41
TABLA #2: CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DE LAS IMPORTACIONES DE DIESEL No.2 EN EL PERIODO 2000-2010.	45
TABLA #3: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL ESCENARIO BASE A GROSSO MODO. PERIODO 2011 AL 2025.	52
TABLA #4: CONSUMO DE DIESEL No.2 EN EL SECTOR TRANSPORTE ORDENADO POR RADIO DE CONSUMO. AÑO 2009.	55
TABLA #5: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL ESCENARIO TRANSPORTE BASE. PERIODO 2011 AL 2025.	57
TABLA #6: RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA LA CREACIÓN DE ETANOL ANHIDRO EN ECUADOR 2009.	64
TABLA #7: MATRIZ DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE TRANSESTERIFICACIÓN DE ETIL ESTERES.	67
TABLA #8: PRECIOS REFERENCIALES A MAYO DEL 2011 Y DENSIDADES PROMEDIO.	68
TABLA #9: PROPORCIONES EXPERIMENTALES ÓPTIMAS PARA LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES (RICINO).	69
TABLA #10: SUPUESTOS PARA LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES EN GENERAL.	70
TABLA #11: VALORES CONSIDERADOS COMO ÓPTIMOS PARA LA SIMULACIÓN A ESCALA INDUSTRIAL DEL MODELO ALGA-SP.	100
TABLA #12: RENDIMIENTOS DE VARIOS CULTIVOS BIOENERGÉTICOS EN EL ECUADOR.	106
TABLA #13 ASPECTOS GENERALES DEL ESCENARIO TRANSPORTE TERRESTRE, ESCALA GUAYAS.	118
TABLA #14: COMPILACIÓN DE PARÁMETROS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO INDUSTRIAL DE LA BIO-GRANJA INDUSTRIAL DE MICROALGAS. ESCENARIO TRANSPORTE TERRESTRE, ESCALA GUAYAS.	119
TABLA #15: COSTOS DE CAPITAL IMPLICADOS EN PRODUCCIÓN DE BIODIESEL DE MICROALGAS MARINAS.	122
TABLA #16: COSTOS DE PRODUCCIÓN Y OPERACIÓN IMPLICADOS EN ELABORACIÓN DE BIODIESEL DE MICROALGAS MARINAS.	123
TABLA #17: VALORES TENTATIVOS DE LOS SUBPRODUCTOS RESULTANTES DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA BIOMASA DE MICROALGAS Y DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE.	124
TABLA #18: COMPARACIÓN DE COSTOS TOTALES DE UNA ECONOMÍA DESARROLLADA Y LA ECONOMÍA ECUATORIANA.	125
TABLA #19 ANÁLISIS DE COSTOS DE TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE MICROALGAS FRENTE AL SEBO DE VACA.	126
TABLA #20: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL ESCENARIO TRANSPORTE BASE - ESCALA GUAYAS. PERIODO 2013 AL 2025.	132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO #1: COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA PARA EL AÑO 2007. OFERTA Y DEMANDA NACIONAL Y EXTERNA.	4
GRÁFICO #2: MATRIZ ENERGÉTICA PARA EL AÑO 2007. OFERTA-DEMANDA. NACIONAL Y EXTERNA. POR TIPO DE FUENTES.....	5
GRÁFICO #3: COBERTURA DE LAS EXPORTACIONES AL FINANCIAMIENTO DE DERIVADOS IMPORTADOS 2009 Y 2010.....	5
GRÁFICO #4: OFERTA DE ELECTRICIDAD SEGÚN SU PROCEDENCIA.	6
GRÁFICO #5: GENERACIÓN TÉRMICA POR FUENTE DE COMBUSTIÓN. CONTRASTE EN EL PERIODO DE CRISIS ELÉCTRICA.	7
GRÁFICO #6: DEMANDA ENERGÉTICA SECTORIAL EN EL AÑO 2007.....	8
GRÁFICO #7: OFERTA DE ELECTRICIDAD SEGÚN SU PROCEDENCIA.	9
GRÁFICO #8: PRECIOS PROMEDIADOS WTI DEL BARRIL DE PETRÓLEO.....	9
GRÁFICO #9: COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE PETRÓLEO DESDE EL AÑO 2000 AL 2010.	39
GRÁFICO #10: COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE PETRÓLEO DESDE EL AÑO 2008 AL 2010.	41
GRÁFICO #11: ESTRUCTURA DE LA OFERTA NACIONAL DE HIDROCARBUROS MENSUAL DEL 2000 AL 2010.....	42
GRÁFICO #12: ESTRUCTURA DEL REFINAMIENTO DE CRUDO ENTRE EL 2004 Y EL 2010.	43
GRÁFICO #13: ESTRUCTURA DE REFINAMIENTO DE DIESEL No.2 FRENTE AL TOTAL DE DERIVADOS PRODUCIDOS.....	43
GRÁFICO #14: ESTRUCTURA DE LA OFERTA NACIONAL DE HIDROCARBUROS PARA EL AÑO 2010.	44
GRÁFICO #15: ESCENARIO ACTUAL DE LA OFERTA NACIONAL DE COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL AL 2010.....	45
GRÁFICO #16: DEMANDA DE DIESEL No.2 PROYECTADA AL AÑO 2025.....	46
GRÁFICO #17: OFERTA DE DIESEL No.2 PROYECTADA AL AÑO 2025.	47
GRÁFICO #18: OFERTA PROYECTADA DE BIODIESEL AL AÑO 2025.....	49
GRÁFICO #19: DISEÑO DEL “ESCENARIO BASE” PROPUESTO COMO PROYECCIÓN DE LA OFERTA NACIONAL DE COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL AL AÑO 2025.	50
GRÁFICO #20: PRECIOS DE IMPORTACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN INTERNA DE DIESEL No.2 PROYECTADOS AL 2025.	51
GRÁFICO #21: DEMANDA DE DIESEL No.2 DEL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE NACIONAL. PERIODO 2000 AL 2010.	53
GRÁFICO #22: PARQUE AUTOMOTRIZ AL CIERRE DEL AÑO 2009.	54
GRÁFICO #23: VEHÍCULOS QUE CONSUMEN DIESEL POR PROVINCIAS PARA EL AÑO 2009.	54
GRÁFICO #24: CONSUMO DE DIESEL EN EL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE POR PROVINCIAS PARA EL AÑO 2009.....	55

GRÁFICO #25: DEMANDA PROYECTADA DE DIESEL NO.2 DEL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE NACIONAL AL 2025.....	56
GRÁFICO #26: ESCENARIO TRANSPORTE BASE PROPUESTO COMO PROYECCIÓN DE LA OFERTA NACIONAL DE COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL AL AÑO 2025 EN EL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE DEL ECUADOR.	57
GRÁFICO #27: USO DE SUELOS A NIVEL NACIONAL. COMPARACIÓN ENTRE DATOS DEL 2000 Y DEL 2009.	59
GRÁFICO #28: RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PALMA AFRICANA EN ECUADOR POR SUPERFICIE CULTIVADA. 1998-2009.....	61
GRÁFICO #29: EXPORTACIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA ACEITERA DESDE EL 2006 AL 2009.	62
GRÁFICO #30: CLASIFICACIÓN DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR POR TIPO DE USO PARA EL AÑO 2009.....	63
GRÁFICO #31: ESCENARIO BASE – PROYECCIÓN DE UNA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA PARA EL CULTIVO DE PALMA ACEITERA PARA SUPLIR LA DEMANDA DE BIODIESEL.....	71
GRÁFICO #32: ESCENARIO BASE – PROYECCIÓN DE UNA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SUPLIR LA TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE PALMA ACEITERA PARA ELABORAR BIODIESEL.	72
GRÁFICO #33: ESCENARIO BASE – PROYECCIÓN DE UNA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA PARA ELABORAR BIODIESEL.	73
GRÁFICO #34: ESCENARIO TRANSPORTE BASE – PROYECCIÓN DE UNA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA PARA ELABORAR BIODIESEL.	74
GRÁFICO #35: HORAS DE RADIACIÓN SOLAR DIRECTA SOBRE GUAYAQUIL 2000 - 2008	102
GRÁFICO #36: PROMEDIO REFERENCIAL DE HORAS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL SOBRE GUAYAQUIL	103
GRÁFICO #37: IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL - GUAYAS	104
GRÁFICO #38: TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DEL AIRE A LA SOMBRA EN PERIODOS DE LUZ Y OSCURIDAD– GUAYAQUIL	104
GRÁFICO #39: SIMULACIÓN DEL MODELO DE PRODUCTIVIDAD DE MICROALGAS “ALGA-SP” ESCENARIO GUAYAQUIL.	105
GRÁFICO #40: REQUERIMIENTO DE EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA NACIONAL PARA SATISFACER EL ESCENARIO BASE.....	107
GRÁFICO #41: REQUERIMIENTO DE EXPANSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA NACIONAL PARA SATISFACER EL ESCENARIO TRANSPORTE BASE.	109
GRÁFICO #42: EMISIONES Y CAPTURA DE CO2 EN EL ESCENARIO TRANSPORTE BASE COMPLETO.....	113
GRÁFICO #43: ESCENARIO TRANSPORTE BASE – ESCALA GUAYAS. PROYECTADO AL AÑO 2025.	131
GRÁFICO #44: DISEÑO GRÁFICO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE MICROALGAS MARINAS PARA EL ESCENARIO “TRANSPORTE TERRESTRE”. ESCALA “GUAYAS”.	133

GRÁFICO #44: PREGUNTA 1. ANTIGÜEDAD EL PARQUE AUTOMOTOR DIESEL.....	134
GRÁFICO #45: PREGUNTA 2. CONSUMO PROMEDIO SEMANAL DE DIESEL No.2.	135
GRÁFICO #46: PREGUNTA 3. PREFERENCIAS DE VALOR AGREGADO PARA EL COMBUSTIBLE.....	135
GRÁFICO #47: PREGUNTA 4. POSEEDORES DE CONOCIMIENTO GENERAL DEL BIODIESEL	136
GRÁFICO #48: PREGUNTA 5. ORIENTACIÓN DE UNA POTENCIAL CAMPAÑA DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIESEL	137
GRÁFICO #49: PREGUNTA 6. FORMA Y NIVEL DE ACEPTACIÓN DEL BIODIESEL	138
GRÁFICO #50: PREGUNTA 7. NIVEL DE INTERÉS EN LA COMERCIALIZACIÓN DEL BIODIESEL	139
GRÁFICO #51: PREGUNTA 8. DISPOSICIÓN A SOMETER SU VEHÍCULO A MODIFICACIONES PARA EL BIODIESEL	139

RESUMEN

El primer capítulo se encarga de exponer la problemática de la investigación, esto es, mostrar el estado general y específico de los sectores petrolero y agropecuario del Ecuador, de tal forma que se posibilite la elaboración de proyecciones tanto de la demanda como de la oferta de hidrocarburos, en especial del diesel no.2. Por su parte las proyecciones del sector agropecuario se inclinan más a revelar la capacidad de expansión de la frontera nacional agrícola y el potencial de las dos fuentes de biocombustibles más representativas en la actualidad, que son el aceite de palma africana y el etanol anhidro de caña de azúcar. Se conforman los escenarios supuestos en los que se define la base de un plan de reemplazo de diesel no.2 por biodiesel a escala nacional completa y otro a escala sectorial, en específico para el sector transporte terrestre.

En el segundo capítulo se hace énfasis a la explicación de los sistemas biológicos y artificiales que forman parte vital en la producción de la biomasa de microalgas. Partiendo de ese punto se examinan las variables y se conforman los sistemas de ecuaciones de los cuales resulta el modelo matemático de rendimiento de biomasa de microalgas denominado *Alga-SP* el cual sirve para simular el crecimiento de la especie escogida en el Ecuador y con esto lograr modificar los escenarios planteados en el capítulo anterior con el fin de estimar los requerimientos de territorio supuestos para cada escenario simulado. De esta forma se consigue un solo escenario consolidado que será el molde para las simulaciones y análisis de económico correspondientes al tercer capítulo.

Para el tercer capítulo se realizan los estudios ambientales, económicos y de costos con los que se determinará el valor final de los productos implicados y de los sub productos resultantes. Se consigue, mediante encuestas y entrevistas, tener una idea de los niveles de aceptación y el estado actual de los biocombustibles en el país. Finalmente se obtienen los parámetros teóricos estimados para lograr una producción viable de biodiesel de microalgas marinas en el Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La temática de este estudio gira en torno al cultivo de microalgas marinas en el Ecuador con fines bioenergéticos ya que la biomasa o materia prima producida serviría para lograr la obtención de aceite vegetal, el cual tras ser sometido al respectivo refinamiento, puede ser convertido en un biocombustible de tercera generación conocido como biodiesel de microalgas. La producción de ésta materia, por la naturaleza de las microalgas, no compite por tierras cultivables sino que por contrario requiere de superficies áridas e inhabitables que preferiblemente gocen de la cercanía de una fuente contaminante de dióxido de carbono, y que estén expuestas a niveles intensos de radiación solar y altas temperaturas siendo éstas las principales fuentes de nutrición para su óptimo desarrollo. Se conoce que dicho cultivo posee rendimientos de aceite por área cultivada que son cientos de veces mayores a los rendimientos que presentan los cultivos energéticos tradicionales como la soja, palma africana, higuera, piñón, entre otros, siendo ésta una ventaja más que ubica al biodiesel resultante como potencial competidor del diesel derivado de petróleo ya sea como sustituto parcial o total en el mercado ecuatoriano.

El propósito principal de la presente investigación es el de evidenciar el potencial teórico del cultivo de microalgas en el país mediante proyecciones, estimaciones, simulaciones, y análisis de los factores implicados directa o indirectamente, lo que deriva en la conformación de un diseño integrado de industrialización del biodiesel de microalgas respaldado por un modelo matemático de productividad de biomasa con lo cual se logra inferir rendimientos y parámetros teóricos tanto de la obtención de aceite como de su transformación en biodiesel. La meta final es promover el interés de los investigadores e inversionistas privados o públicos en el biodiesel de microalgas marinas para el Ecuador hallando las coyunturas y emitiendo la información apropiada.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio servirá para despertar el interés del lector en el cultivo de microalgas marinas como materia de tercera generación para la elaboración de biodiesel en el Ecuador, lo cual a su vez ayudará a promover futuras investigaciones tanto académicas como científicas, cuyos resultados podrían llegar a ser aplicados en el país en forma de propuestas dirigidas a combatir los problemas energéticos actuales y proyectados relacionados al Diesel No.2 derivado del petróleo.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La problemática que el presente estudio pretende resolver se reconoce a partir del análisis de la Matriz Energética del Ecuador que consiste en un sistema de información donde se evalúa la interacción de la oferta y la demanda de varios tipos de energías sobre todos los sectores de la economía. Partiendo de un concepto en el que la energía es el principal factor de funcionamiento universal, tal interacción de recursos energéticos puede ser considerada como el elemento que da lugar a la actividad económica nacional en su totalidad, y cuyos rendimientos, positivos y negativos, afectan la dinámica del país directa o indirectamente.

En síntesis, puede entenderse que las falencias, o en su defecto, las mejoras sobre una fuente de tan amplio alcance como lo es la energía, tienen la capacidad de ocasionar reacciones en cadena sobre las variables correlacionadas a ésta. Por tales motivos, a nivel estatal se da importancia a la creación y ejecución de proyectos que apuntan a la optimización de la oferta de energía, y a las regulaciones sobre el marco legal respectivo, con lo que finalmente se busca planificar y modificar la demanda energética para de esta forma lograr un equilibrio del balance nacional de energías.

Para poder enunciar claramente el problema y lograr una apropiada comprensión del mismo, es preciso revisar de forma breve y objetiva, tanto los problemas generales de la matriz en cuestión como las soluciones planteadas en los últimos años por parte del sector público y resaltar sus fortalezas e inconsistencias para de esta forma poder dejar claro el panorama coyuntural donde serán desarrolladas y aplicadas las propuestas resultantes de éste estudio.

También es importante aclarar que para efectos de ésta investigación, dicho análisis será abordado desde los enfoques; económico, ambiental, y sociocultural, haciendo énfasis en la relación existente entre el combustible fósil “Diesel No.2” y los sectores; transporte terrestre, eléctrico, y agropecuario del Ecuador.

Partiendo de esa perspectiva es preciso mencionar que el desempeño energético del país, el cual ha sido monitoreado a través de los últimos años por los gobiernos de turno y las respectivas entidades competentes, presenta ciertos desequilibrios generales que se han identificado a través del balance nacional de energía, de entre los cuales sobresalen los siguientes:

- No existe una marcada diversificación de la Matriz Energética del Ecuador, es decir, tanto la oferta como la demanda de energías nacionales y extranjeras se fundamentan principalmente en el petróleo y sus derivados (*Gráfico #1*), lo que eleva el riesgo de sufrir fuertes impactos económicos por factores que están implícitos en el comercio internacional de hidrocarburos como lo son la volatilidad de precios, la dependencia a los mercados externos, la sensibilidad de las políticas de comercio exterior, los niveles productivos¹, entre otros.

¹ Según predicciones basadas en la metodología de la “Curva de Hubbert” (Hubbert, M. K. 1950a, b, 1956) se estima que se llegará a un pico de producción petrolera cerca del año 2035 (IEA, 2010)

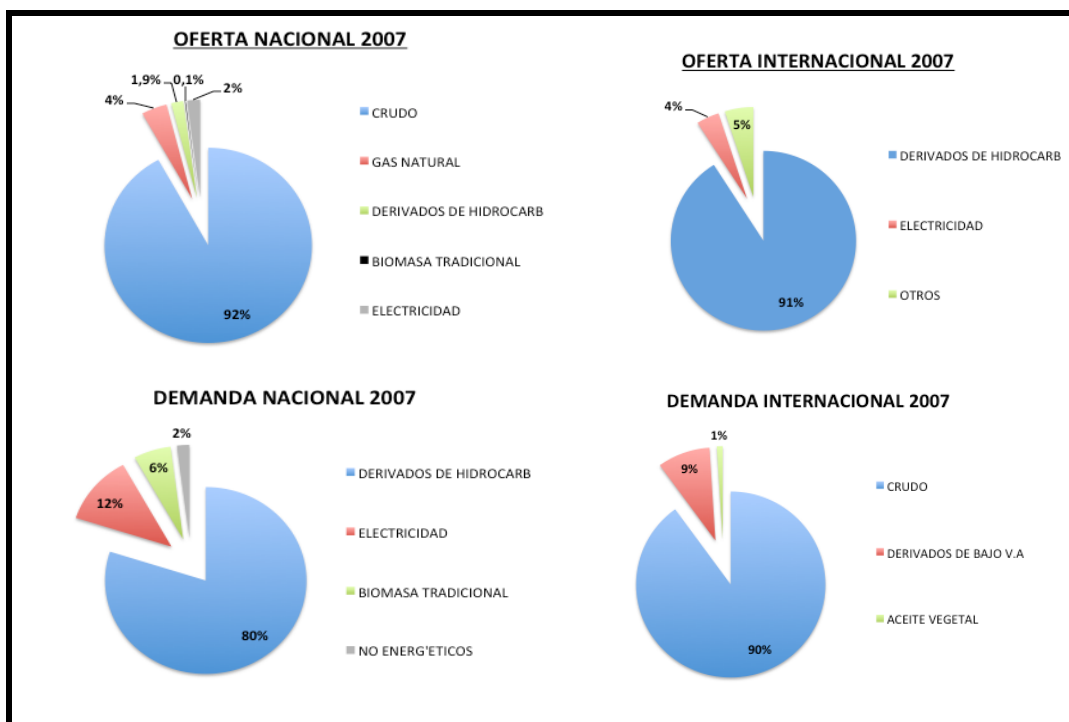


Gráfico #1: Composición de la Matriz Energética para el año 2007. Oferta y Demanda Nacional y Externa.

Fuente: MEER, 2009. Elaboración: Autor.

- Al contar con una oferta y demanda energética no sustentable basada en energías no renovables (*Gráfico #2*), en su gran mayoría de origen fósil, no solo se perjudica al ambiente y a la sociedad con la contaminación y emisiones implícitas en el proceso y uso de dichas energías, sino que también se incrementan las posibilidades de sufrir rechazos y de perder oportunidades a mediano y largo plazo en el mercado internacional de energías ya que la tendencia mundial actual se inclina a favorecer las energías renovables y en ciertos casos a penalizar las no renovables con estándares, aranceles, y políticas focalizadas². A su vez se está dejando de recibir incentivos económicos por motivos de preservación ambiental similares al que se recibe por haber implementado los focos ahorradores en el país.

² Tal es el caso de algunos estados miembros de la Unión Europea como los Países Bajos, Reino Unido, Finlandia, entre otros, que no solo basan sus políticas energéticas en incentivos para el uso de energías renovables (Feed-in Tariff) sino que también penalizan mediante impuestos a la generación de energías no renovables (Tax Measures) para que sus costos ambientales sean internalizados mientras que como contraparte exoneran a las energías limpias (Sánchez de Tembleque, L. J. 2009).

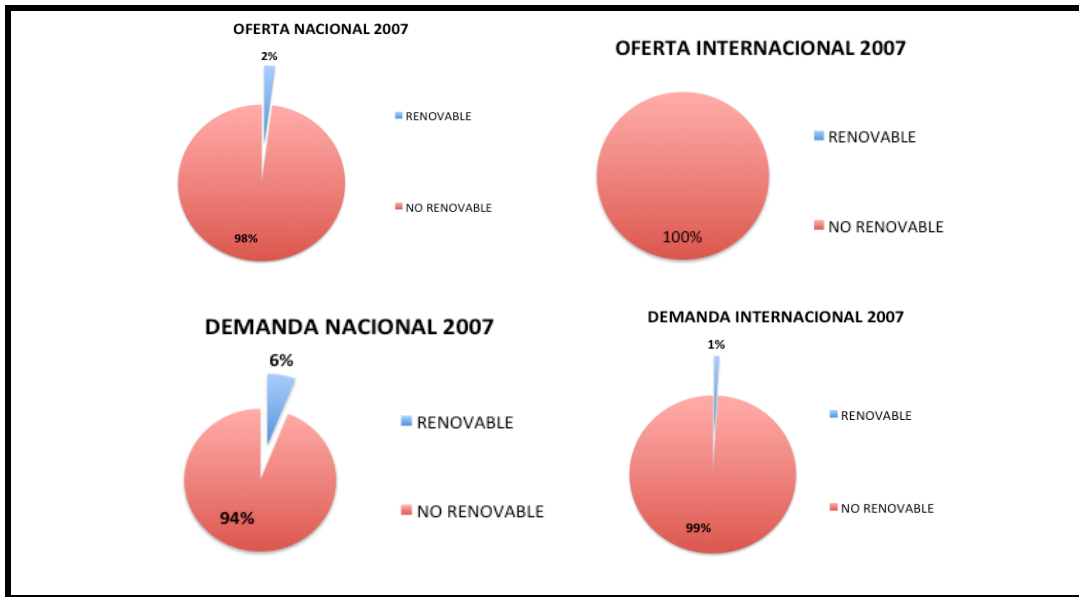


Gráfico #2: Matriz Energética para el año 2007. Oferta-Demanda. Nacional y Externa. Por tipo de fuentes.

Fuente: MEER, 2009. Elaboración: Autor.

- Los ingresos por exportación de grandes volúmenes de crudo y derivados de bajo valor agregado han llegado a proporcionar coberturas de hasta el 61% de las importaciones de hidrocarburos de alto valor agregado (Gráfico #3). Lo que resulta en un menor margen de ingresos petroleros disponibles para ser gestionados en el Presupuesto General del Estado³.

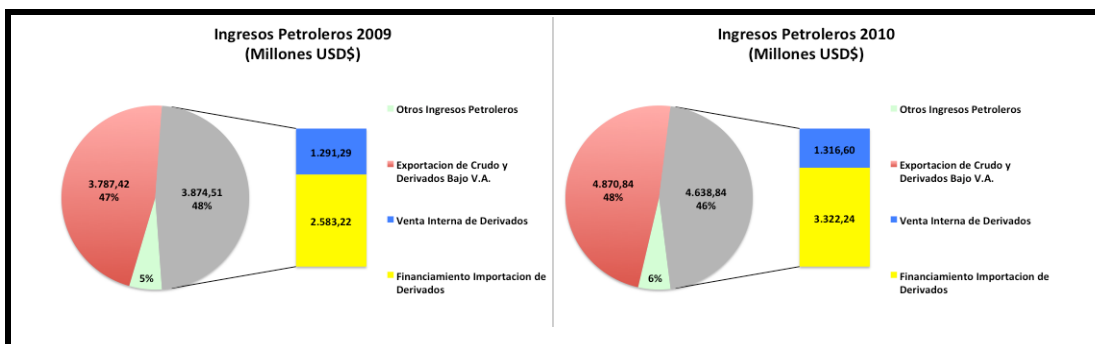


Gráfico #3: Cobertura de las exportaciones al financiamiento de derivados importados 2009 y 2010.

Fuente: Asamblea Nacional Constituyente: Informe de la Proforma Presupuestaria 2009 & 2010. Elaboración: Autor.

³ Se estima que para el 2010 de cada dólar generado por exportaciones, cerca de 61 centavos USD\$ se destinarían a financiar las importaciones de derivados del mismo sector petróleo en vez de ser reinvertidos en otros sectores como educación, salud, vivienda, entre otros.

En términos más específicos, desde un enfoque sectorial, la carencia actual de autoabastecimiento energético que impulsa al país hacia un abastecimiento insostenible se puede apreciar de la siguiente manera:

- El sector eléctrico que representa cerca del 12% de la demanda total del país en la matriz energética, maneja un balance promedio en el cual resaltan la generación térmica y la hidráulica con proporciones similares (*Gráfico #4*). Lo que se puede interpretar también como un sector eléctrico frágil o muy vulnerable a cualquier eventualidad en los sistemas de generación o distribución al no encontrarse debidamente diversificado. Es aquella sensibilidad la que tiene el potencial de causar grandes pérdidas al país tal como se evidenció tras la crisis del sector eléctrico de finales del año 2009, en la cual se incrementó considerablemente (al 29%) el uso de Diesel No.2 para la generación termoeléctrica debido al impacto de factores exógenos (estiaje en la represa Paute) que causaron grandes ineficiencias sobre el sector hidroenergético (*Gráfico #5*).

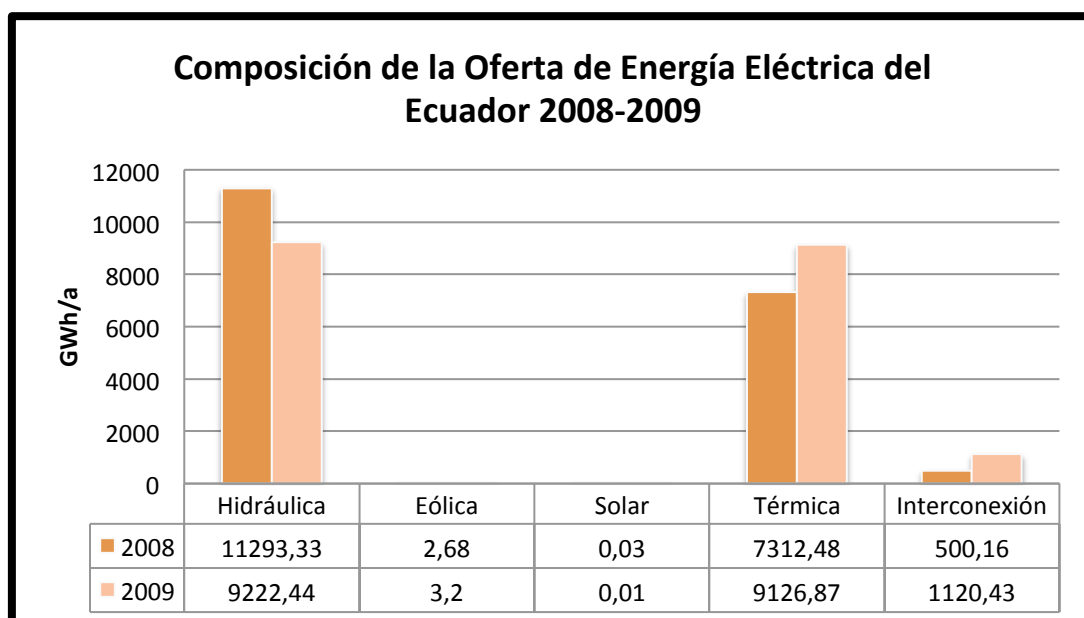


Gráfico #4: Oferta de electricidad según su procedencia.

Fuente: CONELEC, 2009, 2010. Elaboración: Autor.

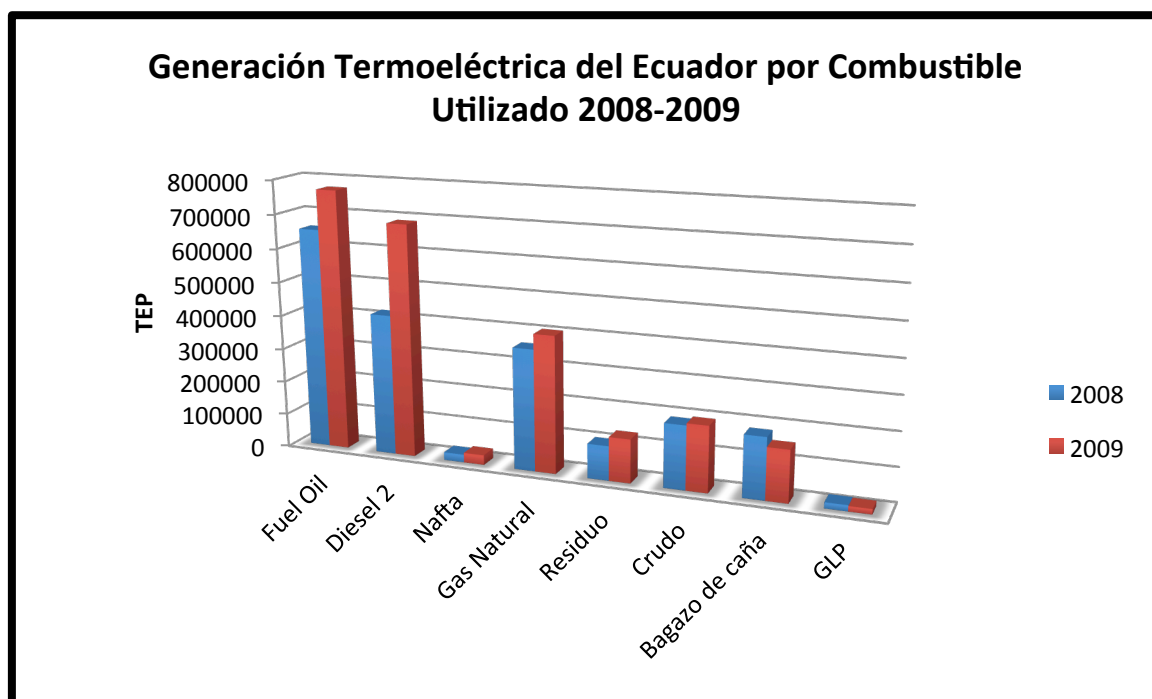


Gráfico #5: Generación térmica por fuente de combustión. Contraste en el periodo de crisis eléctrica.
 Fuente: CONELEC, 2009, 2010. Elaboración: Autor.

Se estima que por causa de aquella crisis, de los 19.472,95 GWh generados que fueron registrados ese año cerca de 2.633 GWh (13,5%) fueron generados con diesel importado (CONELEC, 2009, 2010). Sumando esto a los 1.120 GWh resultantes de la interconexión, se puede decir que no solo existe una vulnerabilidad en la oferta eléctrica final por falta de diversificación como se plantea anteriormente, sino que también hay una elevada dependencia al mercado internacional. Tal dependencia alcanzó una proporción del 19% al cierre del 2009, es decir, 19 de cada 100 GWh consumidos por el país fueron de origen extranjero para aquel año.

En base a lo antes mencionado quedan expuestas algunas condiciones adversas para el país en materia de electricidad, cuyos escenarios más desfavorables implican un aumento del riesgo de sufrir incrementos esporádicos del costo de la electricidad y recesiones eléctricas.

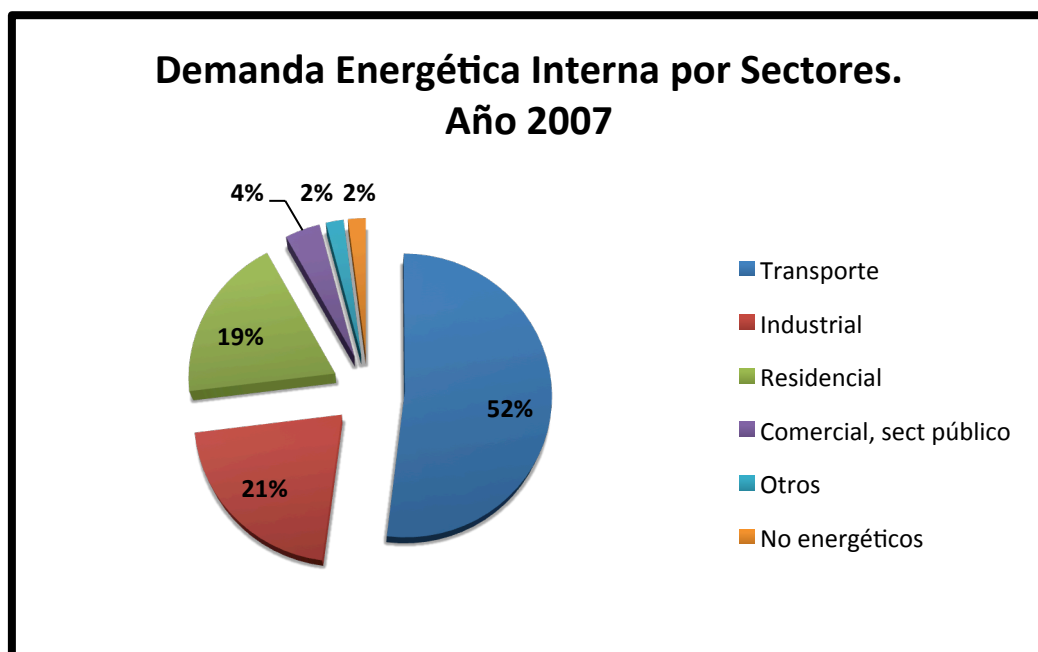


Gráfico #6: Demanda Energética Sectorial en el año 2007.

Fuente: MEER, 2009. Elaboración: Autor.

- El sector transporte en general demanda por si solo la mayor parte del total de energía del país seguido del sector industrial y Residencial (*Gráfico #6*). Adicionalmente se conoce que en términos de proporciones de consumo de hidrocarburos derivados, el sector transporte terrestre específicamente es el que demanda cerca del 53% del total de Diesel No.2. comercializado en el país habiendo mantenido esa proporción casi como una constante durante la última década. Por otra parte, la evaluación en términos monetarios revela que para el 2010 hubo pérdidas de más de mil millones de dólares⁴ por comercialización de diesel a causa del subsidio (*Gráfico #7*) con una tendencia al alza sugerida por el aumento del consumo nacional de dicho hidrocarburo y el aumento del precio del barril de crudo⁵ que muestra una recuperación significativa tras la crisis mundial experimentada en los últimos años (*Gráfico #8*).

⁴ Valores basados en BCE-Cifras del Sector Petrolero Ecuatoriano (CSPE), CSPE n° 37 al 48 – Año 2010.

⁵ El precio de los derivados se encuentra directamente correlacionado al precio del barril de crudo. Véase gráficos #7 y #8.

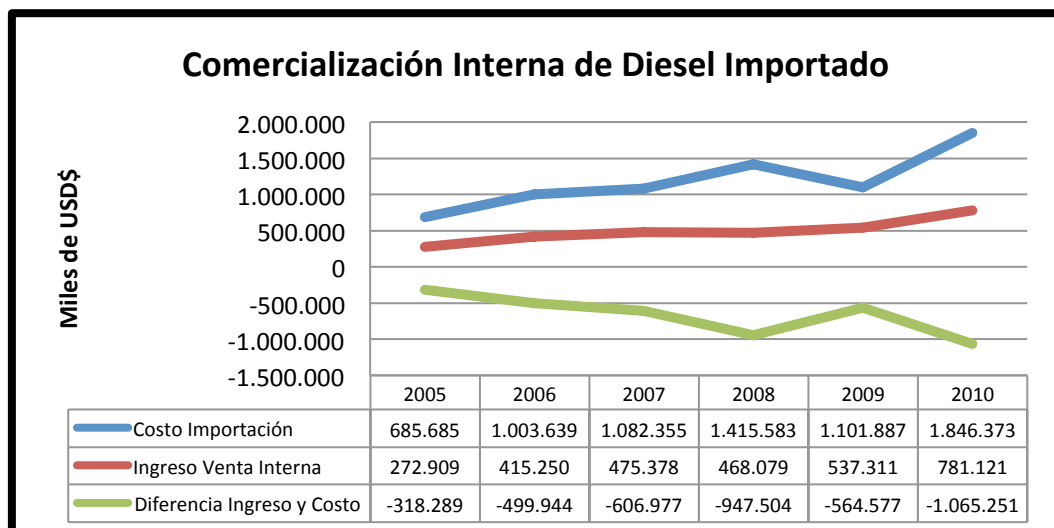


Gráfico #7: Oferta de electricidad según su procedencia.

Fuente: BCE-Cifras del Sector Petrolero Ecuatoriano (CSPE) del 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

Adicionalmente, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de las 25,9 millones de toneladas de CO₂ (Mt CO₂) registradas en el país por quema de combustibles, la quema de diesel de este sector generó emisiones cercanas a los 6,8 Mt CO₂ (26%) (IEA, 2010). De tal manera que la gestión energética ineficiente del sector transporte no solo afecta al arca fiscal y la balanza comercial, sino también al medio ambiente, y demás factores vinculados.

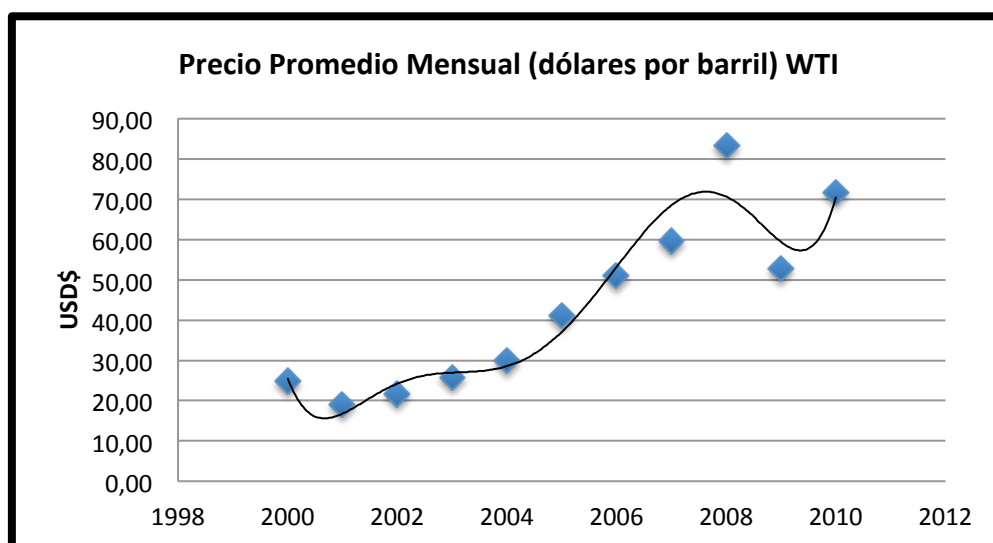


Gráfico #8: Precios promediados WTI del barril de petróleo.

Fuente: BCE-Cifras del Sector Petrolero Ecuatoriano (CSPE) del 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

Como respuesta a los problemas antes mencionados, los gobiernos de turno mediante sus respectivas instituciones han incursionado en la búsqueda de soluciones integrales bajo el concepto de la sustentabilidad ambiental, y hasta el momento los hallazgos han desembocado principalmente en los planes y proyectos que se evaluarán a continuación:

- Con la planificación actual y acumulada (desde gobiernos anteriores) del sector eléctrico, se apunta a finalizar completamente las importaciones de energía eléctrica y el uso de diesel importado en la generación térmica. Los planes incluyen la creación de diversas centrales hidroeléctricas (la mayoría en proceso de construcción) y el reemplazo de ciertas plantas generadoras termoeléctricas que utilizan diesel, por otras que funcionan a base de combustibles nacionales (crudo, fuel oil, y residuo) y que servirán como respaldo para contingencias (CONELEC, 2009). En éste caso en particular, las condiciones geográficas y climatológicas del país han resultado favorables para lograr resolver de manera sostenible la problemática del sector eléctrico ecuatoriano que fue previamente descrita. Se debe tener en cuenta que para lograr aquello se ha requerido de extensos periodos de tiempo y millonarias inversiones, resultando en proyectos de muy elevados costos de capital pero que a su vez proyectan resultados altamente favorables en el mediano y largo plazo.
- Se ha explorado intensamente el sector agropecuario con el fin de encontrar en los biocombustibles la alternativa más sostenible para proveer de energía renovable al sector transporte terrestre y de esta forma afrontar los problemas antes mencionados. Los resultados obtenidos muestran que del total de los cultivos energéticos estudiados, solo la caña de azúcar posee las facultades para crecer como cultivo energético sin mayores inconvenientes bajo ciertas condiciones y dentro de un rango predeterminado (Figueroa de la Vega, F. A., 2008).

Prueba de esto es el proyecto piloto Ecopaís dirigido a satisfacer una parte del mercado de gasolina de alto octanaje en la ciudad de Guayaquil por medio de una mezcla de 5% etanol anhidro de caña de azúcar en la gasolina “extra” previamente reformulada (Barriga, A., 2008)

- En cuanto a la parte más representativa del sector transporte terrestre, que es la que consume Diesel No.2 en conformidad con la problemática planteada, los estudios realizados determinaron que el cultivo de palma africana en sus condiciones actuales podría servir para iniciar un proyecto de producción de biodiesel y una posterior mezcla con el petrodiesel con lo que se buscaría dar un paso importante hacia la sostenibilidad ambiental de dicho sector, reducir las emisiones e importaciones, diversificar la matriz energética, y obtener la mayor cantidad de ventajas relacionadas a esa planificación. (González, M., 2007).

Desafortunadamente no se ha podido ejecutar algún tipo de proyecto relacionado a este cultivo debido a la indisposición que presenta la frontera agrícola nacional ante posibles expansiones para cultivos energéticos como el de la palma africana u otras materias para agrocombustibles de primera generación (Figuerola de la Vega, F. A., 2008).

También existen grandes dificultades cuando se trata de materias de segunda generación como la colza y el piñón (Knothe, G. et al., 2005). Todo esto sin contar las rentas y divisas que el país dejaría de recibir si llegase a terminar con las exportaciones de aceite de palma, y sin considerar un sinnúmero de inconvenientes relacionados a los agrocombustibles y a la frontera agrícola, los cuales serán expuestos posteriormente en ésta investigación.

- En respuesta a las dificultades energéticas del Ecuador insular (Galápagos), y los riesgos que implica transportar el Diesel No.2 a las islas, se ha creado el proyecto Ergal que pretende terminar con el uso de combustibles fósiles mediante el reemplazo o adaptación de generadores eléctricos diesel a unos que funcionan con aceite vegetal (proveniente de las cercas vivas de piñón de la provincia de Manabí), y la diversificación de su portafolio de energías limpias y renovables que incluyen la generación fotovoltaica (solar) y eólica. Dado a que la extensión de tierras potencialmente cultivables para agrocombustibles es muy limitada se omiten los cultivos energéticos por el momento (ERGAL, 2008).
- Finalmente, la creación de la Refinería del Pacífico “Eloy Alfaro” (RDP) resulta ser una de las propuestas más importantes para terminar definitivamente con la importación de Diesel No.2 y otros derivados de petróleo, lo que en teoría se lograría aumentando la producción de hidrocarburos refinados en 300.000 barriles diarios⁶. Desde su ejecución se han cubierto mayormente las fases de estudios, creación de vías de acceso, entre otras. Actualmente se encuentra en busca de financiamiento debido a los altos montos requeridos para su culminación (12 mil millones USD\$), y promete estar listo para octubre del 2015⁷.

El problema de este proyecto gira en torno al petróleo, cuyos atributos como materia fósil no renovable y altamente contaminante descartan un aporte a la diversificación ambientalmente sustentable de la matriz energética, pero que sin embargo resultará en un proyecto altamente beneficioso para el país en términos económicos que será compatible e incluso favorable para la propuesta de ésta investigación.

⁶ La capacidad instalada actual es de 176 mil brl/d y un prom. de 173 mil brl/d en los últimos 5 años.

⁷ En conformidad con el cronograma maestro del Eje de Soberanía Energética del sitio web de la RDP.

Tras haberse presentado de forma breve la problemática general y las respectivas soluciones planteadas por el sector público, es procedente aclarar que esta investigación apunta específicamente a resolver el problema desatendido del sector transporte terrestre del Ecuador que utiliza Diesel No.2 como materia energética, el cual no cuenta con una planificación ni proyectos consistentes debido a las dificultades que presentan los biocombustibles de primera y segunda generación y la expansión de la frontera agrícola con fines energéticos.

Por consiguiente se considera que la solución planteada en el presente estudio aportaría principalmente a la mitigación de; la contaminación, las emisiones por GEI, los riesgos por la limitada diversificación energética, la importación y uso de diesel fósil, y los impactos que sufriría el sector agrícola en caso de que se presente la necesidad de acudir a los cultivos energéticos tradicionales para diversificar la oferta energética del país.

DELIMITACIÓN DEL OBJETO A INVESTIGAR

Se establece que el objeto investigado de forma prioritaria es la producción de microalgas marinas en el Ecuador y los factores que integran su cadena de producción completa, junto a los demás insumos y procesos requeridos para el refinamiento del aceite vegetal y su transformación en biodiesel utilizando etanol de caña de azúcar. Se evalúan, bajo escenarios predefinidos, los impactos económicos, ambientales, y sociales de la implementación del biodiesel resultante de las microalgas en la economía ecuatoriana.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El problema que será tratado engloba la falta de diversificación energética, la carencia de autoabastecimiento, y la escasez de planificación estatal en materia de biocombustibles.

La problemática a tratar tiene lugar en el sector del transporte terrestre nacional específicamente en aquella parte de éste sector que utiliza como combustible el diesel No.2 derivado del petróleo. A esto se le adicionan los problemas implícitos en la expansión de la frontera agrícola con fines energéticos, y demás aspectos relacionados a las falencias vinculadas a la potencial creación y uso de agrocombustibles de primera y segunda generación en el Ecuador.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es el potencial teórico que representa el biodiesel de microalgas marinas como sustituto del Diesel No.2 en el sector transporte terrestre del Ecuador?

SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA

- ¿Dónde radican las fortalezas del cultivo de microalgas marinas frente a los cultivos y métodos de las materias tradicionales de primera y segunda generación a nivel nacional?
- ¿Cuáles son los rendimientos mínimos, costos, y demás parámetros técnicos y económicos a considerar para una producción industrial viable de biodiesel de microalgas marinas en el Ecuador?

OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACION

Identificar el potencial teórico del cultivo de microalgas marinas como fuente de aceite para la producción sostenible de biodiesel en el Ecuador, y exponer los parámetros bajo los cuales podría volverse económicamente viable la implementación del modelo energético de biodiesel de microalgas como reemplazo del diesel No.2 en el escenario propuesto para el sector del transporte terrestre del país.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el estado actual y proyectado de los sectores transporte terrestre y agrícola del país con respecto al diesel No.2 y a las materias existentes relacionadas a los biocombustibles de 1era y 2da generación, y en base a esto delimitar el escenario de aplicación respectivo.
- Elaborar un modelo matemático de productividad de aceite de microalgas marinas basado en la combinación sistemas de cultivo, reacciones biológicas, procesos naturales, factores climatológicos, rutinas de cosecha, y demás variables identificadas específicamente para el Ecuador como partícipes directas en la producción y cosecha de microalgas con fines de biodiesel.
- Realizar la simulación del modelo matemático sobre el escenario predefinido para el país, y obtener los rendimientos, parámetros, costos, e impactos respectivos de dicha implementación.

MARCO REFERENCIAL

El fundamento teórico en el que se suscribe esta investigación se remonta a la última década del siglo XIX y surge de la visión innovadora del ingeniero mecánico alemán, Rudolf Diesel, quien creó y patentó en el año 1892 el primer motor de combustión interna basado en un ciclo de ignición que reemplaza la chispa convencional por la compresión térmica, permitiendo así el uso de combustibles menos ligeros que la gasolina. Éste motor fue puesto en funcionamiento con aceite de maní como combustible en el año 1900 en una reconocida exhibición internacional, dejando evidenciada su efectividad.

Se conoce que aquel motor fue creado bajo el pensamiento de que los aceites vegetales serían algún día tan importantes como el petróleo⁸ y su fin era ser usado preferentemente a base de carbón o aceites vegetales en vez de petróleo (Drapcho, C. M., et al., 2008). Este invento junto a las teorías que ya venían surgiendo desde la segunda mitad del siglo XVIII a raíz de la industrialización, en las que se resaltaba a las emisiones de CO₂ por quema de petróleo y sus derivados como causantes principales del calentamiento global (Bolin, B., 2007), dieron paso a diversos estudios que se enfocaban en encontrar formas de mitigar el cambio climático.

De los métodos, materias y procesos investigados a través de los años para crear aceites naturales como alternativas de sustitución de los combustibles fósiles en motores a diesel, las algas, por su alto contenido oleaginoso y demás propiedades excepcionales, se volvieron un ejemplar de interés nacional para algunos países incluyendo a Estados Unidos que a partir de la crisis mundial de petróleo a inicio de los años setenta, intensificó sus procesos de búsqueda de combustibles renovables que pudiesen reemplazar a los derivados de hidrocarburos fósiles.

⁸ Parte de un enunciado que realizó el Dr. Rudolf Diesel en una de las presentaciones de su motor.

Aquel interés llegó a tal punto que en el gobierno de Carter se dio origen al “Programa de Biocombustibles” por medio de su Departamento de Energía (DOE) que a su vez incorporó en 1978 el Programa de Especies Acuáticas (ASP por sus siglas en inglés) como parte de su programa principal. El ASP fue creado como una rama más del estudio de especies fotosintéticas que utilizan la energía solar para transformar su materia y poder crear combustibles o bien convertirse en ellos. Debido a que para los primeros años del programa, los motores comerciales a diesel ya habían sido adaptados a las propiedades de los combustibles basados en petróleo⁹ y masificados en aquel formato, la viscosidad de los aceites vegetales se volvió inaceptable para dichas máquinas que irónicamente fueron creadas para funcionar con dichos aceites y sus derivados. Fue por aquel motivo que en esos primeros años del programa se le dio énfasis a la utilización de las algas para la obtención de hidrógeno en vez de biodiesel como fuente de energía, lo que cambió a partir del año 1980 tras el descubrimiento de la transesterificación¹⁰ que amplió el horizonte de aplicación e investigación del programa hasta el punto en el que se llegó a abordar como enfoque principal la temática del “Biodiesel de Algas Marinas” (Sheehan, J., et al., 1998).

Desafortunadamente al programa de las algas se le retiraron los fondos en el año 1995 por presiones ejercidas para reducir presupuestos. Los avances logrados durante la existencia del ASP fueron publicados en 1998 a través de un reporte que compila 16 años de investigación que incluye estudios realizados por terceros pero que fueron contratados por el departamento y que rindieron frutos incluso hasta los años posteriores al cierre del programa.

⁹ Para mejorar sus propiedades físicas y desempeño (motores menos pesados y más eficientes), ya que el petróleo y sus derivados ganaron mercado a nivel mundial por sus costos y disponibilidad casi inmediata.

¹⁰ Proceso químico que consiste básicamente en agregar un alcohol al aceite vegetal y de esta forma separar la glicerina de la mezcla para que ésta adquiera propiedades físicas muy similares a las del petrodiesel (Viscosidad, punto de congelamiento e ignición, entre otras).

Todo lo presentado en aquella publicación tiene un peso significativo en los estudios que la precedieron hasta la actualidad, y resultaron en un impulso para muchos inversionistas públicos y privados que respaldan los avances de otras investigaciones sobre algas marinas que ya venían siendo realizadas y también de aquellas que estaban por venir.

“...este reporte debe ser visto no como un final, sino como un comienzo.

Cuando el tiempo sea correcto, esperamos completamente ver un renovado interés en las algas como una fuente de combustibles y otros químicos.” (Sheehan, J., et al., 1998).

Las investigaciones que se abordaron a través del programa incluían la recolección, estudio, y clasificación de diversas familias y especies de algas provenientes de diferentes partes del mundo, para ponerlas a prueba y ordenarlas de acuerdo a sus características con el fin de encontrar las más apropiadas para la producción masiva de biocombustibles líquidos o gaseosos junto a sus respectivos métodos y requisitos (nutrientes, etc.).

Los ejemplares más sobresalientes a nivel teórico y de laboratorio fueron puestos a prueba en estudios a pequeña escala y bajo una amplia variedad de condiciones, factores, y métodos, por lo que se consiguió evidencia empírica lo más cercana a las escalas piloto e industriales de la época. En los resultados expuestos se registran rendimientos muy variados por tipo de cultivo y clase de algas.

En algunos casos se ha experimentado con especies iguales, bajo circunstancias similares, pero en ambientes diferentes, logrando así encontrar factores en común con lo que se estandarizan los cultivos y pueden ser tomados como referencia para la adaptación y experimentación en distintas localidades que guardan similitud en función al clima.

Hasta hace algún tiempo atrás, los diversos estudios relacionados al cultivo de algas marinas con fines bioenergéticos eran en su mayoría investigaciones teóricas basadas en pruebas y resultados de laboratorio o en pequeñas escalas, tal como se menciona anteriormente, pero cabe recalcar que en los últimos años se ha intensificado la inversión pública y privada¹¹ en el estudio de estas especies, lo que sirve como un buen indicador de que el mundo se encuentra próximo a presenciar la producción masiva de algas con fines energéticos, principalmente para el biodiesel.

Entre los resultados más notables de los estudios realizados sobre las algas como fuente de aceite vegetal para la creación de biodiesel, se encuentran los superiores rendimientos por hectárea que manifiestan en especial las microalgas verdeazuladas y otras microalgas, los cuales fluctúan entre los 19.141 litros por hectárea por año (L/ha/a) y los 31.902 L/ha/a¹² (Benemann, J. R., & Oswald, W. J., 1996), que hasta en los escenarios más pesimistas¹³ con rendimientos de 5.985 L/ha/a (Alabi, A. O., et al, 2009) superan a uno de los cultivos oleaginosos de primera generación más representativos como lo es la palma africana, cuya productividad máxima promedio es de 5.500 L/ha/a y que adicionalmente requiere de tierra fértil para su crecimiento (Figueroa de la Vega, F. A., 2008). Otra característica hallada en los estudios de microalgas, que se complementa con su elevado nivel de productividad y convierte a estos ejemplares en potenciales fábricas de biodiesel, es su régimen alimentario junto a las condiciones ambientales que éstas demandan para su desarrollo.

¹¹ Afirmación basada en datos publicados por la empresa Emerging Markets en su sitio web oficial www.emerging-markets.com/algae/Algae2020StudyandCommercializationOutlook.pdf tomados en abril del 2011.

¹² La variación de la productividad radica principalmente en la selección de las especies, procesos de cultivo y en la forma del cultivo (cultivo abierto y cultivo en fotobiorreactor entre los más conocidos).

¹³ Sometiendo el cultivo en estanques abiertos, a condiciones muy inferiores a las de su ambiente normal y a factores adversos como inviernos congelados y hasta seis meses de escasa radiación solar.

En términos generales los cultivos de microalgas necesitan estar ubicados en terrenos desérticos, no cultivables o marginales, donde puedan recibir abundante energía solar y calor, requieren de agua salada, residual, o dulce, y una fuente que las provea de abundantes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) para su adecuado crecimiento (Lee, Y. K., 2001; Chisti, Y., 2007), ya sea que dicho GEI provenga de emisiones industriales o del propio aire¹⁴. De esta manera el cultivo de algas logra superar por mucho a un gran representante de los cultivos de segunda generación como lo es el piñón o *Jatropha curcas* (FAO, 2009) que no solo tiene rendimientos inferiores a las algas (1.590 L/ha/a) sino que adicionalmente compite por agua dulce y requiere de condiciones especiales para su óptimo desempeño debido básicamente a la necesidad de maximizar los rendimientos y la calidad de los frutos (semillas) para obtener las cantidades necesarias de aceite de alta calidad que permitan crear un biocarburante competitivo.

Tras dejar expuestos en síntesis los cimientos referenciales del cultivo de microalgas marinas en el mercado energético mundial, junto a ciertos avances científicos sobre esta materia, y las ventajas que manifiesta la producción en masa de tal organismo al no recaer en las dificultades e impedimentos que engloban a los agrocombustibles (ERGAL, 2008) u otras materias de biocarburantes de primera y segunda generación, se vuelve preciso mencionar que desde el enfoque de este estudio, el aceite vegetal de tercera generación obtenido de las microalgas marinas se encontraría en posibilidades de resolver de manera sostenible la problemática presentada con respecto al Diesel No.2 demandado por el sector de transporte terrestre del Ecuador (Mosquera, A., 2008) bajo una serie de parámetros y condiciones específicas¹⁵.

¹⁴ El aire contiene aproximadamente 0,0383% de CO₂ que puede ser inyectado al agua por métodos convencionales de bombeo de aire. Los cultivos terrestres normalmente absorben CO₂ en esa proporción por lo que tal captura es insignificante frente a la que representan las algas cultivadas.

¹⁵ Circunstancias y variables que serán determinadas a lo largo de la presente investigación.

Tras haber realizado un contraste de las potenciales soluciones y escenarios tendenciales planteados a nivel estatal, se le atribuye una mayor consistencia al argumento anterior, el cual se revalida al analizar la información estadística del país con respecto a los sectores; transporte terrestre, hidrocarburos, y agropecuario¹⁶, junto a los estudios de factibilidad de proyectos de energías renovables y de impactos ambientales¹⁷, entre otros. Quedando así expuesta tanto la disposición parcial como la necesidad del país para entrar al camino del desarrollo ambientalmente sustentable por el lado de los biocombustibles. De entre los posibles proyectos dirigidos a tal finalidad se evalúa el de biodiesel a partir de aceite de palma que no ha sido oficializado pero que es frecuentemente mencionado en la mayoría de reportes de energías renovables del país a pesar de tener muchas limitantes bajo las condiciones actuales del mercado.

Partiendo del análisis en cuestión, las limitaciones a las que está sujeta dicha propuesta de la utilización de la palma africana como materia de biodiesel van desde aspectos económicos del comercio internacional, hasta dificultades de orden territorial, y tras presentar una breve evaluación, queda expuesta la problemática vinculada a la realidad nacional frente a las soluciones teóricas propuestas por los organismos competentes.

Desde la óptica del comercio exterior, se puede apreciar que de los casi 3,3 millones de barriles de aceite de palma que se producen en promedio en la actualidad con casi 207 mil hectáreas sembradas hasta el 2005, un

¹⁶ Se elaboró una compilación de datos que incluye información oficial publicada por el BCE en sus boletines mensuales: Cifras del Sector Petrolero Ecuatoriano (CSPE), CSPE n° 37 al 48 – Año 2010, III Censo Nacional Agropecuario 2000 (MAGAP, 2002), Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2009 (INEC, 2009), Anuario de Estadísticas de Transporte 2009 (INEC, 2009).

¹⁷ Incluyendo al proyecto Ecopaís, Ergal, Refinería del Pacífico, Puyango-Tumbes, y en especial el informe de la CEPAL y la ONU (2007) para la promoción de los biocombustibles en el Ecuador.

aproximado del 50% resulta como excedente exportable (Figuroa de la Vega, F. A., 2008).

A su vez, con el creciente precio de los aceites vegetales del mercado internacional¹⁸, la exportación de aceite de palma africana se valorizó al final del 2007 en casi 109 millones de dólares en divisas para el país¹⁹.

Uno de los escenarios que plantea el tentativo proyecto de biodiesel de palma para el Ecuador sugiere que ese excedente no se exporte sino que por el contrario sea utilizado en el mercado interno para producir biodiesel (González, M., 2007) especialmente para el sector transporte que consume Diesel No.2, el cual demanda actualmente cerca de 16 millones de barriles anuales, lo que bajo el supuesto de que se realice una mezcla B5²⁰, se convertiría en una demanda de 800 mil barriles anuales de biodiesel que en teoría podría ser cubierta por el excedente de aceite de palma que consiste en 1,65 millones de barriles de aceite crudo, con lo cual incluso existiría un excedente teórico exportable hasta el año 2025 si se mantiene una mezcla del 5% únicamente²¹.

Aquello aparenta ser una oportunidad ineludible para la sinergia de los sectores involucrados, pero no lo es (en conformidad con el análisis realizado), ya que del total del aceite crudo de palma solo su oleína le resulta útil al proceso de biodiesel y considerando que después de los procesos de blanqueado y otros a los que se debe someter dicho aceite, la oleína resulta en cerca de un 50% únicamente (ERGAL, 2008), por lo que el supuesto más cercano a la realidad para éste escenario se replantearía con 820 mil barriles de oleína, lo cual cubriría la demanda proyectada de diesel hasta el 2012 bajo la mezcla del 5%, y posterior a

¹⁸ Evaluado a través de las tendencias de crecimiento del mercado de biodiesel mundial expuesto en los reportes de la Agencia Internacional de Energía, IEA, World Energy Outlook 2008 y 2010.

¹⁹ CORPEI – Boletines PEX – Informativo #11-2008 El Aceite de Palma y sus Mercados.

²⁰ Mezcla de 95% Diesel No.2 y 5% de Biodiesel.

²¹ Según las proyecciones realizadas en el presente estudio con información estadística nacional actualizada.

ese año se necesitaría de una expansión de los cultivos de palma para cubrir la demanda nacional.

El otro escenario que también puede ser revisado brevemente es el de dejar intactas las exportaciones, lo cual se considera un escenario más realista²², y proceder con una expansión de la frontera agrícola con fines energéticos en vez de alimentarios (Figueroa de la Vega, F. A., 2008). Dicha expansión está supuesta a bordear las 183 mil hectáreas bajo el esquema del B5 proyectado hasta el año 2025 para el sector transporte terrestre, y en caso de querer adoptar una mezcla de 80% Diesel No.2 con 20% Biodiesel (B20²³), se estiman 732 mil hectáreas de cultivos perennes de palma africana para satisfacer la creciente demanda del sector transporte terrestre nacional.

Ambos escenarios implican mucho más que las dificultades apreciables a simple vista en el breve análisis realizado, y desafortunadamente, son basados en la propuesta más seria de desarrollo sustentable del sector público en términos de biocombustibles enfocados a reemplazar el uso del Diesel No.2 en el Ecuador; propuesta que estaría por presentarse en los próximos años en conformidad con el Plan de Reactivación del Sector Agrícola 2008-2011 del MAGAP y el plan de Políticas y Estrategias para el Cambio de la Matriz Energética del Ecuador 2008 del MEER.

Es preciso recalcar que teóricamente en caso de optar por el cultivo de algas marinas solo se requeriría para un escenario con mezcla B5, un aproximado de 5.000 hectáreas produciendo a una capacidad de 27 mil L/ha/a (Benemann, J. R., et al., 2002) mientras que si se quisiera abastecer al país con 20% de biodiesel serían necesarias aproximadamente 27 mil hectáreas de cultivos de algas marinas lo cual no es tan siquiera comparable a la expansión en caso de la palma

²² Debido a que en la actualidad la balanza comercial no petrolera se encuentra en déficit y resultaría perjudicial despojarla de dicho rubro por exportaciones de aceite de palma africana.

²³ La mezcla B20 es el límite de las combinaciones de biodiesel que se encuentra en la garantía de servicio de los fabricantes vehículos automotores, cubriendo desde B25 en vehículos "Flex".

africana ya que las microalgas no compiten por tierra fértil (Núñez, B., et al, 2007), ni otros recursos antes mencionados.

Debido a que el cultivo de microalgas no irrumpe en mercado nacional alimenticio con sus productos refinados ni subproductos (Chisti, Y., 2007), este debe ser comparado con las materias para agrocombustibles tradicionales sólo por motivos de contraste para lograr una mayor comprensión de los escenarios.

De esta manera quedan asentadas las bases referenciales y teóricas en las cuales tendrá lugar el desenvolvimiento del presente estudio y no está de más acotar que todo lo antes expuesto y lo que será desarrollado posteriormente a lo largo de esta investigación se fundamenta en el contexto del marco legal respectivo del Ecuador partiendo por lo dispuesto en el Artículo 1 del Decreto Ejecutivo No.2332 publicado en el Registro Oficial No.482, el 15 de diciembre de 2004, en el cual se expone lo siguiente: “Declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de los biocombustibles como componente en la formulación de los combustibles que se consumen en el país.”.

Otro importante recurso jurídico para ésta investigación es aquel en el que se establece que: “En la producción de combustibles... la calidad podrá ser mejorada mediante la incorporación de aditivos en refinerías y/o terminales. Se preferirá y fomentará el uso de aditivos oxigenados tal como el etanol anhidro a partir de materia prima renovable.”²⁴.

Finalmente, se hace énfasis en una producción de biodiesel de microalgas marinas que cumple con los estándares de calidad nacionales como las NTE INEN 1489 Y 2482, y los estándares internacionales propuestos por el Worldwide Fuel Charter en su 4ta Edición y en su “Biodiesel Guidelines” 1era Edición. (Anexos #1 y 2).

²⁴ Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (D.E: 1215): El Art. No. 67.

DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Aceite Vegetal.-** Sustancia bioquímica conformada por ácidos grasos y glicerina, resultante de la fotosíntesis en algunos organismos vegetales.
- **Agrocombustibles.-** Sustancias sólidas, líquidas, o gaseosas portadoras de energía provenientes de cultivos agrícolas orgánicos.
- **Aguas Residuales.-** Fase del agua en la que ésta se encuentra habitada por residuos ya sean orgánicos o inorgánicos en proceso de deterioro.
- **B5 - B100.-** Combinaciones entre Diesel fósil y Biodiesel, donde B es el indicador de Biodiesel y la numeración es la proporción porcentual.
- **Biocombustibles.-** Agentes energéticos cuya interacción con factores de ignición dan lugar a una manifestación de energía, estos provienen de fuentes orgánicas o biológicas.
- **Biocombustibles de 1era Generación.-** Combustibles provenientes de materiales o fuentes primarias generalmente renovables, tales como la radiación solar, la fuerza del viento, entre otros.
- **Biocombustibles de 2da Generación.-** Su cualidad principal es reutilizar materias o fuentes de primera generación para crear energía, como aceites usados, residuos de madera (celulosa), entre otros. Los cultivos que no compiten en el mercado alimenticio entran también en esta categoría. (Piñón, higuera, etc.)
- **Biocombustibles de 3era Generación.-** Estos combustibles se originan de materias y fuentes que no intervienen con el mercado alimenticio y cuyos rendimientos son mucho más altos que los cultivos de 2da generación. (Algas y Microalgas marinas)
- **Biodiesel.-** Es el resultado de la transformación de aceites o grasas vegetales o animales sometidas a un proceso en el cual se los adapta hasta conseguir características similares a las del diesel fósil de tal forma que se los puede combinar. Proviene por lo general de fuentes o materias renovables.

- **Bioetanol.-** Resulta del procesamiento de un alcohol especial de muy alta concentración (etanol) para disponerlo de forma directa o combinada en forma de combustible.
- **Calentamiento Global.-** Condición climatológica que afecta la temperatura general del planeta a tal punto que genera anomalías en las propiedades que están vinculadas al ambiente. Se lo conoce también como efecto invernadero por su propiedad de retener la temperatura proveniente de la radiación solar de una forma poco ordinaria al ser reflejada de vuelta a la tierra mientras intenta salir de ella.
- **Cambio Climático.-** Se conoce así a los cambios o distorsiones del clima que se le atribuyen al calentamiento global.
- **Contaminación.-** Interacción de elementos que resultan nocivos sobre otros. Como un derrame de petróleo sobre la tierra fértil, o la emisión de gases tóxicos.
- **Contenido Oleaginoso.-** Participación que tienen las sustancias grasas o aceitosas en un determinado elemento. Cuanto aceite tiene una materia.
- **Crecimiento Sustentable.-** Incrementos sostenidos a lo largo del tiempo sobre los niveles generales de indicadores de eficiencia fundamentando aquellos resultados en actividades que afectan de la menor forma posible al ecosistema. Por ejemplo el aumento del nivel de riqueza de un país medido a través del PIB tras haber fomentado las exportaciones de biocombustibles.
- **Crudo Verde.-** Se conoce así a la forma primaria de determinados aceites principalmente de origen vegetal que obtienen un tono verde y cuyas características físicas y algunas propiedades son parecidas al crudo de petróleo. Se llegó a llamar así a los aceites vegetales no refinados que eran capaces de ser transportados por los mismos sistemas que el crudo fósil y cuya refinación deriva en productos y subproductos energéticos relevantes.

- **Cultivos Energéticos.-** Son los cultivos que tienen potencial para ser transformados en biocombustibles.
- **Desarrollo Sustentable.-** Aplicación del concepto de sustentabilidad a un determinado ente o a una economía que eventualmente termina mejorando la calidad de vida de los habitantes junto a su nivel de riqueza y todo sin afectar mayormente al ecosistema manteniéndose constante y creciente en el tiempo.
- **Diesel No.2.-** Producto derivado del petróleo que se diferencia del diesel ordinario por una mayor refinación que desemboca en menores niveles de azufre y otros agentes nocivos que limitan su mejor desempeño.
- **Dióxido de Carbono (CO₂).**- Es la unión de dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Y es uno de los gases al cual se le atribuye la capacidad de concentrarse en la atmosfera y causar el efecto invernadero.
- **Emisiones.-** Transferencia de sustancias por lo general gaseosas que se originan de un proceso o una transformación.
- **Energías Renovables.-** Tipos de energía cuyo origen o fuente es considerada como interminable o puede sustituirse y reponerse luego de haberse dispuesto de su uso.
- **Etanol.-** Alcohol generado a partir de procesos químicos o bioquímicos y cuyas propiedades energéticas son similares a los combustibles fósiles.
- **Fotosintéticas.-** Calidad que indica la disposición de capturar energía solar y transformarla para crear materia o energía mediante un proceso llamado fotosíntesis.
- **Frontera Agrícola.-** Conjunto de áreas o territorios que se disponen o están disponibles para la actividad agropecuaria.
- **Gases de Efecto Invernadero (GEI).**- Son aquellos gases que de acuerdo a ciertos estudios son capaces de permanecer en la atmosfera casi en su totalidad sin ser afectados mayormente por los procesos naturales descontaminantes del planeta.

- **Gasolina Extra.-** Derivado de petróleo resultante de la combinación de dos refinados, la gasolina base y la gasolina de alto octano, a lo que usualmente se le agrega otros compuestos químicos para mejorar su desempeño. Se comercializa bajo ese nombre en el mercado ecuatoriano.
- **Generación Eólica.-** Acumulación de energía mediante el aprovechamiento de la energía del viento. Se puede capturar la energía en baterías o aplicarla directamente.
- **Generación Fotovoltaica.-** Acumulación de energía mediante el aprovechamiento de la energía solar por medio de procesos y materiales químicos adaptados a la tecnología respectiva.
- **Generación Hidráulica.-** Acumulación de energía mediante el aprovechamiento de la energía agua.
- **Generación Térmica.-** Generación de energía mediante el uso de la combustión y generación de energía calórica que genera una fuerza que luego es transformada en energía acumulable.
- **Insumos.-** Productos, elementos, o condiciones cuya participación sobre otros es complementaria y en ciertos casos hasta indispensable.
- **Interconexión.-** Conexión de sistemas integrados de energía entre dos o más fuentes, se conoce así a la importación de energía eléctrica entre países fronterizos.
- **Matriz Energética.-** Es el instrumento donde se evalúa la interacción de la oferta y demanda de todo tipo de energías que manipula un organismo, el cual para efectos investigativos es un país o estado. Sirve para analizar las variables nacionales y su relación con las fuentes y materias energéticas.
- **Microalgas.-** Organismos unicelulares fotosintéticos con propiedades auto reproductivas y cuya materia está conformada casi en su totalidad por carbono y ácidos grasos. Poseen un radio de reproducción acelerado y su principal fuente de alimentación es la radiación solar y el CO₂.

- **Oleínas.-** Elemento bioquímico que contiene la parte energética de ciertos tipos de aceite, sus propiedades tanto físicas como químicas resultan ser aptas para la transformación o aplicación como biocombustibles.
- **Piñón.-** *Jatropha Curcas* es una planta no alimenticia que proviene de Centroamérica y tiene propiedades autodefensivas ante plagas y bajos requisitos de subsistencia. Produce frutos (semillas) que contienen aceite por lo que resulta en un potencial cultivo energético de segunda generación.
- **Proyecto a Escala Masiva.-** En esta fase el proyecto aborda un amplio alcance donde se optimizaron los rendimientos y los procesos se originan de forma continua para satisfacer grandes demandas.
- **Proyecto a Gran Escala.-** Resulta de la expansión de un proyecto a pequeña escala, generalmente implementando tecnologías industriales, métodos y procesos de mayor alcance. Es una fase previa a la fase de proyecto piloto.
- **Proyecto a Pequeña Escala.-** Es el salto de un proyecto que se encontraba en fase teórica o de laboratorio, a una fase en la que se reproducen las experiencias a escalas promedio.
- **Proyecto ECOPAÍS.-** Proyecto en el cual se implementa el biocombustible bioetanol en la ciudad de Guayaquil a escala piloto con miras de una reproducción de la experiencia a nivel nacional. La mezcla utilizada es de E5, es decir, 5% etanol anhidro con 95% gasolina extra reformulada.
- **Proyecto ERGAL.-** Iniciativa estatal que nace de las necesidades energéticas de las Islas Galápagos, ésta busca terminar con la energía fósil y utilizar energías totalmente renovables y limpias como la energía solar, eólica, y los biocombustibles.
- **Proyecto Piloto.-** Proyecto llevado a una fase tentativamente comercial en la que se tiene una capacidad cercana a la de producción masiva pero se utiliza otra determinada capacidad con fines de adaptación o de observación.

- **Sinergia.**- Interacción armonizada entre determinados elementos.
- **Subproductos.**- Productos secundarios que se derivan de la producción de un elemento transable primario. Tal como el bagazo de caña de azúcar después de extraer su jugo.
- **Subsidio.**- Forma en la que una entidad o estado productor o proveedor, aligera un determinado costo sobre los consumidores re direccionando sus propios recursos para cumplir con tal finalidad. Bajo esta figura el estado absorbe parte del costo total del bien o servicio.
- **Sustentabilidad ambiental.**- Conceptualización de acciones, omisiones o conjuntos de las mismas, que causan el menor impacto negativo posible sobre el ecosistema y que se dirigen de forma consistente a una armonía entre desarrollo, crecimiento, y preservación de recursos y otras condiciones naturales. Se refiere a una optimización en la que se busca no afectar negativamente a las variables implicadas. Se la llama también sostenibilidad ambiental.
- **Tierras Marginales.**- Extensiones de tierra que se encuentran desatendidas y eventualmente ubicadas en zonas alejadas de la interacción humana.
- **Transesterificación.**- Proceso químico usado para modificar las propiedades fisicoquímicas de los aceites o grasas mediante la aplicación de alcoholes y catalizadores, que por lo general resulta en la separación de las glicerinas e impurezas del aceite y en la disminución de su viscosidad, dando como resultado un éster que dependiendo del alcohol puede ser metil (metanol) o etil (etanol).
- **Viscosidad.**- Propiedad físico-química que determina la consistencia de un determinado elemento.

FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La creación, estimación y simulación del modelo económico-energético ambientalmente sustentable de biodiesel de microalgas marinas, definirá los parámetros y escenarios potenciales bajo los cuales resultaría económicamente viable su aplicación a escala nacional en el sector transporte terrestre como reemplazo del diesel No.2.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance del presente estudio se inicia bajo un carácter descriptivo y tanto por su naturaleza como por el enfoque escogido, se combina con los alcances; exploratorio, correlacional, y explicativo a lo largo de la investigación.

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El diseño de este estudio se basa en un enfoque mixto cuantitativo-cualitativo ya que se utilizan variables relacionadas a la biología, microbiología marina, agricultura, microeconomía, y macroeconomía, para la formulación del modelo matemático determinístico, el cual se aplica en los diferentes escenarios planteados para el país.

Se realizan proyecciones, supuestos, se manejan parámetros empíricos y teóricos, se evalúan resultados propios y de otras fuentes, se estudian los casos, y se emiten resultados. Finalmente se incluye una encuesta y varias entrevistas para determinar los niveles de aceptación y estado actual de los biocombustibles en el Ecuador, siendo éstas las principales variables de naturaleza cualitativa que complementan la investigación.

NOVEDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Puede considerarse que, a la fecha, ésta es una de las primeras investigaciones sobre biodiesel de algas marinas que se haya realizado con fines científicos y académicos basada en el Ecuador.

VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Se expone la viabilidad del estudio sólo bajo una serie de supuestos y estimaciones.

METODOLOGÍA: IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES E INDICADORES

VARIABLES CUANTITATIVAS

Símbolo	Nombre de las variables e indicadores*	Descripción	Unidad de medida
S_d	Radiación solar diaria	Variable climatológica, cantidad de irradiación solar sobre las coordenadas.	Wh/m ²
α	Coefficiente de RFA	Porcentaje de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) contenida en la irradiación solar.	0≤1
β	Coefficiente de reflexión	Porcentaje de la irradiación solar que se refleja en la superficie de la suspensión.	0≤1
I_0	Irradiación de RFA	RFA disponible parcialmente para ser usada por el cultivo.	Wh/m ²
ϵ	Coefficiente de extinción	Intensidad con la que las células absorben la radiación solar.	g/l/m
X	Concentración de alga en el cultivo	Densidad volumétrica de biomasa en la suspensión.	g/l
h	Profundidad del cultivo	Distancia desde la superficie al fondo del cultivo.	m
IF	Intensidad de Irradiación total	Irradiación Total de RFA disponible al entrar en contacto con el cultivo.	Wh/m ²

E_L	Energía de activación Fotosíntesis en luz	Punto de energía al que se activa la fotosíntesis del alga en luz.	J/mol
R	Constante de gas	Constante universal del gas.	J/mol K
t_A	Cultivo a 20 °C	Temperatura del cultivo fijada en 20 °C para efecto de la ecuación.	°C
t_{CD}	Temperatura del cultivo en luz	Temperatura a la que se encuentra el cultivo durante el periodo de luz.	°C
K_{tA}	Valor de K bajo t_A	Valor de K cuando $t=20$ °C.	Wh/m ²
T_{CD}	Temperatura absoluta del cultivo	Temperatura ambiental del cultivo tras convertir °C a K.	K
θ	Convertidor de temperatura bajo t_A	Convierte 20 °C a K.	K
K_l	Constante de saturación de luz	Valor energético que marca el punto en el que las microalgas obtienen su crecimiento.	Wh/m ²
σ	Coefficiente de máxima eficiencia fotosintética	Tasa de eficiencia máxima de las algas al realizar fotosíntesis.	$0 \leq 1$
Q	Contenido de energía libre	Cantidad específica de energía libre en las células de las algas.	Wh/g _{alga}
μ_{max}/ϵ	Tasa máxima de crecimiento/Coeficiente de extinción	Coeficiente obtenido por reemplazo de Simmer.	$0 \leq 1$
L_D	Duración del periodo de luz	Tiempo en el que se manifiesta la radiación solar por día.	horas (h)
PPL	Producción neta por Periodo de Luz	Valor que muestra el rendimiento del cultivo sometido a la irradiación solar por un determinado periodo.	g/m ² /d
L_N	Duración del periodo de oscuridad	Diferencia de tiempo entre periodo de luz y las 24 horas/día.	horas (h)
E_O	Energía activación celular en la oscuridad	Punto de energía al que se activa la respiración del alga en oscuridad.	J/mol

t_B	Cultivo a 20 °C	Temperatura del cultivo fijada en 20 °C para efecto de la ecuación.	°C
t_{CN}	Temperatura del cultivo sin luz	Temperatura a la que se encuentra el cultivo sin luz.	°C
λ_{tB}	Valor de λ bajo temperatura t_B	Valor de λ cuando $t=20$ °C.	horas (h)
T_{CN}	Temperatura absoluta del cultivo en oscuridad	Temperatura ambiental del cultivo tras convertir °C a K.	K
λ	Tasa de respiración en periodo oscuro	Tasa específica de respiración celular de las algas durante el periodo oscuro L_N.	$0 \leq 1$
PRO	Pérdida por Respiración Oscura	Pérdidas de materia seca a causa del periodo oscuro, por respiración celular de las algas.	$g/m^2/d$
larg	Largo del cultivo	Superficie cultivada medida a lo largo.	m
anch	Ancho del cultivo	Superficie cultivada medida a lo ancho.	m
A	Área superficial del cultivo	Perímetro del cultivo (largo x ancho).	m^2
V_s	Volumen de suspensión	Volumen de suspensión nutritiva en la unidad de cultivo.	litros (l)
X_{pr}	Concentración promedio alga en L_N	Promedio de concentración de algas en suspensión durante periodo oscuro (materia seca).	g/l
SP24	Productividad del alga en 24h (1 día)	Productividad del alga en el periodo completo de luz y de oscuridad.	$g/m^2/d$

*Se presentan los indicadores principales en letras más oscuras.

VARIABLES CUALITATIVAS

<u>Abreviación</u>	<u>Nombre de los indicadores</u>	<u>Descripción</u>
NA	Nivel de aceptación	Nivel de aceptación que tendría en biodiesel en la muestra seleccionada.

POBLACION Y MUESTRA

Se conoce que hasta el año 2009 se registraron en el país un total de 905.641 vehículos motorizados debidamente matriculados, de los cuales 100.827 (11,13%) utilizan Diesel No.2 como combustible²⁵, por lo que tal cifra se convierte en la población de interés para obtener un nivel de aceptación del biodiesel en el Ecuador (NA) propuesto como variable cualitativa. Como dato referencial para la toma de muestras se conoce que las mayores concentraciones de vehículos a diesel se dan en la provincia del Guayas con 25.549 vehículos (25,34%), y en Pichincha con 18.349 vehículos (18,20%), siendo ambas las más representativas de sus respectivas regiones²⁶ y cuyos niveles de consumo de diesel son del 34 y 8,2%²⁷ respectivamente.

Para definir el tamaño de la muestra (n) sobre la población de 100.827 vehículos diesel (N) se utilizará la siguiente fórmula para muestras aleatorias simples (MAS) en la que se asume una misma probabilidad de ocurrencia del fenómeno observado, es decir 50% probabilidad de acierto (p) y 50% probabilidad de fracaso (q) (Hernández Sampieri, R., et al., 2006):

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{\left((E^2 * (N - 1)) + (Z^2 * p * q) \right)}$$

Para el presente caso se considera un 95% de confianza que implica un 5% de error (E) y un valor de las observaciones de 1,96 (Z) bajo una distribución normal, con lo que se obtiene un valor redondeado de 383 muestras, con lo que se decide realizar 400 encuestas para disminuir el margen de error.

²⁵ Basado en Información obtenida del Anuario de Estadísticas de Transporte 2009 publicado por el INEC.

²⁶ Región costa y región sierra respectivamente.

²⁷ Ibíd.

MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

ENTREVISTAS

Como complemento de la parte cualitativa del presente estudio Se realizó una entrevista discursiva con la finalidad de obtener una idea actualizada sobre la condición de los biocombustibles en el Ecuador.

El entrevistado fue el Dr. Alfredo Barriga R., profesor principal de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) y director del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ubicado en la ciudad de Guayaquil.

La entrevista se centró en preguntas de opinión sobre la existencia y ejecución de proyectos de investigación relacionados al biodiesel y sobre su opinión en cuanto a la percepción del sector público con respecto al biodiesel de materias de tercera generación como las microalgas marinas.

ENCUESTAS

Se realizaron encuestas de carácter cerrado, para medir la aceptación que tendría el biodiesel en el sector de transporte terrestre nacional.

La cantidad de encuestas realizadas fue de 400²⁸, e implican un 95% de confiabilidad de los resultados obtenidos.

El diseño de la encuesta utilizada se encuentra en el *Anexo #3* y fue realizada en la ciudad de Guayaquil únicamente.

²⁸ Determinadas por medio de la metodología explicada anteriormente.

SELECCIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA PROCESAR DATOS

Para la encuesta se elaboran las tablas estadísticas y se presentan de manera escrita, tabular, y gráfica, basándose en diversas agrupaciones de las variables.

Para las entrevistas se vincula la información obtenida al texto principal mediante citas de autor.

RESULTADOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN

- Se expondrá la situación actual de los sectores involucrados y se realizarán proyecciones para estimar la posible situación futura de las variables implícitas.
- Se mostrará una clara diferenciación de los rendimientos de las materias utilizadas como fuentes para biodiesel en el país frente a los potenciales rendimientos del biodiesel de microalgas marinas propuesto.
- Quedarán definidas las variables y un modelo de productividad de cultivo de algas marinas aplicado a un escenario predefinido para el país.
- Serán expuestos los análisis ambientales y económicos de la aplicación del modelo matemático elaborado y de los escenarios planteados en la investigación.

CAPÍTULO I. SITUACIÓN HIDROCARBURIFERA Y BIOENERGÉTICA DEL ECUADOR

Con el propósito de resaltar la problemática en cuestión, se analizan de manera más profunda los sectores que están directamente involucrados y se realizan los pronósticos respectivos para cada uno.

1.1. Estado situacional del sector petrolero nacional

La forma en la que se desenvuelve la actividad hidrocarburífera del país se convierte en uno de los ejes temáticos de mayor interés para el desarrollo del presente estudio ya que la sinergia entre los biocombustibles y los combustibles fósiles depende de un balance apropiado en el desempeño actual y futuro de ambos, por lo que es necesario realizar un breve análisis para monitorear tanto la situación actual como la proyectada. Para dicho fin se utilizan métodos econométricos aplicados, y en base a los resultados se define a este sector como una plataforma base de larga duración sobre la cual se asentarán los pilares del desarrollo económico ambientalmente sustentable propuesto a través de la investigación.

1.1.1. Situación actual

1.1.1.1. Producción Nacional de Petróleo

Se conoce que las actividades petroleras del país tuvieron inicio oficialmente en la península de Santa Elena cerca del año 1878, y que desde aquel entonces tanto individuos como empresas en su mayoría extranjeras, se dedicaron a la explotación intensiva de hidrocarburos mediante concesiones otorgadas por los gobiernos de turno (Leguizamo, F. M., 2007).

A partir de ese momento la historia petrolera ecuatoriana ha compilado muchos sucesos de gran importancia para el país que en la actualidad pueden verse reflejados principalmente en forma de rendimientos productivos los cuales en los últimos diez años han significado un gran aporte al arca fiscal nacional y por ende al crecimiento económico del país.

Dichos niveles de producción de hidrocarburos crudos se encuentran actualmente dentro de un rango de dispersión que por sí solo muestra comportamientos aleatorios, pero que bajo el respectivo análisis de regresión logra exponer una línea de tendencia (*Gráfico #9*) que servirá para evaluar las condiciones del sector desde el punto de vista de la fase de explotación de petróleo crudo.

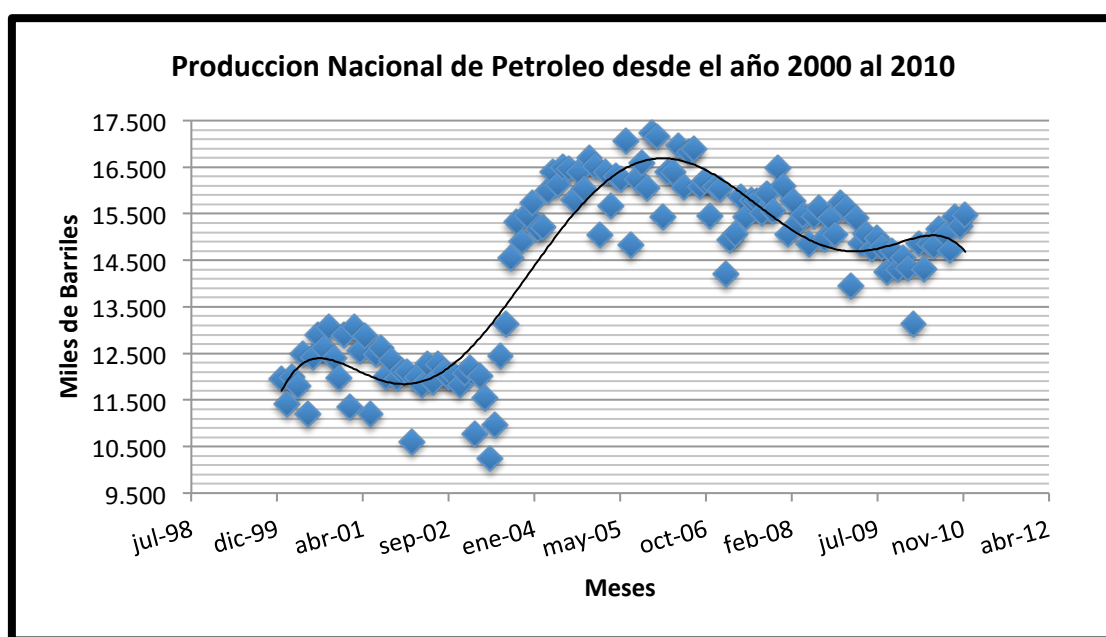


Gráfico #9: Comportamiento de la producción nacional de petróleo desde el año 2000 al 2010.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

El análisis escogido para crear un modelo de ajuste de los datos con el fin de graficar la línea de tendencia fue el de regresión polinómica de sexto grado, que para este caso no plantea una relación causa-efecto entre las variables sino que expone los comportamientos de los datos analizados.

Adicionalmente este tipo de regresión no presenta problemas de estimación relacionados a la naturaleza de los datos utilizados (Gujarati, 2004).

Este análisis permite mostrar de forma gráfica una línea de tendencia que expone el comportamiento de los datos en forma más precisa dentro del periodo dado y resulta apropiada para explicar éste fenómeno en términos actuales, más no permite predecir sus valores proyectados.

Cabe señalar que el coeficiente de correlación R^2 obtenido al aplicar la función mencionada en el software Microsoft Excel, es de 0,82, con lo que se aprecia un nivel medio-alto de confiabilidad del modelo y del gráfico obtenido desde el punto de vista matemático, y a su vez hace hincapié en la incapacidad del modelo para realizar proyecciones sobre el caso.

Lo que se consiguió con la modelación está plasmado en el *Gráfico #9* en el que se observa claramente que para explicar los comportamientos de la curva se deben someter a un seguimiento causal en los periodos; 2002 al 2005 donde existió una tendencia incremental muy pronunciada, en el periodo 2006 al 2008 donde se aprecia una vertiginosa caída de los niveles, y en el 2008 al 2010 donde se observa una aparente estabilidad de la producción petrolera en la actualidad.

En términos generales, los comportamientos positivos se le pueden atribuir a varios factores como la creación de nueva infraestructura petrolera, la asignación de nuevas concesiones, y el descubrimiento de nuevos yacimientos, entre otros. Por otra parte, las tendencias negativas se le pueden atribuir principalmente a los cambios en el marco legal que regula la actividad petrolera y a causas naturales del proceso de explotación como lo son; los mantenimientos de la infraestructura, el agotamiento de los pozos, la finalización de las concesiones, entre otros (Leguízamo, F. M., 2007).

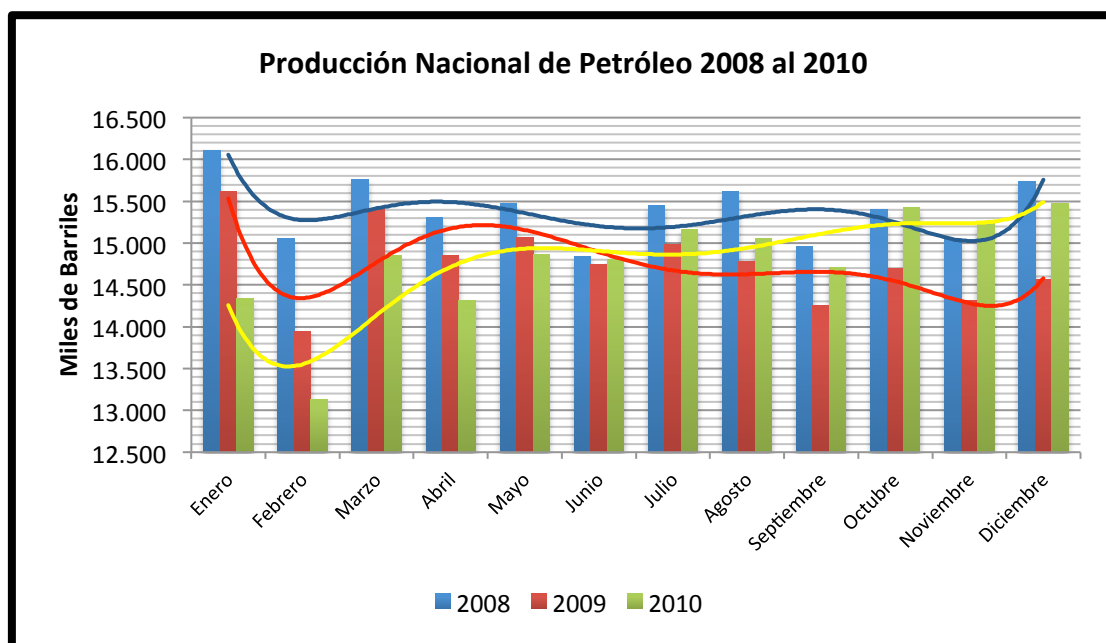


Gráfico #10: Comportamiento mensual de la producción nacional de petróleo desde el año 2008 al 2010.
Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2008 al 2010. Elaboración: Autor.

Por su parte el análisis de causas para el periodo 2008 a 2010 muestra que los cambios en la política petrolera del Ecuador durante esos últimos 3 años han afectado mayormente los rendimientos marginales mas no los ciclos productivos en su totalidad (*Gráfico #10*), de tal forma que la producción en dicho periodo alcanza una aparente estabilidad y puede ser promediada²⁹ para crear un rango de producción mensual confiable con fines investigativos (*Tabla #1*) que sirve de referencia para conocer hasta qué punto la explotación petrolera del Ecuador se encuentra recuperada y estable al finalizar la primera década del siglo XXI.

	2008	2009	2010	Promedios
	Cifras en Miles de Barriles			
Mensual	15.395	14.769	14.781	14.982
Anual	184.743	177.228	177.374	179.782

Tabla #1: Promedios productivos de la explotación petrolera desde el 2008 al 2010.
Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2008 al 2010. Elaboración: Autor.

²⁹ Posterior al análisis y para efectos de la investigación se decidió realizar un promedio matemático simple para determinar la producción mensual actual y anual.

1.1.1.2. Oferta y Demanda de Diesel No.2.

Como era de esperarse, tanto la producción total de derivados como la oferta total de Diesel No.2, se encuentran correlacionadas a la eficiencia de explotación de crudo (*Gráfico #11*), y a través de los últimos diez años se han manejado dentro de un rango que abarca desde el 25 al 50% en cuanto a refinamiento de derivados en términos generales, y entre el 10 y el 40% en cuanto al refinamiento específico de Diesel No.2 frente al resto de productos refinados del crudo. También es preciso señalar que el análisis de regresión aplicado en el periodo 2004 al 2010 permite ajustar una tendencia de refinamiento del crudo de entre 40 y 50% (*Gráfico #12*) con una aparente predisposición a mantenerse fluctuando entre ese rango de proporciones³⁰. Esto puede ser visto como el efecto de la creciente demanda de derivados en el país, y la optimización de la infraestructura de refinamiento cuya capacidad máxima actualmente bordea los 5,35 millones de barriles mensuales (64,24 millones de barriles anuales).

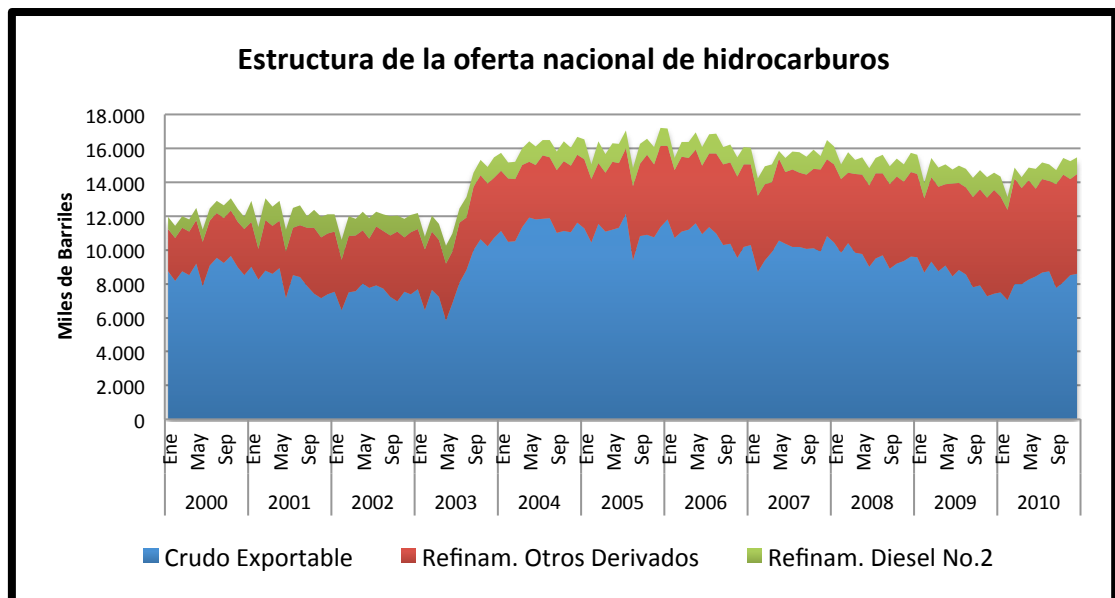


Gráfico #11: Estructura de la oferta nacional de hidrocarburos mensual del 2000 al 2010.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

³⁰ El coeficiente R^2 ajustado de 0,89 le da una confiabilidad alta a la tendencia de estabilidad.

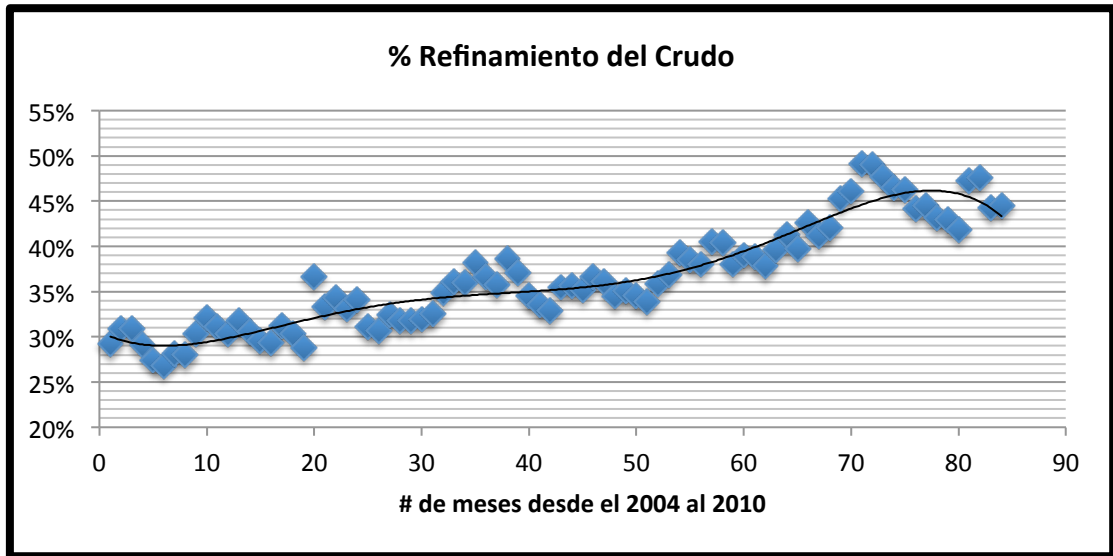


Gráfico #12: Estructura del refinamiento de crudo entre el 2004 y el 2010.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2004 al 2010. Elaboración: Autor.

En cuanto al refinamiento de Diesel No.2 frente a los derivados totales la tendencia ajustada en el mismo periodo 2004-2010 evidencia que a pesar de haberse incrementado el nivel de refinamiento de crudo, la elaboración de Diesel No.2 ha llegado a disminuir hasta encontrarse en un rango entre el 10 y el 20% con una predisposición de estancarse cerca del 15% (Gráfico #13).

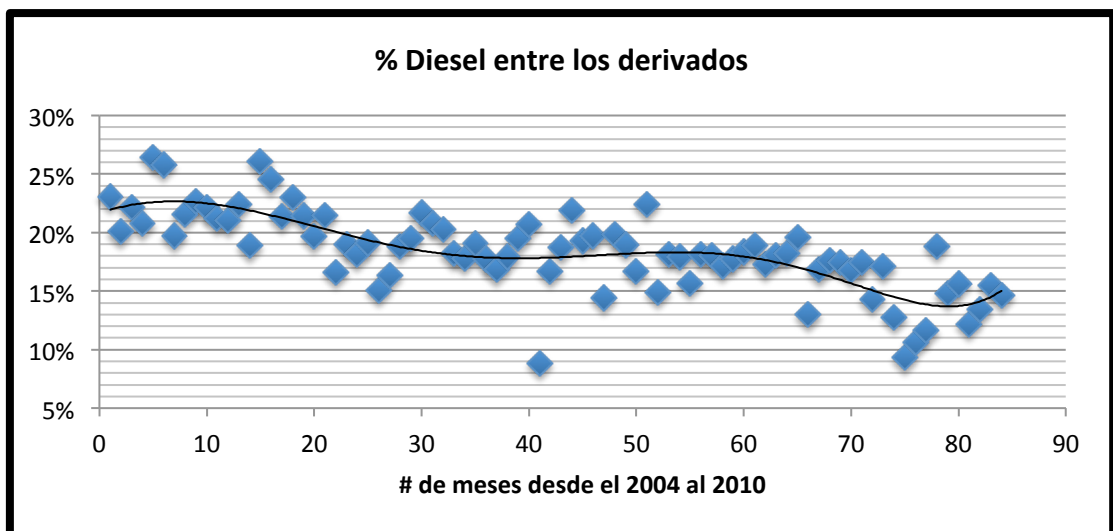


Gráfico #13: Estructura de refinamiento de Diesel No.2 frente al total de derivados producidos.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2004 al 2010. Elaboración: Autor.

El indicador de refinamiento de Diesel No.2 hallado anteriormente explica el comportamiento de la oferta anual (*Gráfico #14*) y resalta el problema de la producción nacional de aquel hidrocarburo que al cierre del año 2010 fue únicamente de 11,1 millones de barriles frente a una demanda aproximada de 30 millones de barriles.

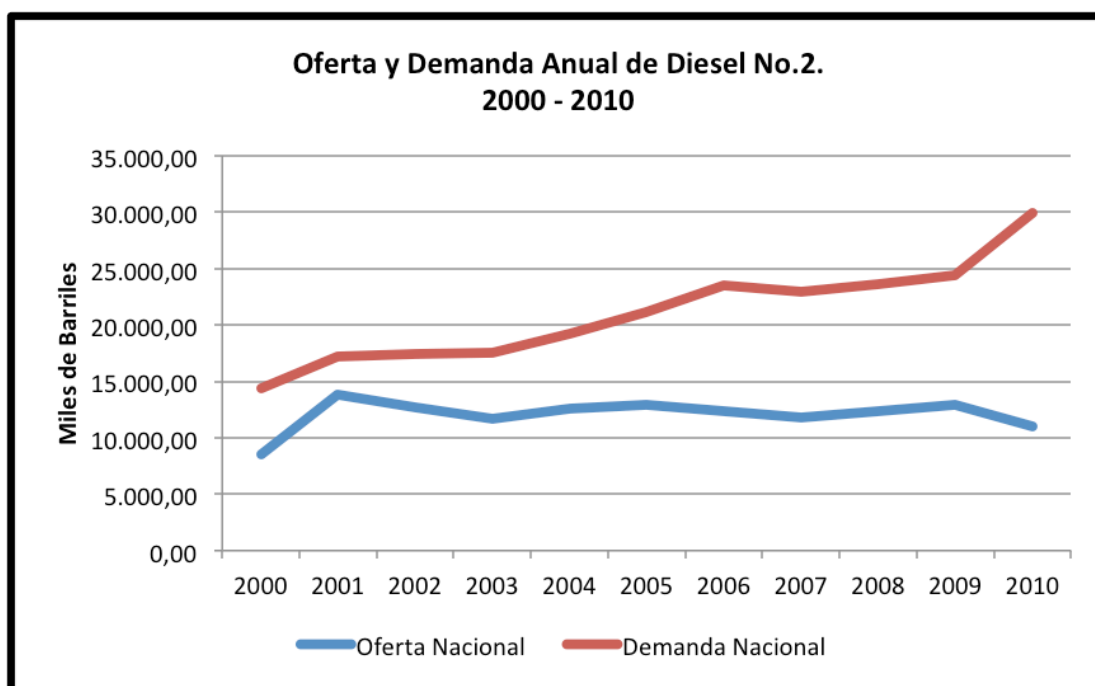


Gráfico #14: Estructura de la oferta nacional de hidrocarburos para el año 2010.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2010. Elaboración: Autor.

En conformidad con todo lo antes expuesto, la estructura de la oferta y demanda de Diesel No.2 en el Ecuador se ha visto forzada a integrar un componente externo durante más de diez años, dicho componente es la importación de Diesel No.2 que consiste básicamente en la diferencia entre la demanda de aquel derivado y la producción nacional del mismo (*Gráfico #15*). También se conoce que los costos de suplir dicho déficit usualmente son mucho mayores a los rubros obtenidos a partir de la comercialización del derivado en el mercado interno, y que por lo tanto las políticas estatales de subsidio le representan al país millonarias pérdidas anualmente (*Tabla #2*).

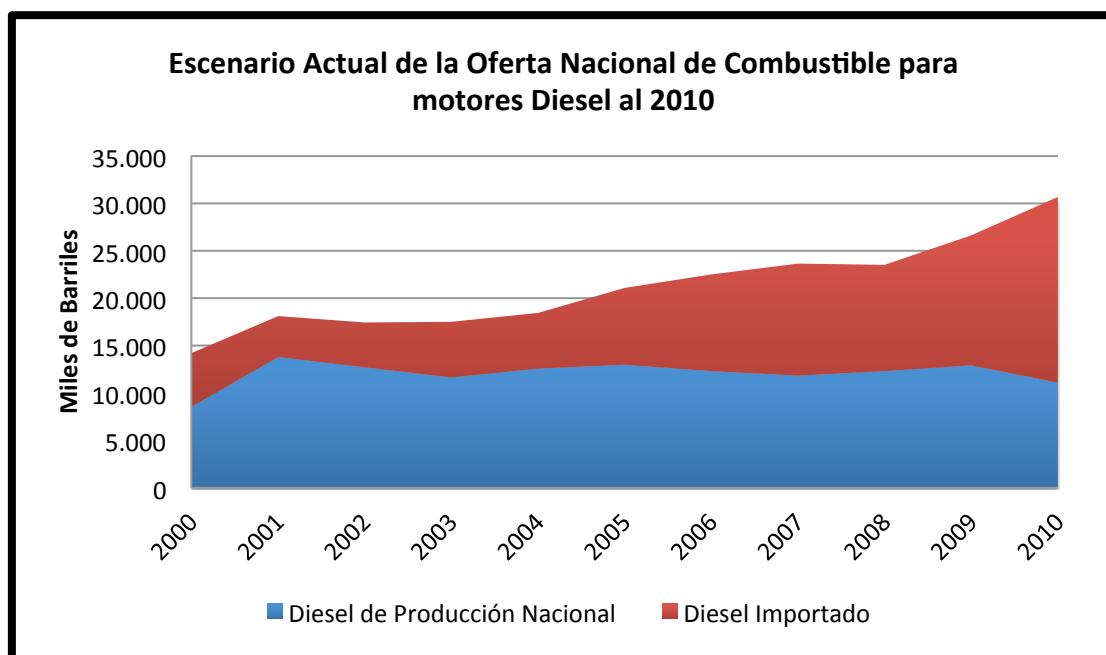


Gráfico #15: Escenario Actual de la Oferta Nacional de Combustible para motores Diesel al 2010.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

Se resume la condición actual del Diesel No.2 en términos económicos y de volumen para confirmar que existe una gran falta de autoabastecimiento.

	Volumen de Diesel No.2. Importado (Miles de Barriles)	Pérdida por Comercialización de Diesel No.2. Importado (USD\$)
2000	2.649	71.609.427
2001	3.204	85.632.748
2002	3.875	102.394.131
2003	4.687	122.435.860
2004	5.672	146.460.469
2005	6.861	175.139.319
2006	8.299	209.417.237
2007	11.844	288.429.200
2008	11.159	418.565.200
2009	13.706	231.131.700
2010	19.620	548.623.400
TOTAL	91.582	2.399.838.691

Tabla #2: Cuantificación Económica de las importaciones de Diesel No.2 en el periodo 2000-2010.

Fuente: BCE, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

1.1.2. Situación proyectada

Para las proyecciones se plantean ciertos supuestos y se aplican métodos econométricos en base a datos históricos, con lo que se conforman los escenarios base apropiados para la presente investigación.

1.1.2.1. Proyección de la demanda total de Diesel No.2.

- La información actualizada que se usó fue de carácter mensual para todos los años desde el 2000 hasta el 2010.
- El método econométrico aplicado fue el análisis de regresión lineal por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Coef. $R^2=0,97$.
- Los resultados obtenidos fueron comparados con proyecciones hechas por el MEER en el 2008 y por el Ministerio de Recursos Naturales No Renovables (ex Ministerio de Minas y Petróleos) en el 2007 (*Gráfico #16*).
- El contraste ratificó la validez de la proyección elaborada debido a la similitud de las cifras obtenidas más la confiabilidad del coeficiente (97%).

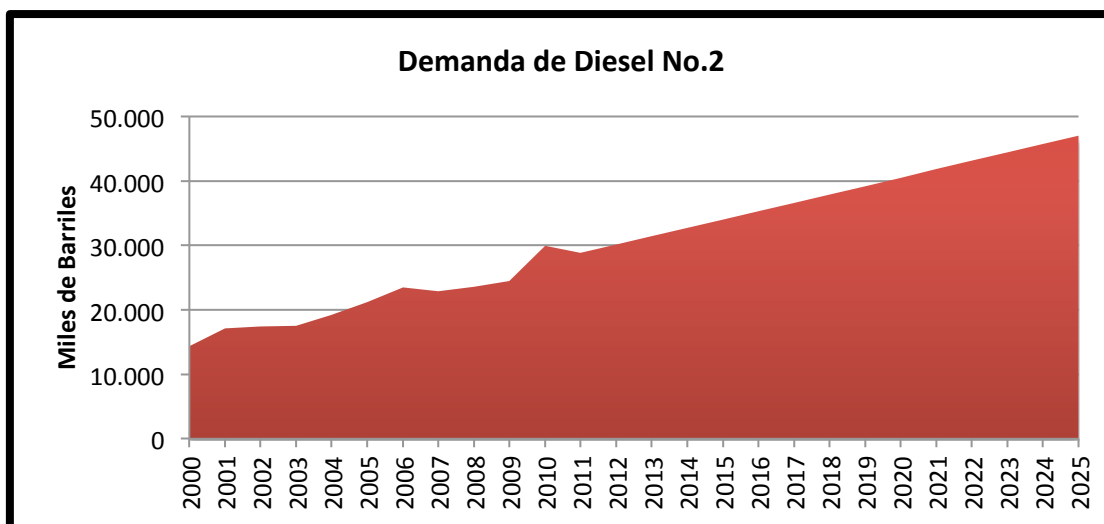


Gráfico #16: Demanda de Diesel No.2 proyectada al año 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

1.1.2.2. Proyección de la oferta total de Diesel No.2.

- La información estadística mensual respectiva fue sometida también al análisis de regresión lineal por MCO para obtener la proyección hasta el año 2015 únicamente. Se somete al coeficiente de la regresión anterior.
- Los resultados hasta el 2015 fueron verificados por la observación de la relación del 21% promedio entre la producción nacional de diesel y la capacidad instalada total de las refinerías (5,35 millones de barriles mensuales aproximadamente) tal como se encontró en el análisis previo.
- A partir del año 2016 se asume el completo funcionamiento de la Refinería del Pacífico al máximo de su capacidad (9,13 millones de barriles mensuales)
- Se asume que las antiguas refinerías continúan funcionando a su capacidad máxima y se les adiciona la capacidad máxima de la RDP para formar un total aproximado de 14,48 millones de barriles mensuales desde el 2016 hasta el 2025.

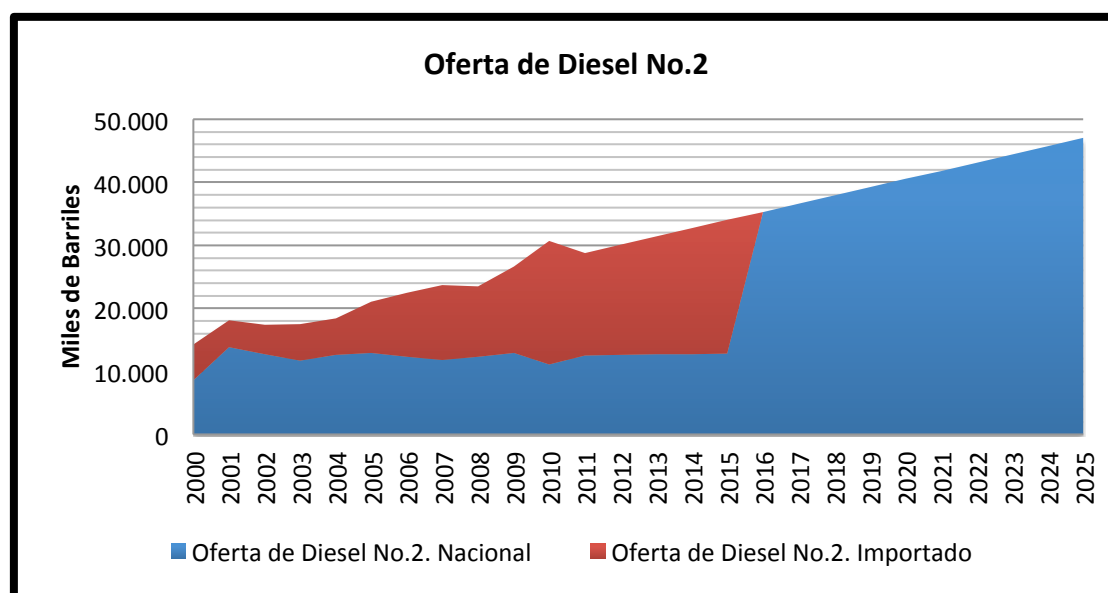


Gráfico #17: Oferta de Diesel No.2 proyectada al año 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

- Las importaciones de diesel desde el año 2011 se calculan como la diferencia entre el consumo total y la producción nacional de dicho derivado.
- Bajo la capacidad supuesta se reducen a cero las importaciones y la producción nacional "base" de diesel pasa a ser igual a la demanda total de dicho hidrocarburo desde el 2016 al 2025.
- Se verifica la regresión junto a la relación promedio de refinamiento del 21% y el coeficiente de correlación R^2 ajustado que fueron utilizados anteriormente ($R^2=0,97$ como el caso de la demanda).
- Las proyecciones resultantes en base a los supuestos previamente descritos se aprecian en el *Gráfico #17* donde la oferta de diesel al 2025, al igual que la demanda, se acerca a los 50 mil barriles anuales.

1.1.2.3. Proyección de la producción nacional de Biodiesel.

Determinación del Escenario Base.

- Se asume que se producirá biodiesel para una mezcla del 5% desde el año 2013 hasta el 2015 como estrategia de penetración del mercado.
- También se considera que los años 2011 y 2012 se utilizan para la instalación y puesta en marcha de los cultivos y la biorrefinería.
- Se mantiene el 5% durante los tres primeros años de funcionamiento debido a que se sujeta a lo estipulado en el Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas con fines de medición y auditorías para la obtención de las licencias respectivas.
- La producción de Biodiesel durante esos 3 años se descuenta de la importación de Diesel No.2. para dicho periodo y se representa en forma de ahorro para el estado.
- Desde el 2016 en adelante se consideran expansiones productivas del 200% por año hasta lograr el 100% del consumo nacional de diesel en el año 2025.

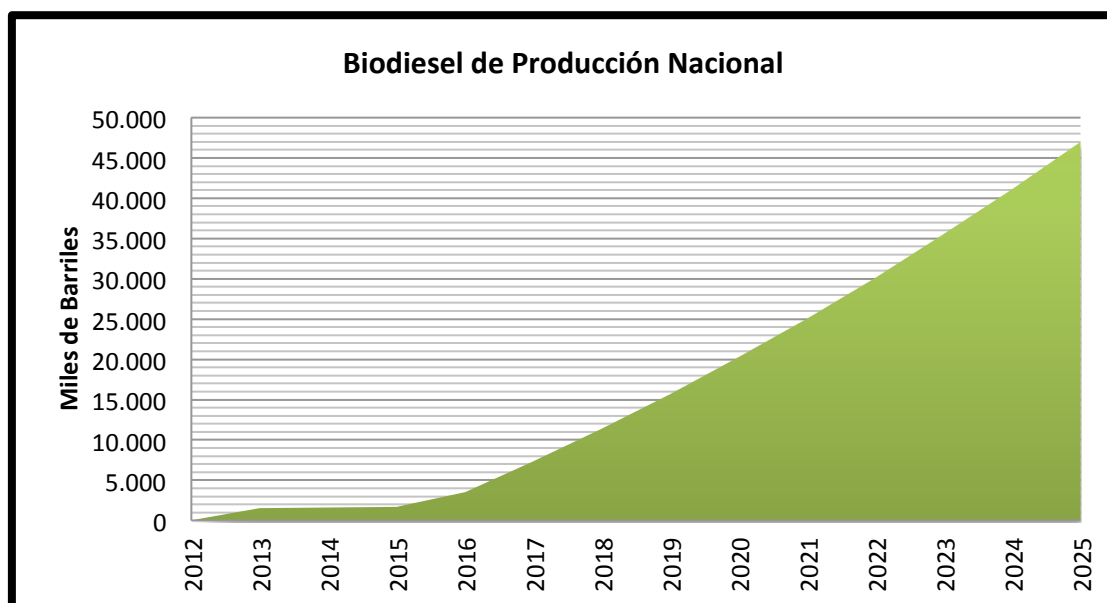


Gráfico #18: Oferta Proyectada de Biodiesel al año 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

- Los motivos de los incrementos se respaldan en una supuesta madurez del proyecto de creación de biodiesel que se haya escogido, suponiendo una adaptación del mercado y el marco legal en el país, también se considera la madurez de las tecnologías, procesos e investigación y todo tipo de desarrollo relacionado al cultivo o materia seleccionada.
- Por tratarse del diseño de un escenario general se asume que la materia escogida para elaborar el biodiesel será la que presente mayores rendimientos y la menor demanda de recursos naturales a largo plazo.
- Partiendo desde el 2016 y hasta el 2025, la producción de biodiesel se descuenta de la producción nacional de diesel.
- La producción de petróleo proyectada y la capacidad instalada de refinamiento permiten asumir que cada unidad producida de biodiesel representa una unidad de Diesel No.2 que se exporta dentro del periodo 2016-2025 (*Gráfico #18*).
- Para la determinación del “escenario base” son considerados todos los supuestos y proyecciones anteriores, *Ceteris Paribus*.

Desde este punto en adelante se utilizará el “Escenario Base” (*Gráfico #19*) de forma integral para la creación de otros escenarios de aplicación y para el desarrollo de la presente investigación.

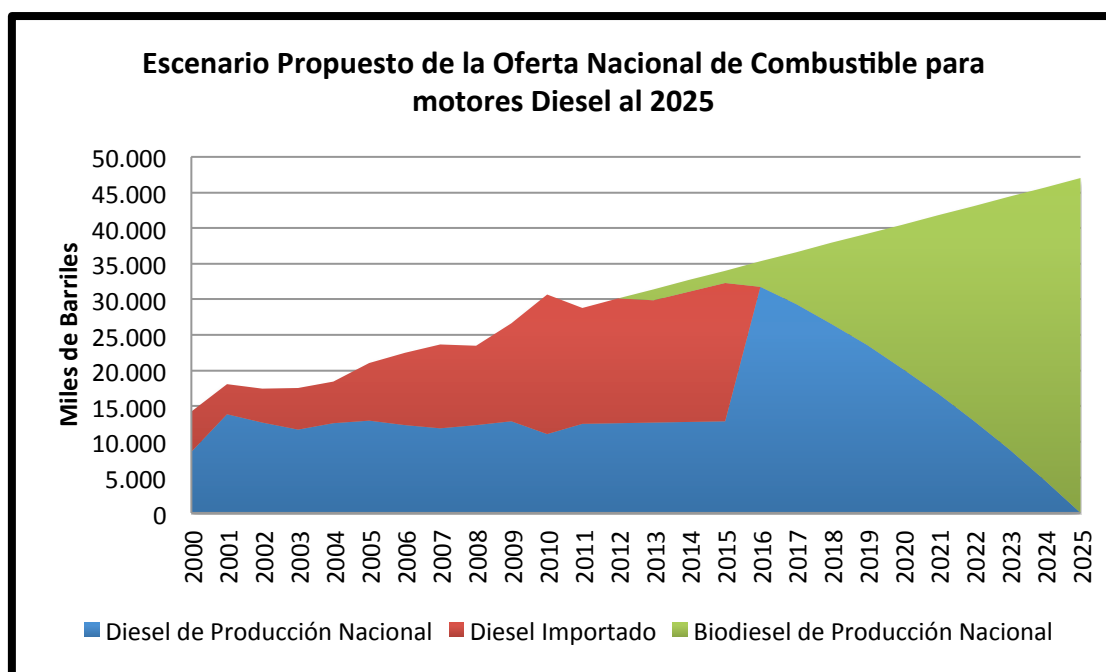


Gráfico #19: Diseño del “Escenario Base” Propuesto como proyección de la Oferta Nacional de Combustible para motores Diesel al año 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

El análisis económico del “escenario base” se realiza en base a las proyecciones de precios presentada en el *Gráfico #20*, y refleja que al final de los 15 años proyectados el país dejaría de gastar en diesel importado y por el contrario se convertiría en exportador de Diesel No.2 en conformidad con los supuestos establecidos, y alcanzará rubros estimados que bordean los 32 mil millones de dólares acumulados al año 2025 (*Tabla #3*).

Los precios proyectados se obtuvieron por medio de una regresión lineal por el método de MCO tanto para los precios de importación como para los precios de comercialización interna (*Gráfico #20*).

Se debe tener en consideración que la predicción o estimación de los precios futuros del petróleo o de sus derivados no es algo que se puede realizar mediante métodos generales simples si el objetivo es maximizar la confiabilidad de los resultados, por lo tanto los pronósticos realizados para el análisis del “escenario base” son únicamente referencias para tener una idea general del impacto económico que tendría la aplicación del modelo planteado.

Con esto se puede decir que la construcción de la Refinería del Pacífico resulta en una gran oportunidad no solo para el desarrollo de los derivados de petróleo en el Ecuador sino también para dinamizar la producción y utilización de biocombustibles como el biodiesel y el bioetanol.

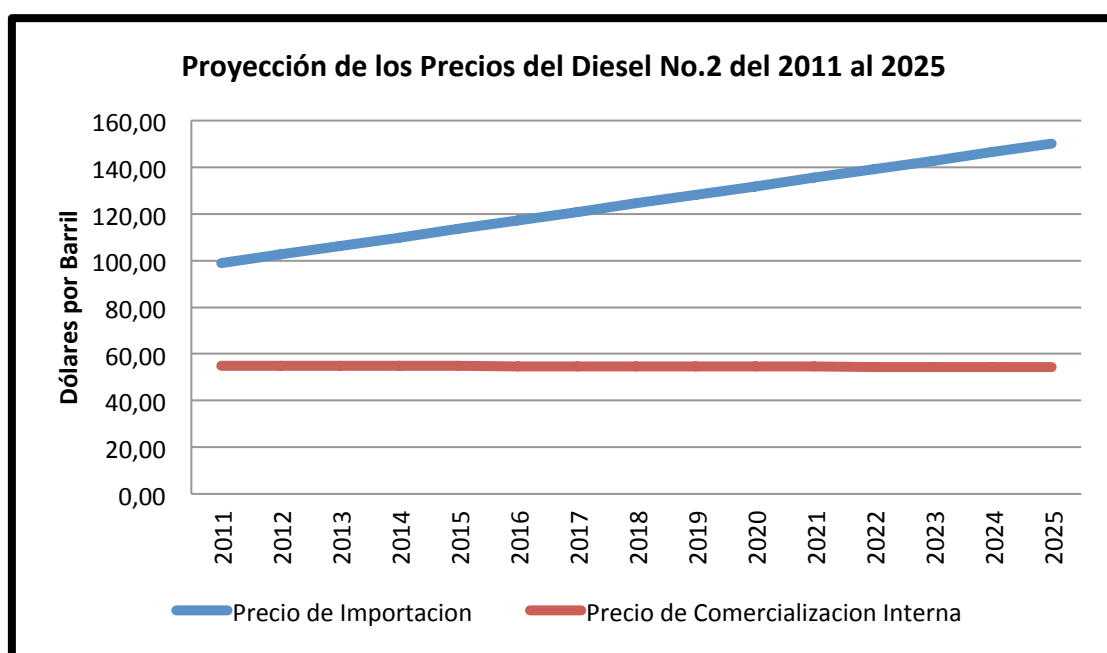


Gráfico #20: Precios de Importación y Comercialización Interna de Diesel No.2 proyectados al 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

	Pérdidas por comercialización de Diesel Importado		Ahorro por No Importar Diesel		Ingresos por Exportación de Diesel		Total
	Volumen (Miles de Barriles)	Valor (Miles USD\$) (a)	Volumen (Miles de Barriles)	Valor (Miles USD\$) (b)	Volumen (Miles de Barriles)	Valor (Miles USD\$) (c)	Valor (Miles USD\$)
2011	16.279	-715.304	-	-	-	-	-715.304
2012	17.502	-833.991	-	-	-	-	-833.991
2013	-	-	1.571	80.665	-	-	80.665
2014	-	-	1.636	90.054	-	-	90.054
2015	-	-	1.701	99.924	-	-	99.924
2016	-	-	-	-	3.531	413.949	413.949
2017	-	-	-	-	7.322	885.142	885.142
2018	-	-	-	-	11.373	1.416.390	1.416.390
2019	-	-	-	-	15.683	2.010.556	2.010.556
2020	-	-	-	-	20.254	2.670.851	2.670.851
2021	-	-	-	-	25.085	3.399.573	3.399.573
2022	-	-	-	-	30.174	4.199.691	4.199.691
2023	-	-	-	-	35.523	5.074.127	5.074.127
2024	-	-	-	-	41.135	6.026.465	6.026.465
2025	-	-	-	-	47.004	7.058.355	7.058.355
TOTAL	33.781	-1.549.295	4.907	270.644	237.085	33.155.099	31.876.448

Tabla #3: Valoración Económica del Escenario Base a Grosso Modo. Periodo 2011 al 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010 y Precios proyectados. Elaboración: Autor.

(a) Se utilizan los precios de importación y de comercialización interna proyectados y un cálculo ordinario de ingresos menos costos.

(b) Se calcula igual que (a) pero de forma invertida. Costos menos ingresos para representar el ahorro.

(c) El supuesto para realizar el cálculo es que se exporta al precio de importación proyectado.

1.2. Estado situacional del sector transporte terrestre

El sector transporte terrestre es otro de los ejes temáticos que está sujeto a un breve análisis situacional. A su vez, esto servirá para determinar un escenario final de aplicación más delimitado en base al diseño general del “escenario base”. El nuevo diseño resultante será considerado como el escenario prioritario para los fines de la presente investigación

1.2.1. Situación actual

La demanda de diesel del sector transporte terrestre ha mantenido en los últimos 10 años un promedio ponderado de 52% anual quedando establecido como el sector de mayor demanda sobre dicho hidrocarburo refinado (*Gráfico #21*). Cabe señalar que ésta característica es principalmente la que convierte al sector en la base para el escenario de aplicación que será detallado más adelante.

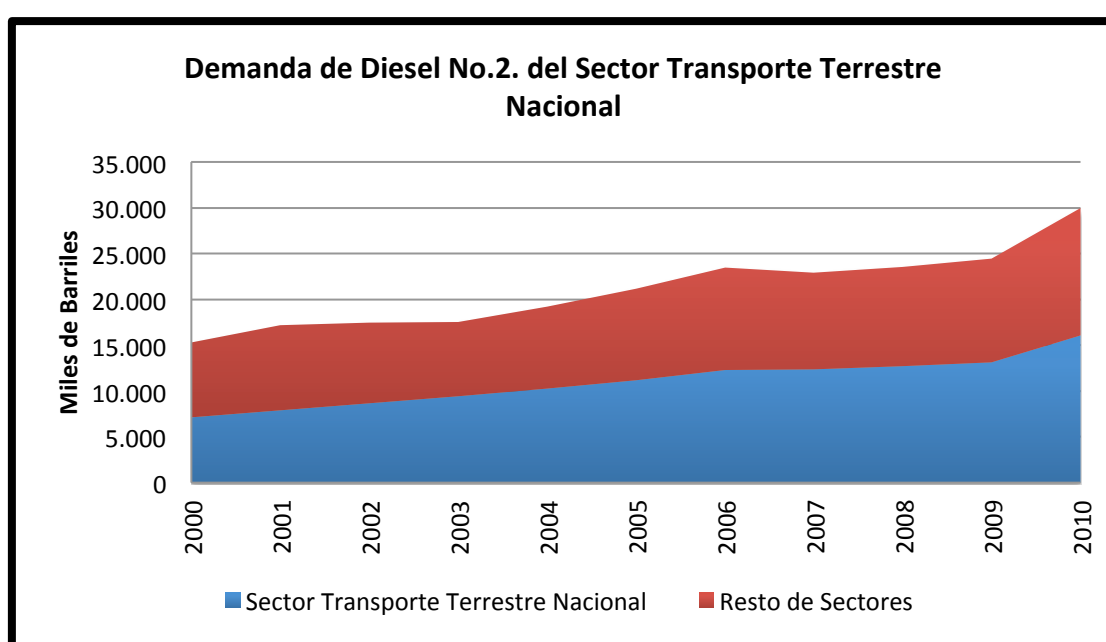


Gráfico #21: Demanda de Diesel No.2 del Sector Transporte Terrestre Nacional. Período 2000 al 2010.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

Otra de las características que posee es un amplio alcance a nivel económico y comercial con respecto a otros sectores, y por lo tanto se considera que cualquier modificación positiva está supuesta a generar efectos colaterales favorables sobre la dinámica energética nacional. En otras palabras, la dependencia al sector transporte terrestre que tienen los demás sectores productivos del Ecuador, implican una coyuntura interesante.

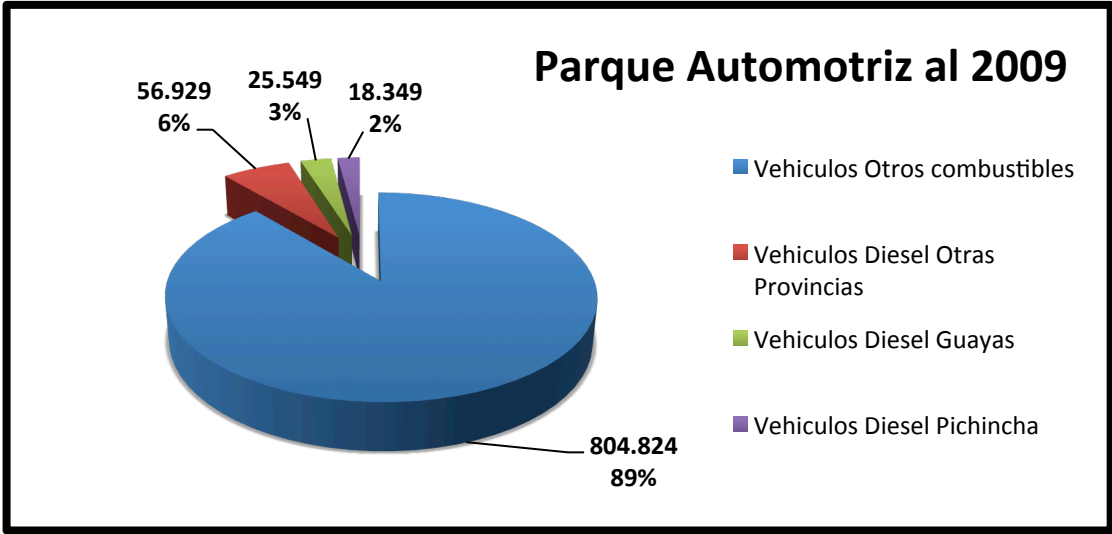


Gráfico #22: Parque Automotriz al cierre del año 2009.

Fuente: INEC. Anuario de Estadísticas de Transporte Año 2009. Elaboración: Autor.

Adicionalmente tras revisar la situación del parque automotriz (Gráfico #22) se vuelve evidente que las mayores concentraciones de vehículos con motor a Diesel se encuentran en las provincias Guayas y Pichincha (Gráfico #23). De tal forma que resulta prudente evaluar con más detenimiento ambas ubicaciones en términos de consumo de Diesel No.2.

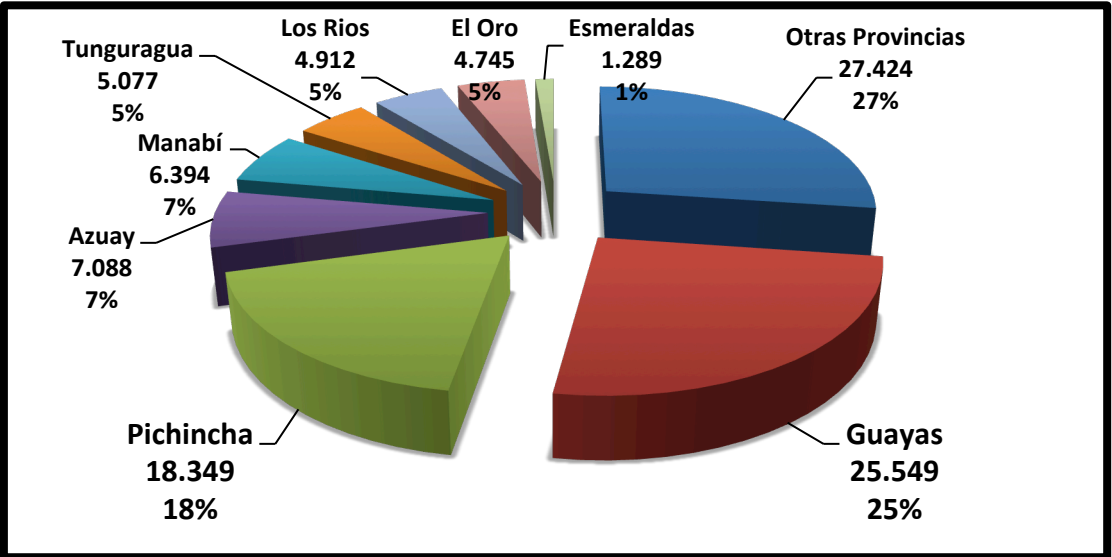


Gráfico #23: Vehículos que consumen Diesel por Provincias para el año 2009.

Fuente: INEC. Anuario de Estadísticas de Transporte Año 2009. Elaboración: Autor.

	# de Vehículos	Demanda de Diesel	Radio de Consumo
Esmeraldas	1.289	341.931	265
Guayas	25.549	4.449.200	174
El Oro	4.745	713.158	150
Manabí	6.394	919.754	144
Los Ríos	4.912	583.727	119
Sto. Domingo de	4.730	452.117	96
Azuay	7.088	441.265	62
Pichincha	18.349	1.077.167	59

Tabla #4: Consumo de Diesel No.2 en el sector transporte ordenado por radio de consumo. Año 2009.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2009.

Elaboración: Autor.

Resulta que a pesar de que Pichincha Comparte el segundo lugar en cuanto a número de vehículos a Diesel posee un radio de consumo relativamente bajo en comparación a otras provincias (Tabla #4), pero de igual forma tiene un nivel de consumo significativo (Gráfico #24) por lo que se lo considera como un mercado potencial para el biodiesel en especial si se lo combina con la provincia de Esmeraldas con la cual hay una cercanía geográfica importante. Guayas por su parte resulta en el mercado más imponente y se descartan las demás provincias para efectos de delimitación de escenarios.

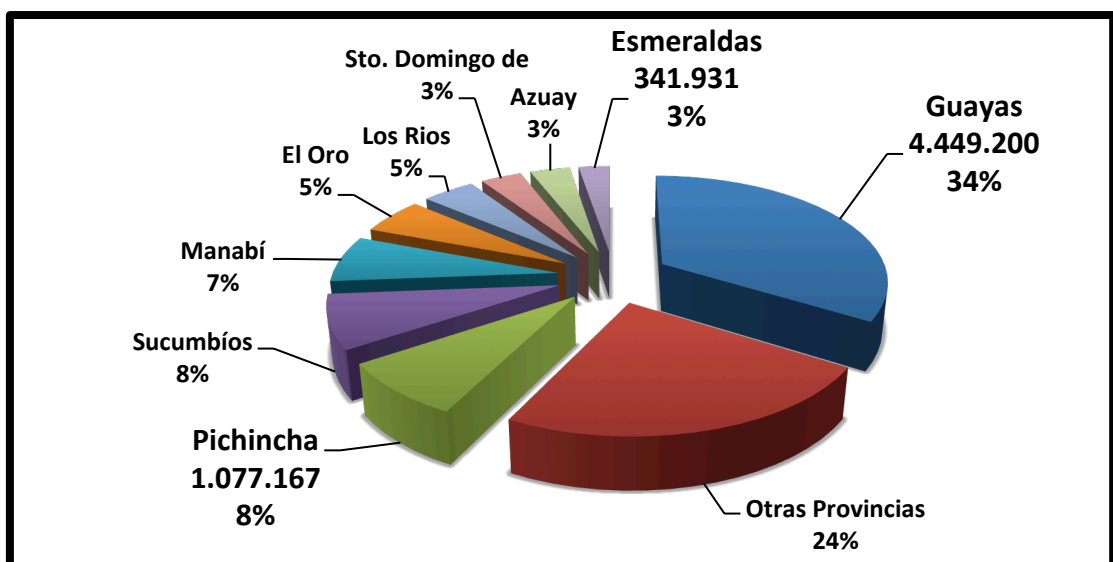


Gráfico #24: Consumo de Diesel en el Sector Transporte Terrestre por Provincias para el año 2009.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2009.

Anuario de Estadísticas de Transporte, 2009. Elaboración: Autor.

1.2.2. Situación proyectada

La proyección de la demanda del sector se realizó por medio de un análisis de regresión lineal por MCO cuyo coeficiente de correlación R^2 resultante fue de 0,99 y adicionalmente refleja un promedio de consumo del 56% similar al promedio del cierre del 2010, de tal forma que se convierte en una estimación teóricamente confiable (*Gráfico #25*). En términos de volumen se estima que para el año 2025 el sector transporte terrestre demandará cerca de 26,5 millones de barriles anuales.

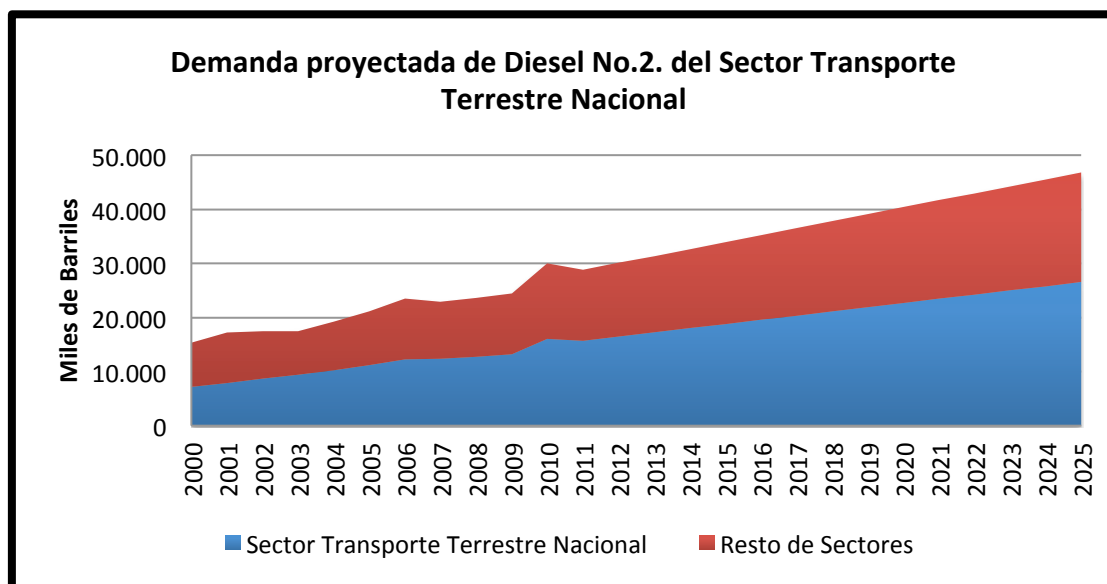


Gráfico #25: Demanda Proyectada de Diesel No.2 del Sector Transporte Terrestre Nacional al 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

Al no haber información específica publicada sobre qué tipo de Diesel No.2 (nacional o importado) consume el sector, se le atribuye una ponderación de 50% a cada uno para realizar la adaptación del escenario base al sector transporte terrestre ecuatoriano. El resto de supuestos se aplican normalmente sobre dicha adaptación para dejar planteado un escenario final ajustado que se llamará “escenario transporte base” (*Gráfico #26*).

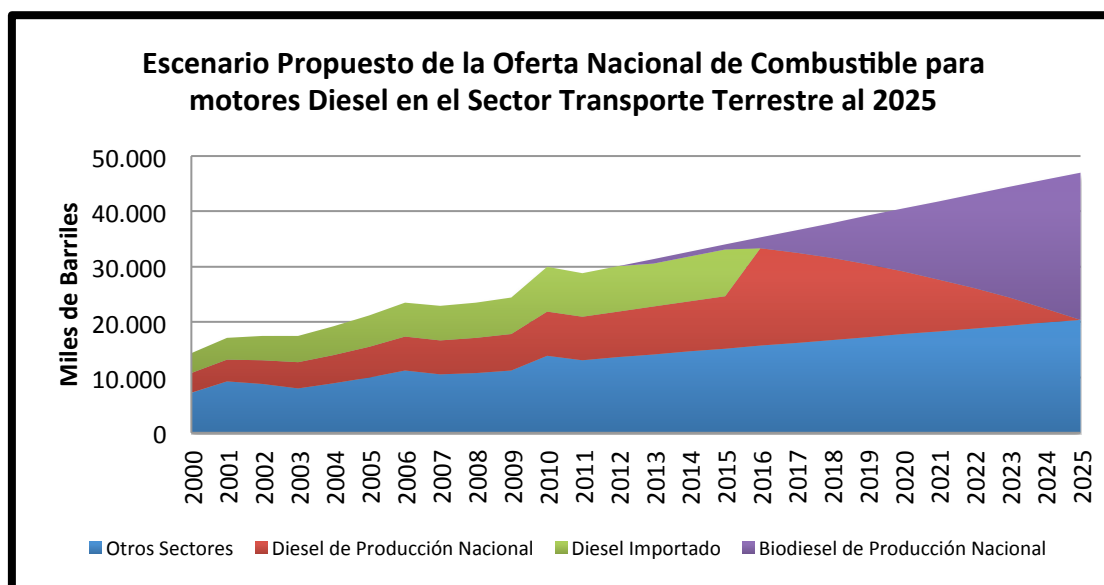


Gráfico #26: Escenario Transporte Base Propuesto como proyección de la Oferta Nacional de Combustible para motores Diesel al año 2025 en el sector transporte terrestre del Ecuador.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

	Pérdidas por comercialización de Diesel Importado		Ahorro por No Importar Diesel		Ingresos por Exportación de Diesel		Total
	Volumen (Miles de Barriles)	Valor (Miles USD\$) (a)	Volumen (Miles de Barriles)	Valor (Miles USD\$) (b)	Volumen (Miles de Barriles)	Valor (Miles USD\$) (c)	Valor (Miles USD\$)
2011	7.839	-344.460	-	-	-	-	-344.460
2012	8.228	-392.076	-	-	-	-	-392.076
2013	-	-	862	44.252	-	-	44.252
2014	-	-	901	49.583	-	-	49.583
2015	-	-	939	55.201	-	-	55.201
2016	-	-	-	-	1.957	229.367	229.367
2017	-	-	-	-	4.069	491.853	491.853
2018	-	-	-	-	6.336	789.155	789.155
2019	-	-	-	-	8.760	1.122.982	1.122.982
2020	-	-	-	-	11.338	1.495.135	1.495.135
2021	-	-	-	-	14.073	1.907.179	1.907.179
2022	-	-	-	-	16.962	2.360.849	2.360.849
2023	-	-	-	-	20.008	2.857.872	2.857.872
2024	-	-	-	-	23.208	3.400.148	3.400.148
2025	-	-	-	-	26.565	3.989.068	3.989.068
TOTAL	16.067	-736.535	2.702	149.036	133.275	18.643.608	18.056.109

Tabla #5: Valoración Económica del Escenario Transporte Base. Periodo 2011 al 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010 y Precios proyectados. Elaboración: Autor.

(a) Se utilizan los precios de importación y de comercialización interna proyectados.

(b) Se calcula igual que (a) pero de forma invertida.

(c) El supuesto para realizar el cálculo es que se exporta al precio de importación proyectado.

De forma similar al análisis económico del “escenario base”, los ingresos al año 2025 por motivo de exportación de Diesel No.2 en el “escenario transporte base” (*Tabla #5*) resultan ser significativamente altos especialmente en comparación a lo que solían ser cuantiosas pérdidas por la comercialización del Diesel importado según los datos reales.

Por otra parte, el escenario planteado (*Gráfico #26*) resulta ser un ajuste mucho más apropiado en términos de magnitud en comparación al caso base (*Gráfico #19*) ya que el mercado al que accede la parte del sector transporte terrestre que consume Diesel No.2 es más accesible en cuanto a monitoreo y control en comparación a otros mercados y sectores de la economía.

Es preciso indicar que no se realizan proyecciones del parque automotriz ya que resulta suficiente haber revisado su estado actual con fines de referencia más la tendencia que pudiese tener se fija en función al consumo de Diesel No.2 proyectado previamente.

Tras haber fijado como mercados potenciales para el biodiesel las provincias Guayas, Pichincha y Esmeraldas, se establece que desde éste punto en adelante los análisis pertinentes se realizarán prioritariamente en función de tales ubicaciones del Ecuador y en función al “escenario transporte base”.

1.3. Estado situacional del sector agrícola nacional en términos de cultivos bioenergéticos y de aspectos territoriales.

El sector agrícola y la disponibilidad de la superficie territorial continúan siendo de vital importancia para el desarrollo de las energías alternativas ya que es ahí donde tiene lugar la sinergia de los factores naturales con el potencial transformador del hombre y su sociedad.

1.3.1. Situación actual de la frontera agrícola

Para conocer el estado global de la frontera agrícola hay que referirse al último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP) a nivel nacional que a pesar de haber sido realizado a comienzos de la primera década del presente siglo (año 2000), contiene información estadística de uso de suelos bastante confiable que puede ser actualizada de cierta forma mediante la comparación con los datos consolidados en el sistema de Encuestas de Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) gestionado por el INEC desde el año 2002 en adelante (*Gráfico #27*).

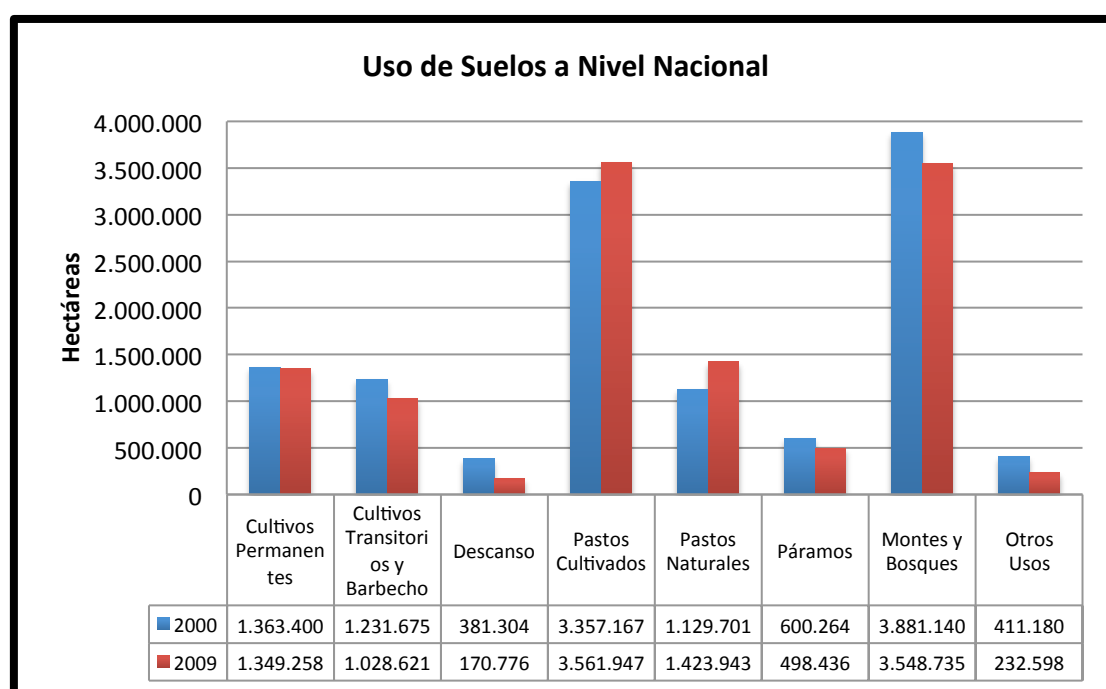


Gráfico #27: Uso de Suelos a Nivel Nacional. Comparación entre datos del 2000 y del 2009.

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario – INEC-MAG-SICA; ESPAC 2009 - INEC. Elaboración: Autor.

Se puede apreciar que la información del III Censo Nacional Agropecuario no ha variado mucho en nueve años pero sin embargo en este estudio se utilizan los datos de la ESPAC 2009 por ser más recientes e igual de confiables.

Otro aspecto a tener en cuenta al explorar la frontera agrícola nacional es que la superficie territorial del Ecuador consiste en 28,36 millones de hectáreas aproximadamente (283.561 km²), de las cuales se entiende que la frontera agrícola utiliza 11,81 millones de hectáreas actualmente y que por lo tanto se supone un excedente disponible de 16,54 millones.

Dicha superficie estimada a '*grosso modo*' como potencial de expansión de la frontera agrícola, no incluye algunas formas de relieve continental como montañas, cordilleras, y depresiones, ni tampoco descuenta los perímetros urbanos, territorio insular, recursos hídricos, zonas desérticas, áreas inaccesibles, selva, bosques y áreas protegidas, entre otros.

Tan solo considerando como referencia el área urbana de doce ciudades capitales representativas³¹ de entre las veinticuatro provincias del Ecuador se puede descontar cerca de 1,9 millones de hectáreas (11,5%) al supuesto territorio potencial, de tal forma que para tener una idea más realista del mismo, se le reducirá un conservador 40% a los 16,54 millones de hectáreas, quedando establecido en **9,9 millones de hectáreas** el potencial de expansión de la frontera agrícola principalmente para efectos del presente estudio.

1.3.2. Cultivo de Palma Africana

Uno de los cultivos permanentes de mayor importancia en materia de biocombustibles para el Ecuador es el cultivo de palma africana el cual consiste actualmente en una superficie plantada de 232,5 miles de hectáreas de las cuales para el año 2009 se encontraron en edad productiva 195,6 miles de hectáreas que fueron cosechadas, y cuya producción de frutos frescos alcanzó los 2,3 millones de toneladas métricas al cierre del año.

³¹ Guayaquil, Esmeraldas, Portoviejo, Santa Elena, Babahoyo, Quito, Cuenca, Ambato, Riobamba, Latacunga, Tulcán e Ibarra. 12 de entre 50 de las ciudades más grandes del país según el INEC.

Las más altas concentraciones de este cultivo están ubicadas en la provincia de Esmeraldas y en la provincia de Los Ríos con 146 y 27 mil hectáreas respectivamente, los rendimientos que presentan al final del 2009 son de aproximadamente 11,4 toneladas métricas por hectárea (Tm/ha).

Se conoce también que el contenido oleaginoso promedio del fruto es de 20%, lo que significa que se requieren cerca de 5 toneladas de fruto fresco para obtener 1 tonelada de aceite según datos de la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA). A su vez dicha tonelada de aceite crudo obtenido se logra convertir en unos 1.086,96 Litros en conformidad con la densidad promedio del aceite de palma que se demuestra por el método de la norma DIN 51757.

La productividad por área cosechada (*Gráfico #28*) cierra al 2009 con una producción de **2.479 litros por hectárea anuales (L/ha/a) o 15,6 barriles por hectárea por año (Brl/ha/a)**, y será utilizada como referencia para los escenarios de aplicación que se expondrán al final del capítulo.

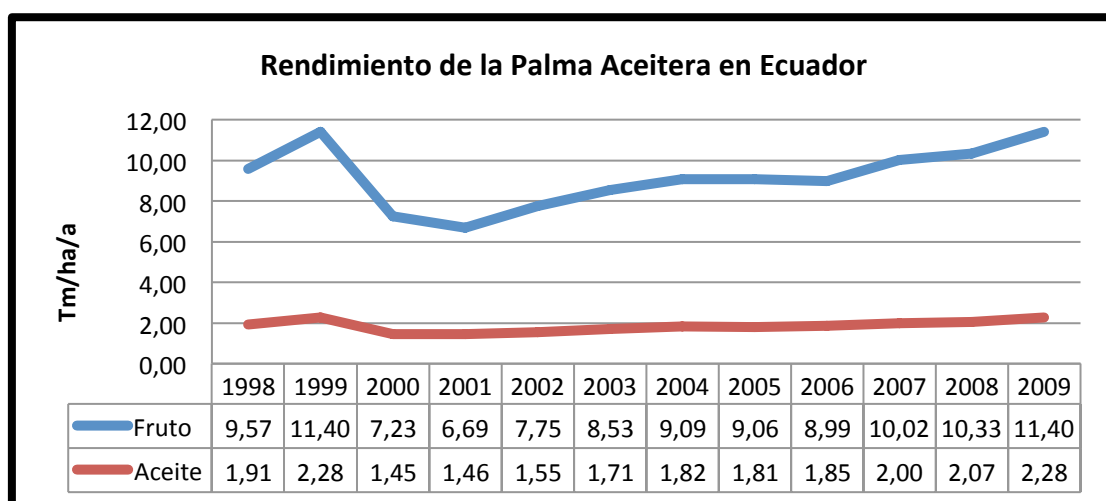


Gráfico #28: Rendimiento del Cultivo de Palma Africana en Ecuador por superficie cultivada. 1998-2009.
 Fuente: Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA), Censo Palmero 2005. Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados (FEDEPAL). Elaboración: Autor.

Finalmente se realiza el análisis económico en función del volumen de exportaciones y su valoración en el comercio internacional (*Gráfico #29*). También se determina que las exportaciones de aceite crudo consisten en un promedio del 50% de la producción total³² y que éstas han llegado a alcanzar una cifra promedio de 144 millones de dólares FOB³³ en divisas para el país.

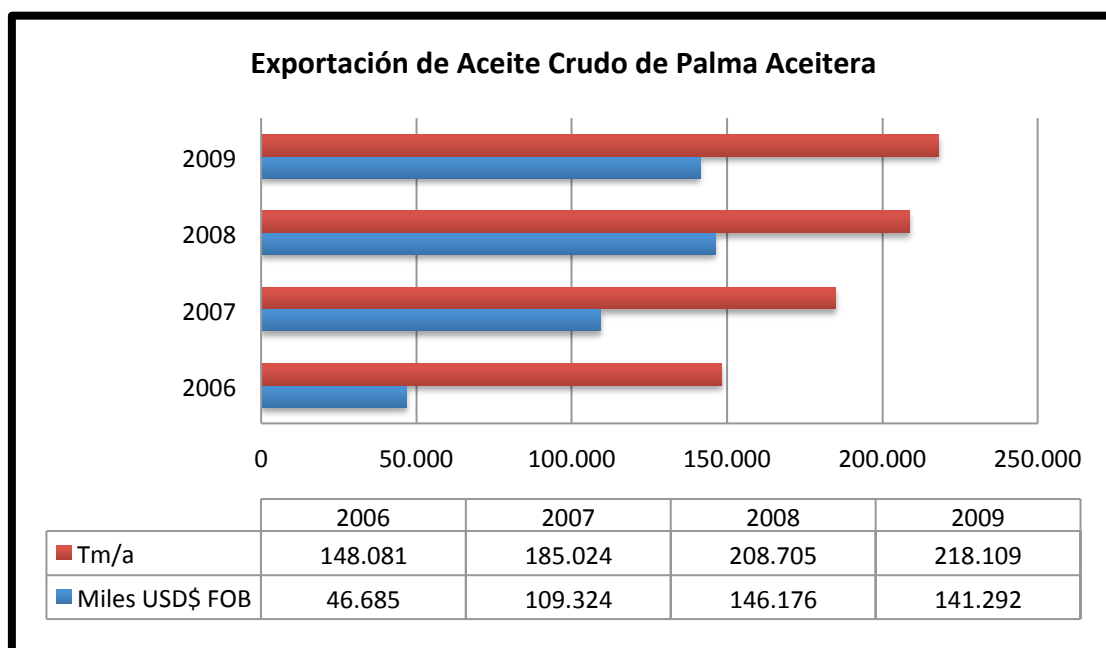


Gráfico #29: Exportación de Aceite Crudo de Palma Aceitera desde el 2006 al 2009.

Fuente: Datos 2006 a 2007 CORPEI basados en información proporcionada por Banco Central del Ecuador actualizados a Junio 15, 2009. Datos 2008 y 2009 tomados directamente del BCE. (FEDEPAL). Elaboración: Autor.

1.3.3. Cultivo de Caña de Azúcar

La facultad del cultivo de caña de azúcar para convertirse en etanol anhidro mediante procesos orgánicos e industriales, lo convierte en lo que podría considerarse como la piedra angular de los biocombustibles ya que dicho alcohol cumple funciones elementales al momento de transformar los aceites en biodiesel y los combustibles fósiles en bioetanol.

³² Cálculo basado en el promedio de las exportaciones del año 2008 y 2009.

³³ *Ibidem*

En el Ecuador este cultivo se clasifica en dos grupos principales, el primer grupo engloba los cultivos de caña para su transformación en azúcar y panela de consumo doméstico mientras que el segundo grupo abarca los sembríos que se destinan a la elaboración de otros productos tales como bebidas alcohólicas, alcohol antiséptico, entre otros.

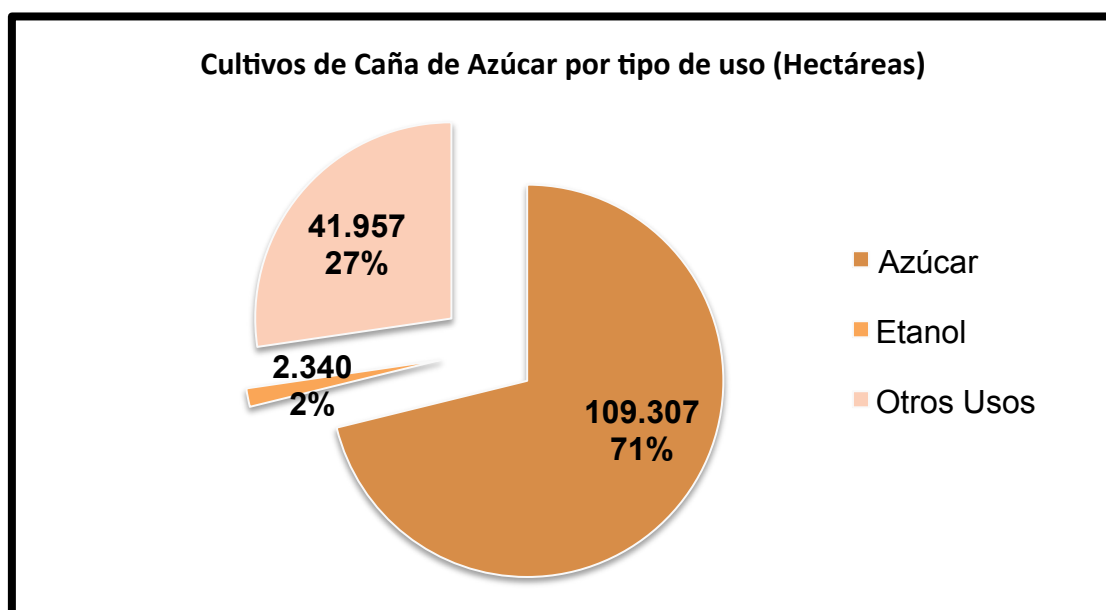


Gráfico #30: Clasificación del Cultivo de Caña de Azúcar por tipo de uso para el año 2009.

Fuente: ESPAC 2009 - INEC. Elaboración: Autor.

Se conoce que en la actualidad la elaboración de etanol para fines bioenergéticos utiliza cerca de 2.340 hectáreas de aquellas que usualmente se destinan a la fabricación de azúcar (*Gráfico #30*) con lo que se producen aproximadamente 91,83 miles de barriles de etanol anhidro anuales para suplir al proyecto piloto Ecopaís.

La capacidad instalada de refinamiento de etanol en el país se estima en 275,5 miles de barriles anuales (entre tres plantas alcoholeras), es decir se podría acoger materia prima de 7 mil hectáreas y elaborar 120 mil litros diarios de etanol de buena calidad. Por el momento la expansión del proyecto Ecopaís está supuesta a demandar el doble de lo que requiere actualmente (Barriga, A., 2008).

Partiendo de dichas referencias y de información estadística del cultivo de caña de azúcar se logra definir los rendimientos que serán usados para el resto de la investigación (*Tabla #6*).

Caña de Azúcar	Azúcar (Jugo)	Otros Usos (Melaza)
Superficie Cultivada (ha)	111.647	41.957
Superficie Cosechada (ha)	106.825	41.957
Producción de caña (Tm/a)	8.473.141	1.950.000
Rendimiento de Caña (Tm/ha/a)	79	46
Factor de refinamiento (L/Tm)	80	20
Rendimiento de Etanol (L/ha/a)	6.345	930
Rendimiento de Etanol (Brl/ha/a)	40	6

Tabla #6: Rendimientos del Cultivo de Caña de Azúcar para la creación de etanol anhidro en Ecuador 2009.

Fuente: ESPAC 2009 - INEC. Elaboración: Autor.

1.4. Introducción del Biodiesel en el planteamiento de escenarios.

Luego de haber dejado expuestos de manera superficial ciertos aspectos relevantes de los sectores petrolero y transporte terrestre al inicio de éste capítulo, y posterior a la creación del “escenario base” y el “escenario transporte base”, se vuelve necesario integrar la temática previamente explorada del sector agropecuario para fortalecer los escenarios antes mencionados y con esto revelar la problemática real del presente estudio. Cabe recordar que los cultivos energéticos tratados con anterioridad poseen altos rendimientos por hectárea (*Gráfico #28 y Tabla #6*) y es eso lo que los posiciona entre los mejores exponentes de su categoría como biocombustibles en el país, esto es, la caña de azúcar en la categoría del etanol anhidro y la palma africana en la de los aceites vegetales.

Tal como se mencionó anteriormente, el etanol anhidro que se obtiene de la caña de azúcar sirve como el compuesto principal para la creación de biodiesel a partir de aceite vegetal o también para la elaboración de bioetanol al mezclarse directamente con algún hidrocarburo fósil de alto octanaje. Es por esto que resulta procedente luego de haber expuesto el potencial de ambos cultivos, explicar de forma más detallada ciertos conceptos y procesos que intervienen en la cadena de transformación de los agrocombustibles y finalmente integrarlos a los escenarios planteados.

1.4.1. El Biodiesel

Se entiende que el Biodiesel, o B100, es el producto resultante de la transformación del aceite vegetal crudo en un aceite vegetal refinado que posee características físicas y químicas similares al Diesel derivado de petróleo (Petrodiesel) que se rige bajo estándares internacionales (Véase *Anexos #1 y 2*) y que cuenta con estándares nacionales desde el año 2009 tras la publicación de la Norma Técnica Ecuatoriana 2482 (NTE 2482:2009) establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Es preciso indicar que de la variedad de procesos existentes para refinar el aceite vegetal crudo, uno en especial ha probado su efectividad a través de los últimos años y es uno de los más recomendables para lograr una alta eficiencia de transformación a un menor costo que otros procesos similares, a éste se lo conoce como “transesterificación” (Knothe, G., et al, 2005).

1.4.1.1. La Transesterificación

Para comprender el proceso basta con conocer que las grasas y aceites vegetales y/o animales que se utilizan comúnmente para la elaboración de biodiesel se componen principalmente de triglicéridos o triacilgliceroles, que son la unión de una molécula de glicerol con tres ácidos grasos esterificados (sintetizados entre ácidos y alcoholes).

De aquellas moléculas sólo sirven como combustible los ácidos grasos ya que el glicerol (glicerina) aporta con más viscosidad que energía, por lo que es preciso separar la molécula de glicerol de las otras moléculas. Esto se logra al agregarle alcoholes al aceite en presencia de un catalizador.

El catalizador guía las reacciones químicas y acelera el proceso cerca de 4 mil veces, entre los más comunes para la fabricación de biodiesel están los catalizadores alcalinos como el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH).

El alcohol por su parte separa las cadenas de ácidos grasos al integrarse molecularmente. Si se utiliza etanol como alcohol se obtendrá un grupo de etil esterés y un grupo de glicerol, mientras que si se utiliza otro alcohol común como el metanol, se obtiene un grupo de metil esterés y otro de glicerol. Solo los ésteres resultantes se consideran como Biodiesel.

A nivel mundial se prefiere el uso del metanol por su precio en comparación al etanol, pero en países como Brasil el etanol ha alcanzado un precio más bajo que el metanol por lo que se lo prefiere al momento de crear biodiesel.

El uso de etanol, o metanol, con catalizadores sean estos NaOH, o KOH, para la transesterificación, dependerá de las preferencias en cuanto a tiempo de reacción, calidad de refinamiento, costos, accesibilidad, disponibilidad, tipo de aceite utilizado, entre otros.

También se debe considerar que para una apropiada conversión se requiere de agitación, presión, y determinadas temperaturas (Knothe, G., et al, 2005), estas condiciones varían en función a los diferentes componentes que se integran al proceso para obtener las reacciones químicas y a las cantidades que se apliquen de los mismos.

1.4.1.2. Procesos y reacciones de la transesterificación

Para la creación de los escenarios se determina el uso de etanol anhidro proveniente de la caña de azúcar nacional cuyo precio se estima que bordea los 0,55 dólares por litro (Cox Toala, G., et al, 2009), esto se da a pesar de que se puede encontrar metanol a un precio FOB referencial de 0,34 USD\$/L³⁴ ya que se debe garantizar las cantidades requeridas de alcohol con una fuente propia para evitar estar sujetos a la producción internacional, entre otras razones.

Bajo tal supuesto, para establecer una combinación apropiada de factores para la transesterificación, se utiliza una ecuación empírica obtenida de los resultados de la experimentación entre cuatro variables independientes sometidas a ocho combinaciones diferentes en dos tipos de niveles y evaluadas durante tres procesos (Korus, R. A., et al, 2001) que da como resultado el porcentaje de conversión de aceite a etil ésteres (*Tabla #7*) el cual, en síntesis, indica la probabilidad de ocurrencia de una transesterificación apropiada suponiendo una mezcla idónea de los materiales en las proporciones apropiadas.

Parámetros		Niveles		No.	Parámetros				% Tasa de Conversión
		+	-		Experim	1	2	3	
1	Agitación de Mezcla	Alta	Baja	1	-1	-1	-1	-1	51
2	Temperatura de Mezcla	75 °C	30 °C	2	+1	-1	-1	+1	98
3	Catalizador Alcalino	KOH	NaOH	3	-1	+1	-1	+1	81,5
4	Agua en el Etanol	0%	5%	4	+1	+1	-1	-1	45
Procesos		Tiempo		5	-1	-1	+1	+1	91,7
Transesterificación		120	min	6	+1	-1	+1	-1	29
Separación de Fases		120	min	7	-1	+1	+1	-1	77,8
Lavado		48	hr	8	+1	+1	+1	+1	100

Tabla #7: Matriz del diseño experimental de transesterificación de etil ésteres.

Fuente: Korus, R. A., et al, 2001. Elaboración: Autor.

³⁴ Valor obtenido del sitio web oficial de la empresa Methanex en mayo del 2011, sucursal en Chile <http://www.methanex.com/products/methanolprice.html>

La ecuación presentada tras aquel estudio científico queda expresada de la siguiente manera y con ella se busca definir cuál de las combinaciones de procesos resulta ser la más costo-eficiente para aplicarla al país:

$$CONV = 71,75 - 3,75(A) + 4,325(T) + 21,05(ALC) + 9,95(T)(C) - 6,37(T)(ALC)$$

En dicha ecuación se muestra la relación entre los grados de conversión de cada proceso (*CONV*), la tasa de agitación de sustancias (*A*), temperatura de la mezcla (*T*), contenido de agua en el etanol (*ALC*), y el tipo de catalizador utilizado (*C*). Aquí se observa la significancia que tiene cada variable independiente y se expone que tanto la agitación como la cantidad de agua en el etanol juegan un papel importante en una exitosa transesterificación.

Dado a que la diferencia entre el experimento No.8 (100% conversión) y el No.2 (98% conversión) es un 2% de eficiencia a cambio de un ajuste en la temperatura de la mezcla y un cambio de catalizador se debe analizar más a fondo los factores reales a los que se sujetan dichas variables para verificar si resulta costo-eficiente alcanzar o abandonar aquel 2%.

Artículo	P. FOB	Densidad	P. FOB	Proveedor
	USD\$/Tm		USD\$/L(Kg)	
Etanol Anhidro Líquido	679	0,81	0,55	Ecuador
Metanol Puro Líquido	426	0,80	0,34	Chile
NaOH – Hidróxido de Sodio Polvo	400	-	0,40	China
KOH – Hidróxido de Potasio Polvo	885	-	0,89	China

Tabla #8: Precios referenciales a mayo del 2011 y densidades promedio.

Fuente: Cotizaciones Online en www.alibaba.com para el NaOH y KOH. Empresa Methanex. Ingenios Azucareros. Elaboración: Autor.

La temperatura juega un papel significativo al momento de definir la velocidad de la reacción pero se asume que alcanzar ese aumento de temperatura a nivel industrial se utilizaría más energía de la que se obtendría por lo que en éste caso se prefiere utilizar la temperatura ambiente de 30 °C. Por otra parte, se conoce que entre ambos catalizadores el NaOH es preferible ya que su precio en la actualidad constituye un poco menos de la mitad del precio del KOH (*Tabla #8*). De esta manera se muestra a continuación el grupo de supuestos correspondientes al proceso de transesterificación a una tasa de conversión del 98% de aceite a etil ésteres:

- Agitación de la mezcla: Alta, ≥ 600 RPM (1000L, 1400RPM 55kWh)³⁵.
- Temperatura del proceso: 30 °C (Calefactor 1000L 60kWh)³⁶.
- Catalizador utilizado: NaOH – Hidróxido de Sodio.
- Calidad del etanol: Anhidro, Agua $\leq 0,5\%$.

Para proceder con la generalización de las proporciones a utilizar para la transformación de aceites a etil ésteres o Biodiesel (*Tabla #9*), se utilizará un estudio experimental basado en la transesterificación de aceite de ricino bajo condiciones similares a las expuestas anteriormente (Montoya, J. I., 2009).

Factor	Proporciones	Proporciones Aplicadas		
		Peso (gr)	Densidad	Volumen (ml)
Aceite Vegetal	-	100	0,92 (gr/ml)	108,7
Etanol Utilizado, Reacción molar	9,85959(mol etanol/1mol aceite)	48,59	0,81 (gr/ml)	60
Biodiesel Obtenido	97,12 (%etil ésteres/aceite)	97,12	0,96 (gr/ml)	101,17
Catalizador NaOH Utilizado por peso de aceite	1,2 (partes)	1,2	-	-
Temperatura	30 °C			

Tabla #9: Proporciones experimentales óptimas para la transesterificación de aceites vegetales (ricino).

Fuente: Montoya, J. I., 2009. Elaboración: Autor.

³⁵ Referencia de características técnicas de un Homogeneizador cotizado online. Jiangsu, China.

³⁶ *Ibíd.*

La experimentación antes mencionada (Montoya, J. I., 2009) resultó en un modelo óptimo de transesterificación utilizando 1,2 partes de NaOH por peso de aceite y etanol anhidro en una relación de 9,58 moles por cada mol de aceite a una temperatura ambiente de 30 °C, dando como resultado 97,12% de etil ésteres, y 2,88% de glicerol e impurezas. Con una probabilidad del 98% de que se obtengan tales proporciones en cada reacción. Es así como se define el método de transesterificación para las estimaciones posteriores.

Las ecuaciones empíricas presentadas por Montoya quedan establecidas de la siguiente forma:

- $Masa(NaOH) = gr(aceite) * \%catalizador$
- $Masa(etnl) = gr(aceite) * \frac{1mol(aceite)}{933,32gr(aceite)} * (R.molar) * \frac{46gr(etnl)}{1mol(etnl)}$

Como referencia adicional si se da valores a las ecuaciones y se utiliza la información experimental de ambos estudios con la finalidad de completar las reacciones de la transesterificación, se observa que se requiere utilizar un excedente de aceite del **1,0744 litros** por cada litro de Biodiesel que se pretende obtener junto a diferentes proporciones de etanol y del catalizador NaOH (*Tabla #10*) con lo que emergerán también algunos subproductos como glicerina, agua, y desperdicios.

Componentes	Kilogramos	Litros
Aceite	0,9884	1,0744
Etanol	0,4803	0,5930
NaOH	0,012	0,0056
Mezcla	1,48	1,6729
Glicerina, H2O, Desecho	0,52	0,67
B100	0,96	1,00

Tabla #10: Supuestos para la transesterificación de aceites vegetales en general.

Fuente: Montoya, J. I., 2009. Elaboración: Autor.

1.4.2. Complementación de los Escenarios

El enfoque de ésta modificación es el de un reemplazo progresivo de la oferta total de Diesel No.2 del país por Biodiesel resultante de la transesterificación por medio del uso de etanol anhidro y del catalizador alcalino NaOH, teniendo en consideración que el horizonte temporal propuesto para alcanzar tal objetivo es de 15 años.

1.4.2.1. Escenario Base

En función a los rendimientos previamente expuestos del cultivo de palma africana en el Ecuador (*Gráfico #28*) y considerando los requerimientos del proceso de transesterificación del aceite vegetal a biodiesel (*Tabla #10*), se logra dejar expuesto el nivel de expansión de la frontera agrícola (*Gráfico #31*) requerido para suplir la demanda proyectada del “escenario base” (*Gráfico #19*).

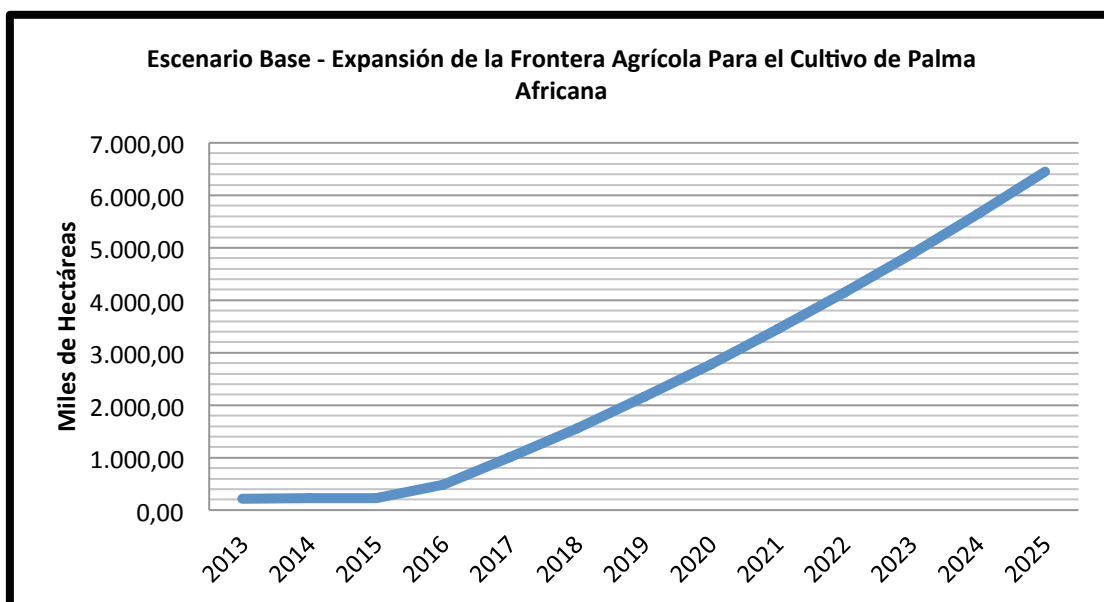


Gráfico #31: Escenario Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para el cultivo de palma aceitera para suplir la demanda de biodiesel.

Fuente: Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA), Censo Palmero 2005. Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados (FEDEPAL). Elaboración: Autor.

En ésta estimación se define que para el año 2025, a causa del cultivo de palma aceitera para crear biodiesel, sería necesario acumular una superficie cultivada de 6,45 millones de hectáreas hasta ese año tal como se muestra en el Gráfico #31.

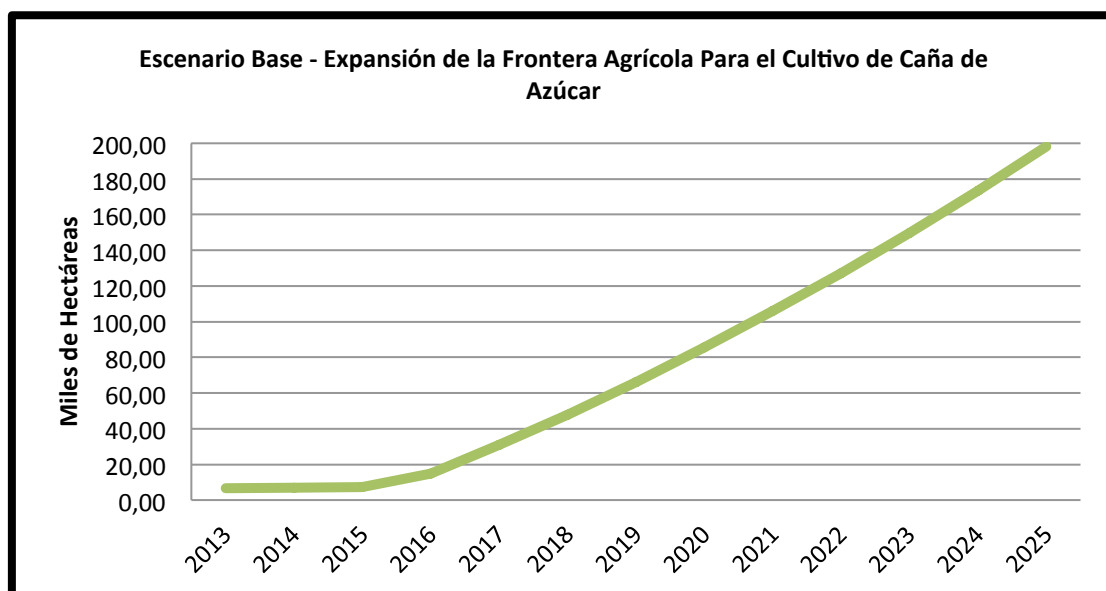


Gráfico #32: Escenario Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para el cultivo de caña de azúcar para suplir la transesterificación del aceite de palma aceitera para elaborar biodiesel.

Fuente: ESPAC 2009 - INEC. Elaboración: Autor.

De forma paralela se asume que la superficie requerida para el cultivo de caña de azúcar y posterior elaboración de etanol anhidro hasta el año 2025 estaría bordeando las 198 mil hectáreas (*Gráfico #32*), es decir, debido a los altos rendimientos del cultivo se requiere aumentar la extensión cultivada en el transcurso de 15 años en poco más del doble de los cultivos actuales.

En síntesis, para el escenario “base” se requiere extender la frontera agrícola en 6,65 millones de hectáreas de cultivos bioenergéticos permanentes (*Gráfico #33*) lo que implicaría ir en contra de a la soberanía alimentaria, ya que mermaría cerca del 67% de los 9,9 millones de hectáreas estimadas como disponibles para el uso de suelos con fines agrícolas.

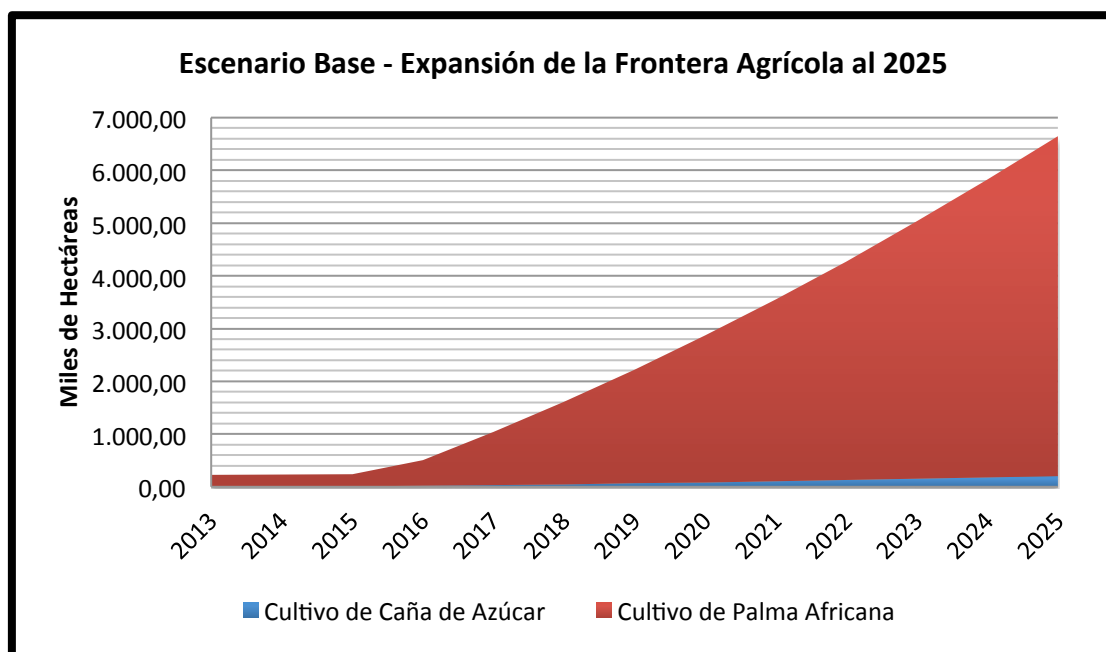


Gráfico #33: Escenario Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para elaborar biodiesel.

Fuente: Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA), Censo Palmero 2005 (FEDEPAL), ESPAC 2009 - INEC. Elaboración: Autor.

Es preciso indicar que el 97% de aquella expansión sería causada por incurrir en el cultivo de palma africana mientras que el 3% restante le correspondería al cultivo de caña de azúcar para abastecer a todos los sectores del país con biodiesel como reemplazo del diesel No.2, alcanzando una cobertura total en el año 2025.

Por estos motivos principalmente, la aplicación del “escenario base” bajo estas condiciones queda planteada como una alternativa poco probable y muy ajena a la realidad actual del Ecuador, la cual para ser aplicada requeriría de grandes sacrificios de tierra fértil, arduos esfuerzos para imponer una corriente obsoleta, y millonarias inversiones.

Cabe señalar que al final del capítulo, quedan determinados los niveles de materia (aceite, etanol, y NaOH) y las superficies requeridas para la elaboración del biodiesel para cada escenario con fines comparativos.

1.4.2.2. Escenario Transporte Base

A diferencia del escenario anterior los requerimientos para ambos cultivos se reducen cerca de la mitad pero manejan las mismas proporciones (97% palma aceitera, 3% caña de azúcar), quedando establecida una expansión del uso de suelos que bordea los 3,7 millones de hectáreas entre cultivos de palma africana y caña de azúcar, los cuales al año 2025 alcanzan 3,66 millones y 112 mil hectáreas respectivamente (Gráfico #34).

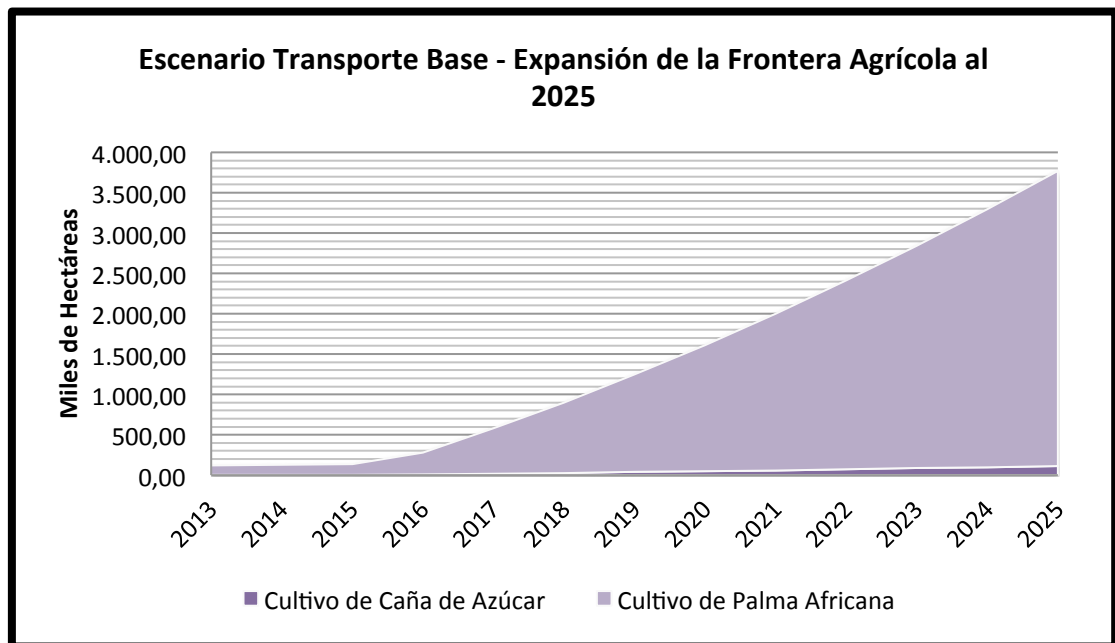


Gráfico #34: Escenario Transporte Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para elaborar biodiesel.

Fuente: Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA), Censo Palmero 2005 (FEDEPAL), ESPAC 2009 - INEC. Elaboración: Autor.

En conformidad con las cifras anteriores y con la naturaleza del escenario “transporte base” se define que la ampliación de la superficie cultivada de caña de azúcar resulta en un aumento de poco menos del doble del área cultivada actualmente, mientras que en el caso del cultivo de palma africana se requiere una expansión 16 veces mayor a la ocupación de tierras actual.

Por dichos motivos el escenario “transporte base” se vuelve un poco más aplicable que el escenario “base” ya que se encuentra más delimitado y requiere de una menor extensión de la frontera agrícola nacional. Aunque a pesar de que se necesita aproximadamente la mitad de los recursos que en el escenario base, es procedente indicar que la expansión de 234 mil hectáreas cada año se ve opacada ante la realidad que implica haber acumulado la misma extensión territorial del cultivo de palma aceitera en un periodo que comprendió desde el año 1960 hasta la actualidad, o lo que es lo mismo, cerca de 234 mil hectáreas en 51 años. De esta forma, en base al breve análisis de los factores intervinientes que se realizó a través de éste capítulo, queda expuesta la verdadera naturaleza del problema al que se sujeta la potencial diversificación energética del Ecuador.

1.4.3. Resumen del capítulo

En este enunciado se enlista de manera sintetizada una serie de puntos importantes que han sido planteados a lo largo del capítulo:

1.4.3.1. Análisis Histórico

- La producción nacional de petróleo se ha recuperado satisfactoriamente de su último periodo de recesión (2006 al 2008) y ha mostrado una relativa estabilidad en el año 2010. La estabilidad sirve de base referencial para soportar proyectos en base a hidrocarburos.
- Actualmente la explotación petrolera se ha vuelto a adaptar a sus periodos productivos mensuales comunes con un promedio de 14,98 millones de barriles al mes, que en términos anuales se acerca a los 180 mil millones. Con esto se establece una base de producción confiable para éste nuevo periodo y define el panorama del sector.

- La oferta de derivados se encuentra directamente relacionada a la producción de crudo, por lo tanto se correlaciona la estabilidad del refinamiento petrolero y se marca una tendencia actual en la que resalta un procesamiento de crudo de entre el 40 y 50% de forma casi constante.
- A su vez la oferta de diesel para todos los sectores muestra en ese periodo cierta persistencia en puntos de refinamiento bajos, por lo que la tendencia se inclina hacia el aumento de las importaciones para suplir la demanda de tal derivado, conformando de esta manera un panorama negativo en esta rama de los hidrocarburos nacionales.
- La demanda de diesel antes mencionada presenta incrementos históricos sostenidos mientras que, tal como se mencionó previamente, la oferta encuentra un punto de estabilidad en el 15% inclinado a la baja.
- El resultado de dichos comportamientos se refleja en pérdidas por subsidios al diesel importado que acumulan cerca de 2.400 millones de dólares en 10 años, con la mayor participación en los últimos tres años, y con miras a incrementarse continuamente para cada periodo adicional.

1.4.3.2. Análisis Proyectado

- Por su parte las proyecciones al año 2015 confirman las sospechas del análisis previo y denotan marcadas tendencias de incremento de la demanda de diesel, y estancamientos en la oferta, con lo que se amplía el margen de pérdida por subsidios.

- Al considerarse como un supuesto la creación de la Refinería del Pacífico, se proyectan mejoras en la oferta de derivados al punto en que las importaciones desaparecen a partir del año 2015.
- También se considera la integración del biodiesel a la oferta de derivados nacionales, lo que resulta en etapas de transición desde el 2013 que desembocan en exportaciones de diesel a partir de que se manifiesta la sinergia entre la Refinería Eloy Alfaro y la industrialización del biodiesel.
- Se conforma un escenario "base" de alcance nacional en cuanto al reemplazo del diesel no.2 de todos los sectores de la economía basado en lo antes descrito.
- Surge un segundo escenario en el cual se delimita el alcance de las proyecciones y se abarca únicamente el sector del transporte terrestre desde el punto de vista del consumo de diesel no.2., quedando así establecido el escenario denominado "transporte base".
- Finalmente sobre aquel escenario se logra identificar detalles relacionados a las regiones del país en cuanto al parque automotriz para conocer con mayor exactitud los mercados más relevantes del sector en cuestión.
- Paralelamente se define el potencial expansivo de la frontera agrícola partiendo de su estado actual, dejando claro que existen limitantes naturales ante la expansión de éste sector y que es un aspecto muy delicado de manipular en especial cuando se amenaza la soberanía alimentaria y cuando el potencial estimado se acerca a los 10 mill.has.
- Se analizan los dos cultivos energéticos de mayor relevancia a nivel nacional y quedan expuestos sus rendimientos y potencial expansivo.

Los cultivos que se estudian son el de caña de azúcar para la creación de etanol y el de palma africana para la extracción de aceite vegetal, ambos componentes conforman el biodiesel casi en su totalidad.

- El cultivo de caña de azúcar evidencia un potencial aceptable de expansión sin mayores impactos colaterales, mientras que ocurre lo contrario con el cultivo de palma aceitera cuya expansión proyectada plantea dificultades significativas.
- Los rendimientos de la palma africana como fuente de aceite vegetal son elevados pero no compensan las deficiencias que implica el cultivo, por su parte el rendimiento de la caña de azúcar para elaborar etanol es suficientemente alto para respaldar su potencial expansivo.
- Finalmente se incorpora el concepto de la transesterificación como fórmula para elaborar el biodiesel y se hace referencia de dicho proceso empleando las materias bioenergéticas antes mencionadas. Con la aplicación del proceso previamente descrito y ciertas estimaciones, se complementan los escenarios "base" y "transporte base" de tal forma que se logran identificar con mayor profundidad las ventajas y los problemas que ambos escenarios contienen.
- Se fija el escenario "transporte base" como el objeto prioritario del presente estudio y se da paso al análisis de la condición actual y proyectada de la diversificación energética en el Ecuador en materia del biodiesel destinado a reemplazar el diesel no.2 en el país.

Como aporte final se hace mención a un modelo de producción de biodiesel a partir del cultivo de microalgas propuesto como solución a la problemática previamente expuesta.

Dado a que el cultivo de microalgas junto a sus rendimientos está sujeto principalmente a variables de orden climatológico y a factores experimentales, estas variables serán descritas detalladamente en el siguiente capítulo y serán parte de un modelo matemático de productividad del cultivo de microalgas marinas conformado para el Ecuador.

CAPÍTULO II. CULTIVO DE MICROALGAS MARÍNAS PARA BIODIESEL. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN DEL MODELO

2.1. Las Microalgas Marinas como cultivo bioenergético

Pensar que una especie del reino vegetal que es usualmente asociada con el lecho del mar y con depósitos naturales de agua como pantanos u otros efluentes acuáticos, con aguas residuales, etc.; lleva a concluir que nada bueno podría resultar de la agrupación de tales organismos, y que su presencia antiestética amerita una pronta eliminación donde sea que éstas se encuentren. Afortunadamente, a través del tiempo la naturaleza ha mostrado tener un propósito para estas especies al posibilitar la utilización de dichos vegetales como fuente de alimento para convertirlos finalmente en energía y en otros nutrientes.

Estos comportamientos sumados a la naturaleza exploratoria y recursiva del ser humano, han servido como cimientos para explorar las algas hasta apreciar su lado positivo y explotarlas ya sea como alimentos, nutrientes, cosméticos, químicos, etc.; e introducirlos a la sociedad de la manera más amigable y estética posible.

Las distintas aplicaciones de dicha especie curiosamente incluyen su uso como fuente externa de energía, específicamente como energía biológica renovable derivada de la combustión de sus compuestos orgánicos, lo que se puede denominar también como biocombustible. De entre los biocarburos más conocidos que se pueden obtener de las algas resaltan el biodiesel y el etanol, obtenidos de los lípidos y almidones (carbohidratos) respectivamente. Lo que resulta atractivo de las algas como materia para biocarburo es su capacidad para conducir sus procesos químicos y biológicos a un ritmo acelerado sin esfuerzo (Sheehan, J., et al., 1998).

De las miles de familias y millones de especies de algas existentes en distintas partes del mundo se ha logrado estudiar y clasificar una gran diversidad y cabe mencionar que las características más interesantes halladas en los estudios dirigidos al cultivo de algas para biodiesel giran en torno a las especies de **microalgas** marinas que se diferencian de las algas ordinarias por su tamaño microscópico y rápidas reacciones a nivel celular las cuales por lo general se reflejan en la duplicación de su biomasa en muy cortos periodos de tiempo (Sheehan, J., et al., 1998; Chisti, Y., 2007).

Esta investigación se enfoca en el potencial de las microalgas como fuente de aceite vegetal para biocombustible por lo que se asume que sólo se discutirán las características, requisitos, métodos de cultivo, y técnicas de cosecha determinantes para la obtención de aceite de las especies consideradas como aptas para tal propósito.

2.1.1. Requisitos básicos del cultivo de microalgas marinas

Como la mayoría de organismos conocidos, las microalgas requieren una combinación de elementos específicos y diversas condiciones para su proliferación, y se pueden proveer de estos naturalmente o artificialmente dependiendo de su disponibilidad. Los recursos indispensables para un correcto desempeño de estos microorganismos como fuente de aceites son; la energía solar, la temperatura, los nutrientes, y el dióxido de carbono (Goldman, J. C., 1979; Chisti, Y., 2007).

2.1.1.1. Energía solar – Radiación Solar - Luz

La radiación solar es quizá el elemento de mayor importancia para la existencia de los seres vivos en el mundo ya que da origen a las transformaciones de la mayoría de los compuestos basados en carbono.

Se conoce que la luz del sol es capaz de generar una infinidad de reacciones, elementos, materias, y energías. En el caso de las algas la absorción de la radiación solar conduce a su desarrollo, mediante el proceso conocido como fotosíntesis y al igual que en la mayoría de las plantas terrestres y acuáticas esto conduce a la creación de biomasa, crecimiento, reproducción, y a otras reacciones químicas y biológicas (Lee, Y. K., 2001).

Cabe señalar que no toda la radiación solar es apta para ser absorbida, por tal razón se introduce el concepto de la Radiación Fotosintéticamente Activa o RFA que en resumen es la porción de la radiación solar que está disponible para ser absorbida mediante fotosíntesis ya que la energía emitida por el sol también posee otras radiaciones tal como la ultravioleta (7%) que no aporta significativamente al desarrollo de las microalgas.

En base a estudios científicos se determina que la RFA representa el 45% de la radiación solar total (Lívanský, K., 1997). Se conoce también que la radiación solar directa que llega a la tierra es mayor en las superficies localizadas en las latitudes más cercanas a la línea ecuatorial y que es ahí donde el cultivo de microalgas está supuesto a maximizar sus rendimientos (Weyer, K. M., et al, 2009).

2.1.1.2. Temperatura del cultivo

Otra de las condiciones importantes para que las microalgas incrementen sus rendimientos productivos de biomasa es la temperatura del aire, agua, o de la suspensión en la que se encuentran, la cual debe ser cálida (entre 20 y 30°C) para conseguir una mejor absorción de los nutrientes orgánicos sólidos o gaseosos y de la radiación solar (Richmond, A., 1987; Chisti, Y., 2007). Si se inyecta CO₂ directamente de gases de combustión la temperatura puede llegar a incrementarse por lo que es recomendable un control riguroso.

De esta manera también se obtienen mejores distribuciones en la biomasa de la especie, sea que ésta se incline a la producción de lípidos, carbohidratos, proteínas o cualquier sustancia química de interés.

2.1.1.3. Circulación – Movimiento – Mezcla

Otro importante factor que no debe quedar desatendido es la circulación de las microalgas suspendidas en líquidos debido a que resulta más eficiente hacer que todas las células reciban la radiación solar, los gases, y nutrientes de forma homogénea por lo que se recomienda someter el cultivo a una agitación variable para cada fase del día (Sánchez Pérez, J. A., et al., 2006).

Se ha observado que los cultivos estáticos son menos productivos que aquellos en movimiento y que al mezclar las microalgas en suspensión se acelera su metabolismo y se remueven aquellas adheridas a las superficies donde difícilmente alcanzarían radiación solar, se evita la formación de sombras mutuas y se logra remover el oxígeno producido sin incurrir en daño celular (Chisti, Y., 2007).

2.1.1.4. Nutrientes

En el cultivo de microalgas marinas es necesario lograr una combinación balanceada de nitrógeno y fósforo para asegurar la rápida producción de biomasa y una alta concentración de lípidos (Harrison, P. J. & Berges, J. A., 2005). El uso en exceso de los nutrientes no afecta negativamente al cultivo por lo que se recomienda que sobren a que falten (Acién Fernández, F. G., et al., 2001). A pesar de aquella recomendación también se puede considerar una proporción de nutrientes a un ratio de 16 partes de nitrógeno y una parte de fósforo (Brzezinski, M. A., 1985) que ha probado dar buenos resultados y puede servir de referencia para cálculos de costos y de eficiencia.

No es recomendable someter el cultivo a limitaciones de nutrientes ya que los rendimientos aumentan para ciertas especies y disminuyen para otras de tal forma que se requiere más estudios al respecto para definir un estándar.

2.1.1.5. Dióxido de carbono – CO₂ – Intercambio de gases

El último de los macro factores que se toma en consideración con una alta prioridad es el suministro de CO₂ al cultivo de microalgas tras conocerse que entre el 45 y el 50% de su biomasa está conformada por carbono (Becker, E. W., 1994) y que en el aire solo hay una porción cercana al 0,033% de dicho GEI, lo que resulta insuficiente hasta el punto en que se limita el crecimiento de las especies en cuestión (Doucha, J. et al., 2005).

Por esas razones se vuelve vital proporcionarle el dióxido de carbono en mayores cantidades que las que se otorgarían por inyección directa de aire a los cultivos, tomando en cuenta que el exceso de dicho gas no afecta el desempeño de las microalgas pero que la retención del oxígeno que emiten tras haber absorbido el CO₂ necesario, sí causa un efecto negativo conocido como “daño foto oxidativo” que desemboca en la inhibición de la fotosíntesis (Molina, E., et al., 2001) y por tanto resulta en la pérdida de productividad.

La retención de oxígeno se puede resolver por medio de una buena circulación en la que se realiza el intercambio de gases (Chisti, Y., 2007). Se conoce también que se requiere cerca de 1,8 toneladas de CO₂ para crecer 1 tonelada de algas y que se puede obtener hasta un 15% de CO₂ del gas de combustión directo (FAO, 2009).

El resto de requisitos y factores de maximización del rendimiento de aceite dependerán principalmente del tipo de cultivo y de la especie de microalga que se utilicen.

2.1.2. Tipos de cultivos

De todas las formas de cultivar microalgas que existen en la actualidad, dos de las más estudiadas han probado ser altamente eficientes, éstas son; el cultivo en estanques abiertos, y el cultivo en fotobiorreactores. Ambos métodos utilizan casi los mismos recursos pero en distintas proporciones ya que manejan diferentes tipos de dinámicas. Como era de esperarse, los fotobiorreactores resultan ser más eficientes en términos de productividad por área y por volumen que los estanques abiertos ya que acumulan la biomasa en espacios menos dispersos.

2.1.2.1. Estanques abiertos

Éste método de cultivo se somete a ciertas críticas por ser relativamente rústico, vulnerable a invasiones de otras especies, y por carecer de algunas facilidades de monitoreo (Becker, E. W., 1994), también posee la desventaja de no ser apto para todas las especies conocidas de algas por su condición de cultivo expuesto (Benemann, J. R. & Oswald, W. S., 1996), pero a su vez se caracteriza por sus cualidades de costo-eficiencia y por la facilidad con la que se puede instalar y operar (Borowitzka, M. A., 2005).

En esta categoría existen diversos diseños prácticos de estanques abiertos que abarcan desde rendimientos tan bajos como 1 gramo por metro cuadrado por día (gr/m²/d) en el caso de los estanques estáticos (Borowitzka, M. A., 1999), y niveles productivos medios de 21 gr/m²/d como los reportados en los estanques abiertos en pista (Borowitzka, M. A., 2005) que han probado rendimientos constantes promedio de 23 gr/m²/d hasta en condiciones climáticas agudamente adversas³⁷ (Alabi, A. O., et al., 2009).

³⁷ Las condiciones experimentales adversas incluyen inviernos con temperaturas bajo cero, uso de calefactores, pocas horas de sol al año, entre otras.

Otros sistemas de cultivo terrestre son los estanques abiertos en pista de capa fina que fácilmente alcanzan los 31 gr/m²/d bajo condiciones climáticas moderadas (Doucha, J. & Lívanský, K., 2006). El tipo de cultivos en estanques abiertos en pista se asemejan a pistas de carrera en diseño y funcionamiento ya que se dirige el cultivo en un determinado sentido del estanque mediante paletas de circulación y bombeo de sustratos.

Existen también diseños teórico-prácticos de cultivos abiertos en pista que proponen productividades de hasta 35 gr/m²/d con la posibilidad de incrementarse dependiendo de la optimización de todos los factores naturales implícitos (Chisti, Y., 2007).

Es procedente mencionar que la productividad de la biomasa seca por área (gr/m²/d) y la productividad por volumen (gr/L/d) son factores dependientes del tipo de sistema de cultivo y de los recursos naturales a los que se expone a las especies seleccionadas así como también del tipo de cosecha empleado, y que de tales niveles productivos se debe considerar el rendimiento oleaginoso de cada especie de microalga el cual puede alcanzar hasta un 77% del peso seco de la biomasa como en el caso de la especie de microalga *schizochytrium sp* (Chisti, Y., 2007).

2.1.2.2. Fotobiorreactores – FBRs

Los fotobiorreactores o FBRs se caracterizan por su compleja ingeniería que les permite expansiones y funcionamientos en posiciones y formas muy diversas por su cualidad de cultivo cerrado o mayormente cerrado. Esta flexibilidad obtenida amplía el horizonte de aprovechamiento de los recursos naturales y adicionalmente consigue mayores concentraciones volumétricas y de área con lo que se incrementan los rendimientos del cultivo, todo esto a cambio de mayores gastos operacionales y uso intensivo de energía.

Los FBRs se encuentran posibilitados de tener inclinaciones y posiciones verticales u horizontales que le permitan absorber con mayor efectividad la radiación solar así como también el CO₂ proporcionado. Adicionalmente, entre sus ventajas resalta el alto grado de control sobre el suministro de nutrientes, y el monitoreo en general, junto a una relativa estabilidad del cultivo al no encontrarse expuesta ante las invasiones de otras especies (Lee, Y. K. & Low, C., 1991; Lee, Y. K., et al., 1995).

Por otra parte, entre sus desventajas más notorias están los altos costos de capital que se requieren por utilizar materiales como el polietileno, vidrio, y metales para su fabricación. Puesto a que también exige el intercambio de gases junto a una apropiada circulación por espacios angostos, más mantenimientos por año, y niveles técnicos más elevados, se considera que resulta en un uso más intensivo de energía y en altos costos operacionales (Acién Fernández, F. G., et al., 2001).

Existen varios tipos de FBRs con diferentes características, requerimientos, cualidades, y rendimientos, que abarcan formas tubulares en diversas inclinaciones y distribuciones con rendimientos de 13 a 93 gr/m²/d en formas cilíndricas o columnas (Sánchez Mirión, A., et al., 1999; Ugwu, C. U., et al., 2003; Berzin, I., 2005), y 113,7 gr/m²/d en formas helicoidales (Tredici, M. R. & Zittelli, G. C., 1998). Se conocen ciertos diseños de plataforma que alcanzan 15,3 gr/m²/d (Hu, Q., et al., 1996; Tredici, M. R., et al., 1991).

Para éste estudio no se explora en detalle este sistema ya que sus costos son muy elevados, se encuentra en etapa experimental, y se necesitaría de profundos estudios para determinar cuál es el más eficiente de los diseños para una determinada ubicación geográfica o economía, y para poder manipular todas las variables que se ven inmersas en el funcionamiento de los FBRs para el cultivo de microalgas y su posterior conversión en biodiesel.

2.1.3. Selección de especies

La elección de la cepa de la microalga por cultivar es un factor determinante al momento de la obtención de lípidos para elaborar biodiesel y de esto dependerá el método de cultivo que será aplicado y todo lo que esto implica en cuanto a costos, requisitos, y rendimientos obtenidos. Por tal motivo y para resumir el amplio alcance del estudio de la selección de especies, se asume un promedio de producción de lípidos de aproximadamente 25% y 30% del peso celular seco de la biomasa de las especies de microalgas más comunes que han sido estudiadas en detalle bajo condiciones normales (Ben-Amotz, A., et al., 1985; Hu, Q., et al., 2008).

Se conoce que las familias de microalgas *Oocystaceae* (agua dulce) y *Dunaliellaceae* (agua salada) son las más utilizadas para los estudios de algas como fuente de aceite para biodiesel. Éstas poseen entre 23 y 32% de aceite, y un nivel productivo de 5-10 y 15-35 gr/m²/d respectivamente en el sistema de estanques abiertos y bajo condiciones específicas (Benemann, J. R. & Oswald, W. J., 1996; Chisti, Y., 2007).

Debido a la complejidad del cultivo de la especie de agua salada y a sus bajos rendimientos conocidos por los métodos actuales de cultivo y cosecha, se procede a evaluar con mayor profundidad la familia *Oocystaceae* para la presente investigación.

Se recomienda explorar las especies de agua salada *Dunaliellaceae* ya que poseen un gran potencial como materia para biodiesel en términos de uso de recursos debido a la abundancia de agua salada disponible a nivel mundial. La selección de especies para el presente estudio se dio en función a los respectivos estudios teóricos y empíricos compilados hasta el año 2011.

2.1.4. Cosecha de biomasa y extracción de aceite

Los últimos procesos implicados en el cultivo de microalgas son la cosecha de biomasa y la extracción de los lípidos de la misma. A diferencia de los cultivos terrestres cuya cosecha por lo general puede completarse en un solo paso, los cultivos acuáticos a nivel microscópicos como el de las microalgas requieren de múltiples procedimientos que incluyen alternativas como la floculación, coagulación, filtración, y centrifugación (Gudin, C. & Therpenier, C., 1986; Nakamura, T., et al., 2005).

Por su parte, la extracción de aceite se vale de procesos como el prensado de extracción, centrifugación, o uso de solventes, que son los más conocidos para dicho propósito.

2.1.4.1. Floculación y coagulación

Este proceso de cosecha implica la neutralización de las cargas negativas de las paredes celulares de las microalgas para acumularlas en forma de grumos y coágulos, en ciertos casos es preferible partir de un punto de sedimentación o biofloculación para mejorar la efectividad del proceso.

De todos los tipos de floculación existentes se le da prioridad a la floculación química por *polielectrolitos* en la que químicos orgánicos como el conocido *chitosan* que ocasionan la neutralización de las cargas negativas y forman grumos muy estables (Seri, 1987).

Se conoce que someter el cultivo a cargas eléctricas por medio de metales como el aluminio o el hierro crea el mismo efecto con niveles de eficiencia cercanos al 96% y a bajos costos, el proceso se conoce como electrofloculación (Poelman, E., et al., 1997).

2.1.4.2. Centrifugación

Al generar grandes fuerzas gravitacionales por medio de la rotación en altas velocidades se obtiene un proceso conocido como centrifugación en el que el cultivo de microalgas se ve despojado del agua y agrupado en elevadas concentraciones celulares. Este mecanismo de cosecha requiere mucha energía por lo general pero resulta en buenos rendimientos de biomasa (Molina Grima, E., et al., 2003).

2.1.4.3. Filtración y Microfiltración

Ésta técnica consiste en forzar, con presión o succión, el paso de la suspensión o líquido por pantallas de filtros en los cuales se acumulan las partículas de las microalgas y se las separa del agua (Shelef, G., et al., 1984). Las filtraciones más conocidas se dan en bandas y en prensas.

2.1.4.4. Campo Eléctrico Pulsado

Existen procesos de pre tratamiento de la biomasa húmeda y seca que se enfocan en facilitar el proceso de la extracción del aceite y en mejorar su rendimiento. Uno en específico podría cumplir dicha función y adicionalmente reducir los costos implicados, éste se conoce como Campo Eléctrico Pulsado o PEF por sus siglas en inglés y se conoce su uso para procesar alimentos.

El proceso consiste en la aplicación de ondas eléctricas especiales a la biomasa que rompen las paredes celulares de las microalgas, las cuales son casi indestructibles ante métodos físicos. Se recomienda que éste método se aplique en la etapa anterior a la extracción del aceite, y en teoría es un procedimiento idóneo para la cosecha de aceite puesto que deja expuesto el contenido oleaginoso de las microalgas que han sido tratadas.

Mediante el pre-tratamiento por PEF también eliminan los microorganismos contaminantes que pueden invadir los cultivos de tal forma que se puede obtener un aceite más puro.

2.1.4.5. Extracción de aceite

Esta etapa tiene lugar después de la cosecha y el secado de la biomasa de microalgas y posee varios métodos de los cuales sólo será tratado el prensado de extracción ya que es un método conocido y accesible en el que se aplica fricción y presión continua para conseguir la separación del aceite y la biomasa, el proceso es similar a la centrifugación, pero en esta etapa si se han realizado los procesos anteriores se logra consumir menos energía que si se aplicase directamente.

Los mecanismos empleados para este fin tienen su trayectoria en la extracción de aceites de ciertas semillas oleaginosas y otros frutos secos conocidos que se aplican para la elaboración de biodiesel. Los otros métodos por solventes y fluidos supercríticos no se consideran por sus altos costos.

2.2. Identificación de las variables – Modelos empíricos y teóricos a utilizar.

Para conseguir la identificación de las variables implicadas en el cultivo de microalgas marinas como fuente de aceite para biodiesel, basta con partir de la elección de una determinada especie de microalgas, posterior a lo cual, se debe considerar los macro factores o recursos naturales implicados en su desarrollo y expansión. Todo esto junto al sistema de cultivo teóricamente más apropiado para el Ecuador con respecto a la especie escogida. Finalmente se debe definir un determinado programa de cosecha, y otros supuestos generales adicionales.

2.2.1. Las variables

En éste caso específico se determina como especie más apta para el diseño del modelo matemático a la microalga *chlorella vulgaris* de la familia *oocystaceae*, ya que ha probado niveles aceptables de productividad y de contenido de aceite en condiciones naturales y en otras muy cercanas a las naturales sin mayores requerimientos, impedimentos, o condicionantes (Chisti, Y. 2007), en especial bajo factores climatológicos similares a los el Ecuador (Weyer, K. M., et al, 2009).

Los macro factores a considerar son aquellos descritos previamente, haciendo énfasis en la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y en la temperatura del aire, ya que éstos han probado ser indispensables en el desarrollo de las microalgas y en su alto desempeño (FAO, 2009). Se asume que todos los otros factores que no se utilizan en la modelación, se encuentran en sus niveles óptimos. Asimismo se fija el sistema de estanques abiertos en pista de capa fina como método predeterminado de cultivo por ser uno de los más sobresalientes entre los cultivos abiertos para exteriores (Schenk, P. M., et al., 2008). Los demás supuestos se especifican en la respectiva modelación.

2.2.2. Modelo de cultivo de algas

De los diversos modelos matemáticos tanto empíricos como teóricos y combinados que se han estudiado para la realización de este estudio, se decidió utilizar el modelo matemático de crecimiento de microalgas de Emil L. Smith (Smith, E. L. 1936) como base de la modelación ya que en este se considera el proceso biológico llevado a cabo por las algas en relación a la luz asumiendo que ésta activa el proceso de crecimiento al recibir CO₂, nitrógeno, y otros nutrientes en la cantidad justa.

Dicho modelo que ha sido sometido a un sinnúmero de experimentos desde su creación (Talling, J. F. 1957; Setlík, I., et al. 1970; Bannister, T. T. 1979) ha llegado a ser considerado como el más apropiado para cuantificar el crecimiento de las microalgas (Simmer, J. 1979; Lívanský, K. 1997). También se toman en consideración ciertas bases de un modelo teórico-práctico de crecimiento de la microalga *scenedesmus obliquus* de la familia *scenedesmaceae* (Lívanský, 1997), la cual comparte características y requerimientos de crecimiento y proliferación similares a las de la *Chlorella*. El modelo de E. Smith queda definido a continuación:

$$\mu = \mu_{max} \left(\frac{IF_0}{(K_I^2 + IF_0^2)^{0.5}} \right) \quad (1)$$

En la cual μ es la tasa de crecimiento del alga (gr/m^2); μ_{max} es la tasa específica de crecimiento a una determinada temperatura del cultivo; IF_0 es la radiación solar; y K_I es una constante de saturación luminosa³⁸ de la especie. La variable IF_0 de (1) se define en concordancia con la ley de Beer-Lambert-Bouguer o *ley Lambert-Beer*, en la que se relaciona al espectro luminoso con la materia en contacto, dadas sus características físicas. De esta manera se asume que para el caso del cultivo de microalgas la intensidad luminosa emitida por el sol es atenuada por la profundidad del cultivo, quedando expresada la ecuación de la siguiente

$$IF_0 = I_0 e^{-\mathcal{E}xh} \quad (2)$$

De esta manera IF_0 en (2) pasa a ser la radiación solar final lista para ser absorbida por el cultivo al ingresar en el sustrato y está dada en vatios hora (Wh/m^2); \mathcal{E} es el coeficiente de absorción de luz, el cual por el tipo de cultivo se convierte en el coeficiente de extinción³⁹ ($\text{gr}/\text{L}/\text{m}$).

³⁸ Punto de captación luminosa en el cual la microalga alcanza la mitad de su punto máximo de crecimiento (Chisti, Y., 2007).

³⁹ Coeficiente que representa el nivel al que la luz va perdiendo su intensidad a medida que se dirige hacia el fondo del cultivo.

X es la concentración celular de microalgas (gr/L); h es la distancia de la superficie al fondo del cultivo (m); y donde I_0 es la radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) que golpea la superficie del cultivo (Wh/m^2) la cual, con la finalidad de proporcionar un mayor realismo al modelo, queda expresada como se ve a continuación:

$$I_0 = \alpha(1 - \beta)S_d \quad (3)$$

Aquí se introduce un coeficiente β de reflexión que expresa la radiación que se refleja en la superficie antes de penetrar al cultivo; el nivel de RFA se fija como coeficiente α ; y el total de radiación solar bruta disponible por periodo de luz diario se representa como S_d (Wh/m^2).

Por otra parte, para representar la constante de saturación de luz de (1), el modelo más apropiado resulta ser la ecuación de *Arrhenius* ya que para este caso dicha ecuación relaciona una constante cinética de velocidad con la radiación solar en forma de temperatura a la que se producen determinadas reacciones en el cultivo incluyendo la fotosíntesis de las microalgas marinas para este modelo en particular (Simmer, J. 1979):

$$K_I = K_{tA} e^{\left[\left(\frac{E_L}{R}\right)\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{T_{CD}}\right)\right]} \quad (4)$$

En esta ecuación se muestra a K_I como el punto de luz en el que las microalgas se encuentran a la mitad de su tasa de crecimiento (Wh/m^2). Adicionalmente en la ecuación (4) se asume que K_{tA} es el valor de K_I cuando la temperatura del cultivo en el periodo de luz es de $t_{CD}=20$ ($^{\circ}\text{C}$), a lo que denominaremos como t_A , ya que se conoce que esa temperatura es la más cercana al mínimo requerido por la especie para entrar al llamado punto de compensación⁴⁰.

⁴⁰ Indicador del nivel de crecimiento originado de la fotosíntesis en función a la temperatura y la radiación solar del cultivo. Maximizar ese punto se conoce como punto de saturación de luz, y pasado ese punto se alcanza la fotoinhibición que activa el decrecimiento celular de las algas.

Por su parte el factor θ en (4) indica la temperatura absoluta⁴¹ del cultivo dado t_A en conformidad con el comportamiento de la variable anterior y se entiende que queda expresado como $\theta=273,15+t_A$, donde el valor 273,15 es la constante de conversión de Kelvin (K) a grados centígrados (°C); la variable T_{CD} también expresa la termodinámica de la ecuación en temperatura absoluta (K) y se define como $T_{CD}=273,15+ t_{CD}$.

El término E_L en la ecuación (4) representa la energía mínima necesaria para que la microalga realice la fotosíntesis (J/mol) y se conoce como energía de activación en el periodo de luz; finalmente la R es la constante universal de los gases ideales⁴² que relaciona energía, temperatura, y materia, tiene un valor de 8,314472 J/mol K.

Para adaptar la ecuación (1) en función del tiempo, se puede definir la siguiente ecuación de productividad considerando una profundidad del cultivo de h (Lívanský, K., 1997):

$$PPL = \mu_{pr} h L_D \quad (5)$$

Las variables introducida en (5) son; PPL que representa el nivel de producción de biomasa (peso seco) durante el periodo de luz (gr/m²/d); L_D que representa la duración del periodo de luz del un día (h); y μ_{pr} que simboliza el promedio de μ dada una profundidad desde cero "0" hasta "h" y se representa en la siguiente ecuación:

$$\mu_{pr} = \left(\frac{1}{h}\right) \int_0^h \mu(IF_0) dz \quad (6)$$

⁴¹ La medida escogida para la temperatura absoluta es el Kelvin (K). Cuando este indicador es cero se alcanza el cero absoluto en el que los átomos y moléculas alcanzan su mínima temperatura posible.

⁴² Son gases en los que se supone que el volumen de sus moléculas es igual a cero y no hay actividad entre ellas.

Tras reemplazar (2) en (1) e integrar la ecuación resultante de μ en conformidad con (6) se obtiene:

$$PPL = L_D \left(\frac{\mu_{max}}{\varepsilon} \right) \ln \left(\frac{IF_0 + (IF_0^2 + K_I^2)^{0,5}}{IF_h + (IF_h^2 + K_I^2)^{0,5}} \right) \quad (7)$$

Se entiende que en (7) la variable IF_0 es la RFA final disponible al entrar en contacto con la superficie del sustrato; mientras que IF_h es la RFA final que alcanza el fondo del cultivo. Debido a que el sistema escogido para la modelación es el estanque abierto en pista de capa fina, y en función a la naturaleza de la especie de microalga escogida, se asume que en la fase de crecimiento la RFA final es absorbida en su totalidad⁴³ al entrar en contacto con el cultivo. Por tal motivo el término relacionado a IF_h de la ecuación (7) se puede reemplazar con una constante K_I de saturación de luz que indica la optimización de la absorción, resultando en el siguiente modelo:

$$PPL = L_D \left(\frac{\mu_{max}}{\varepsilon} \right) \ln \left(\frac{IF_0 + (IF_0^2 + K_I^2)^{0,5}}{K_I} \right) \quad (8)$$

Así queda definida la ecuación (8) como modelo preliminar del rendimiento del cultivo de microalgas marinas en estanques abiertos en base a los estudios empíricos de *Simmer*; donde el término (μ_{max}/ε) se relaciona con un parámetro termodinámico empírico que se explica en la siguiente ecuación:

$$\sigma = \mu_{max} Q / (\varepsilon K_I) \quad (9)$$

En (9) σ es el coeficiente de máxima eficiencia fotosintética cuyo valor empírico es de 0,2 para la microalga en cuestión (Simmer, J. 1979).

⁴³ Se conoce que la acumulación de microalgas en su habitat natural genera sombra mutua entre las células y turbidez en el sustrato donde se encuentran por lo que la especie se vio forzada a evolucionar para maximizar el aprovechamiento de la energía solar (Gobbelaar, J. U., 1994).

El término Q en (9) puede ser definido como el contenido aproximado de energía libre en las células de la microalga *Chlorella* cuyo valor conocido es de 6,4 (Wh/gr) (Kubín, S., 1983). El despeje de la ecuación (9) es:

$$\mu_{max}/\varepsilon = \left(\frac{\sigma}{Q}\right) K_I \quad (10)$$

Si se reemplazan los valores de “ σ ” y de “Q” en (10) se obtiene lo siguiente:

$$\mu_{max}/\varepsilon = 0,03125K_I \quad (11)$$

Al reemplazar (11) en (8) obtenemos la ecuación final de la producción de biomasa por periodo de luz PPL (gr/m²/d)⁴⁴ para el cultivo de microalgas la cual queda expresada de la siguiente forma:

$$PPL = L_D(0,03125K_I) \ln\left(\frac{I_F + (I_F^2 + K_I^2)^{0,5}}{K_I}\right) \quad (12)$$

A partir de este punto resulta procedente introducir el concepto de la respiración celular de las microalgas en el periodo oscuro del día⁴⁵. En este periodo las microalgas pierden una porción de la masa ganada durante el periodo de luz⁴⁶ (Lívanský, K. 1997).

El periodo de oscuridad se expresa como $L_N = 24 - L_D$, y debido a que la respiración celular está relacionada a la temperatura del cultivo, se propone otra adaptación de la ecuación de *Arrhenius* para definir un coeficiente de respiración oscura de las microalgas en la ecuación (13).

⁴⁴ A pesar de que se indica “d” como día, se refiere expresamente al periodo de luz determinado por L_D dentro de las 24 horas del día.

⁴⁵ El periodo oscuro del día comprende desde el momento en que el sol se oculta hasta el amanecer.

⁴⁶ Esto se debe a que las microalgas necesitan utilizar una fuente de energía alterna para sobrevivir mientras no reciben energía externa (RFA).

$$\lambda = \lambda_{tB} e^{\left[\left(\frac{E_0}{R} \right) \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{T_{CN}} \right) \right]} \quad (13)$$

Aquí se entiende que λ es la tasa de respiración celular (días) en el periodo oscuro L_N (horas); el coeficiente λ_{tB} (días) representa un valor de λ cuando la temperatura del cultivo sin luz es $t_{CN}=20$ (°C) a lo que se denominará como t_B ; el término E_0 es la energía utilizada para la activación de la respiración celular en la oscuridad (J/mol); y finalmente T_{CN} es la temperatura absoluta en el periodo oscuro y se define como $T_{CN}=273,15+ t_{CN}$. Debido a que existen otros determinantes que influyen al momento de la respiración celular (Lívanský, K., 1997), se introduce la siguiente ecuación para integrarlos y así definir un modelo de cuantificación de la pérdida celular de esta especie durante el periodo de oscuridad:

$$PRO = \frac{\lambda X_{pr} V_S L_N}{A} \quad (14)$$

Donde PRO es la pérdida por respiración oscura (gr/m²/d) en peso seco de biomasa; V_S es el volumen de sustrato o suspensión en la que se encuentran las microalgas (L); y la variable A es el área o superficie del cultivo (m²). Los parámetros " V_S " y " A " de la ecuación (14) representan la profundidad del cultivo y se interrelacionan con X_{pr} (g/l) que implica un promedio del volumen de materia seca durante el periodo de oscuridad que a su vez se ve directamente relacionado con el régimen de cosecha del cultivo.

Para finalizar la modelación se asume que a la biomasa ganada durante el periodo de luz en (12) se le sustrae (14) en forma de pérdidas por respiración durante el periodo de oscuridad del cultivo. A partir de éste momento la ecuación resultante se conocerá como modelo de productividad de microalgas diario (24h) "**Alga-SP**", abreviado como SP_{24} (gr/m²/d) y se expresa en la ecuación (15).

$$SP_{24} = PPL - PRO \quad (15)$$

Al reemplazar (12) y (14) en (15) se obtiene la ecuación final:

$$SP_{24} = \left\{ \left[L_D(0, 03125K_I) \ln \left(\frac{I_F + (I_F^2 + K_I^2)^{0.5}}{K_I} \right) \right] - \left(\frac{\lambda X_{pr} V_S L_N}{A} \right) \right\} \quad (16)$$

Con este modelo matemático simple se realizará la simulación de producción a escala industrial de aceite de microalgas para el Ecuador en un escenario predefinido.

2.2.3. Modelo de producción industrial de aceite de microalgas marinas

Para establecer un modelo industrial de cultivo de microalgas en base al modelo *Alga-SP* se considera una serie de parámetros experimentales y/o empíricos, de los cuales la mayoría se fundamentan en diversos estudios y extensas investigaciones científicas realizadas durante los últimos 36 años sobre las algas y microalgas, sean estas en condiciones naturales, a nivel de laboratorio, y en cultivos que van desde escalas pequeñas hasta grandes escalas.

Los parámetros de las variables presentados en la *Tabla #11* se consideran como valores óptimos para la aplicación del modelo *Alga-SP* (SP_{24}) a escala industrial, ya que han sido recomendados por sus respectivos autores para propósitos de simulación y otras investigaciones científicas relacionadas.

Para lograr la simulación del modelo se aplicarán los parámetros a manera de constante para cada mes sin excepción. Así se expone que las variables de orden climatológicas serán las que definirán los rendimientos del cultivo de microalgas tal como se había previsto.

Variab les	Unidad de medida	Valor Supuesto	Fuente
α	$0 \leq 1$	0,45	Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983)
β	$0 \leq 1$	0,01333	Hecht, E. (2002)
ε	lg/m	0,8815	Li, H. P., et al. (2002); Jeffrey, S. W. & Humphery, G. F. (1975).
X	g/l	1	Livansky, K. (1997)
h	m	0,05	Livansky, K. (1997)
E_L	J/mol	26.640	Simmer, J. (1979); Livansky, K. (1997)
R	J/mol K	8,314	Livansky, K. (1997)
t_A	$^{\circ}\text{C}$	20	Simmer, J. (1979)
K_{tA}	Wh/m ²	16,93	Simmer, J. (1979); Livansky, K. (1997)
θ	K	293,15	Simmer, J. (1979)
σ	$0 \leq 1$	0,2	Simmer, J. (1979)
Q	Wh/g _{alga}	6,4	Kubin, S. et al (1983)
μ_{max}/ε	$0 \leq 1$	0,03125 K _l	(Simmer, J. (1979); Kubin, S. et al (1983))
L_N	horas (h)	24-L _D	Simmer, J. (1979)
E_O	J/mol	29.930	Livansky, K. (1997)
t_B	$^{\circ}\text{C}$	20	Simmer, J. (1979)
λ_{tB}	horas (h)	1,91x10 ⁻³	Livansky, K. (1997)
X_{pr}	g/l	1,5	Livansky, K. (1997)

Tabla #11: Valores considerados como óptimos para la simulación a escala industrial del modelo Alga-SP.

Fuente: Varias, indicadas para cada variable. Elaboración: Autor.

Las valores de las variables climatológicas que interactúan en el presente modelo son; radiación solar diaria (S_d), temperatura del cultivo en luz (t_{CD}), duración del periodo de luz (L_D), temperatura del cultivo sin luz (t_{CN}), y duración del periodo de oscuridad (L_N), éstas serán aplicadas al modelo en función de un determinado escenario y en base a una ubicación geográfica específica del país por su naturaleza de variables climatológicas. Por tratarse del Ecuador, país privilegiado en recursos y condiciones climáticas, se estima la existencia numerosas ubicaciones potenciales para el cultivo de las microalgas en cuestión.

2.3. Potencial de crecimiento - Simulación del modelo matemático Alga-SP en el Ecuador.

Para la realización del respectivo análisis económico y simulación del modelo se escogió una ubicación geográfica estratégica del país, que es la ciudad de Guayaquil ubicada en la provincia del Guayas.

Se eligió la ciudad de Guayaquil debido a que se observó que posee condiciones climáticas muy favorables para el crecimiento de las microalgas de entre las cuales resaltan los extensos periodos de radiación solar, la intensidad de la irradiación sobre la provincia del Guayas, las temperaturas elevadas durante el periodo de luz y las temperaturas no tan bajas de los periodos de oscuridad. Estas variables podrían ser útiles para observar el comportamiento del modelo sometido a niveles de factores climáticos tropicales superiores a los que se encuentran expuestos en estudios y experimentos previamente revisados, y que a su vez son valores considerados como intermedios dentro del territorio nacional. También resulta factible evaluar éste escenario debido a las altas cargas de CO₂ emitidas en la ciudad por la generación termoeléctrica.

2.3.1. Escenario Guayas – Guayaquil (Gye)

Las coordenadas geográficas de la ciudad de Guayaquil son: Latitud 02° 10' 00" S; Longitud 79° 54' 00" O, lo que resulta teóricamente beneficioso en términos de recepción de la radiación solar según estudios realizados sobre la energía solar y su espectro completo en el mundo (Bird, R. E. & Hulstrom, R. L. 1981), en los cuales se sugiere que las latitudes más cercanas a cero grados o a la línea ecuatorial son propensas a recibir mayores proporciones de radiación solar directa durante más tiempo, lo que se traduciría en mayores rendimientos y cultivos más estables de microalgas. Según información presentada por el Instituto Nacional de

Meteorología e Hidrología (INAMHI), los ciclos de intensidad solar en el país se han comportado muy parejos desde el año 2000 al 2007.

Se puede observar que existió una baja en la intensidad de radiación solar medida para el año 2008 (Gráfico #35), sobre la cual no se ha emitido una explicación clara por lo que se asume que las mediciones fueron tomadas en días altamente nublados.

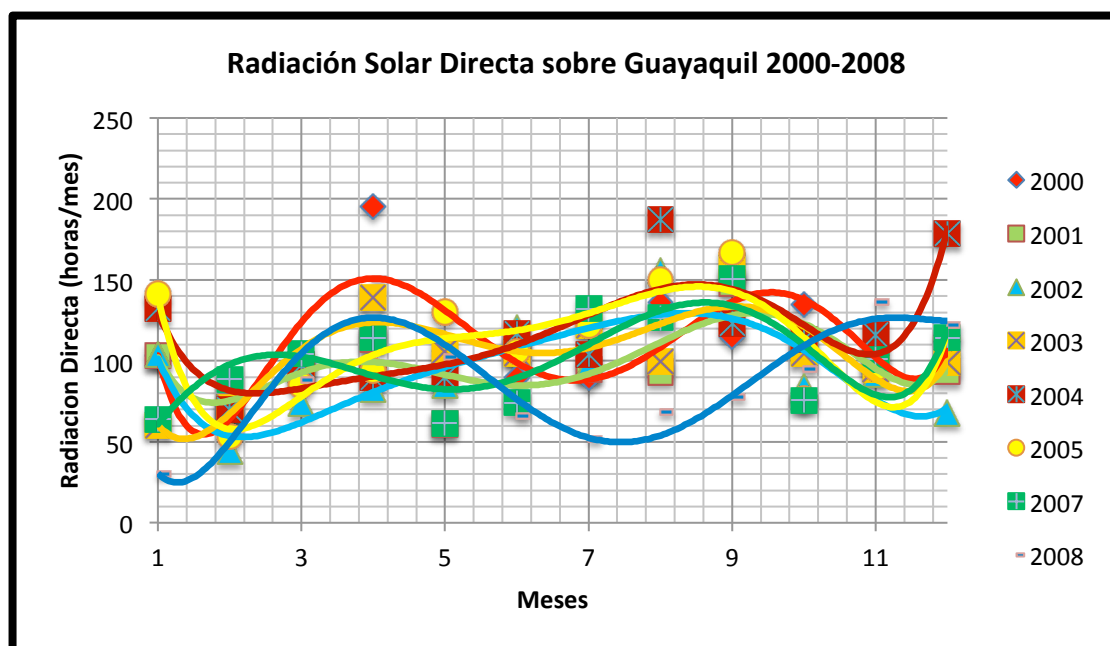


Gráfico #35: Horas de radiación solar directa sobre Guayaquil 2000 - 2008

Fuente: Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. Elaboración: Autor.

La metodología aplicada para obtener una referencia de las horas de radiación solar global por mes fue la siguiente:

1. Se promediaron las horas de radiación solar directa de cada mes desde el año 2000 al 2008 en conformidad con los datos publicados por el INAMHI para homogeneizar el comportamiento de la penetración de la radiación solar mensual.
2. Los datos obtenidos fueron convertidos a horas por día calendario y posteriormente a proporciones mensuales.

3. Se sustraen las horas de radiación directa (obtenidas en el cálculo previo) de la radiación global mensual expuesta en el calendario solar⁴⁷ para el periodo 2010 para no cuantificar dos veces la radiación directa.
4. Finalmente se toman los datos resultantes y se le aplican las proporciones obtenidas de los datos del INAMHI.

Una vez obtenidas las horas de radiación global (*Gráfico #36*) se puede someter el modelo a la carga respectiva de radiación solar global.

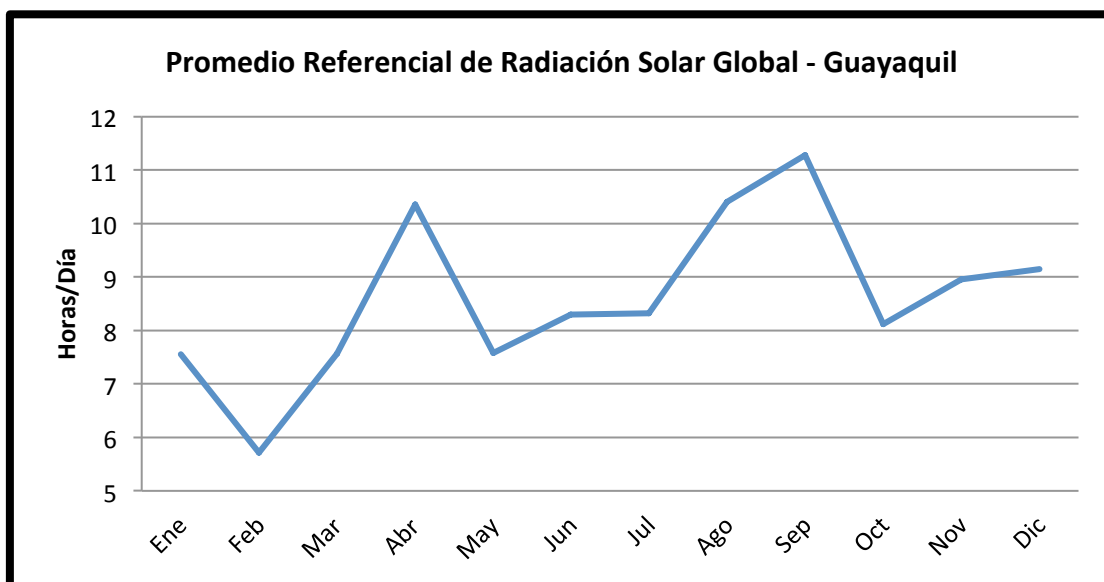


Gráfico #36: Promedio referencial de horas de radiación solar global sobre Guayaquil

Fuente: Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, y Calendario Solar. Elaboración: Autor.

Según el Atlas Solar del Ecuador (CONELEC, 2008), la insolación global promedio para la provincia del Guayas está dada según el *Gráfico #37*. Aquí se puede observar que los comportamientos de las variables climatológicas implicadas guardan una estrecha relación con respecto a los tiempos del año en los que toman lugar. Esto a su vez se podría considerar como los ciclos de producción de las microalgas si se las considera como un cultivo energético.

⁴⁷ Datos obtenidos de la empresa Tutiempo Network, S.L. sitio web oficial <http://www.tutiempo.net/> tomado en marzo del 2011.

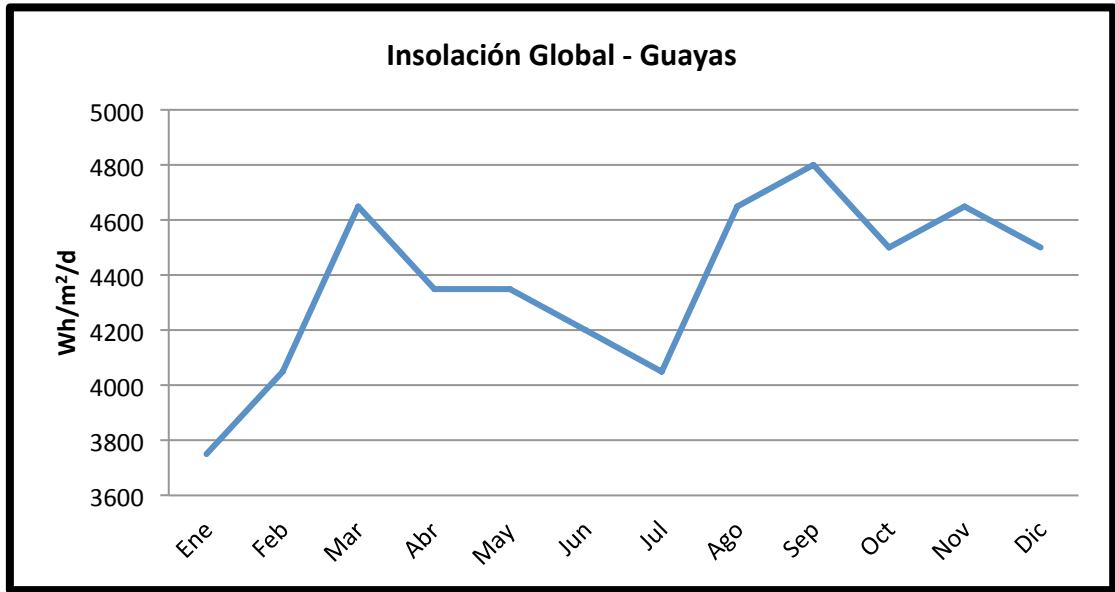


Gráfico #37: Irradiación Solar Global promedio mensual - Guayas

Fuente: Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica – CONELEC 2008. Elaboración: Autor.

Por su parte la temperatura del aire en periodos de luz y oscuridad que se muestran en el *Gráfico #38*, se observa como una variable correlacionada y a su vez cíclica que guarda concordancia con la variable anterior y permite dar paso a la simulación.

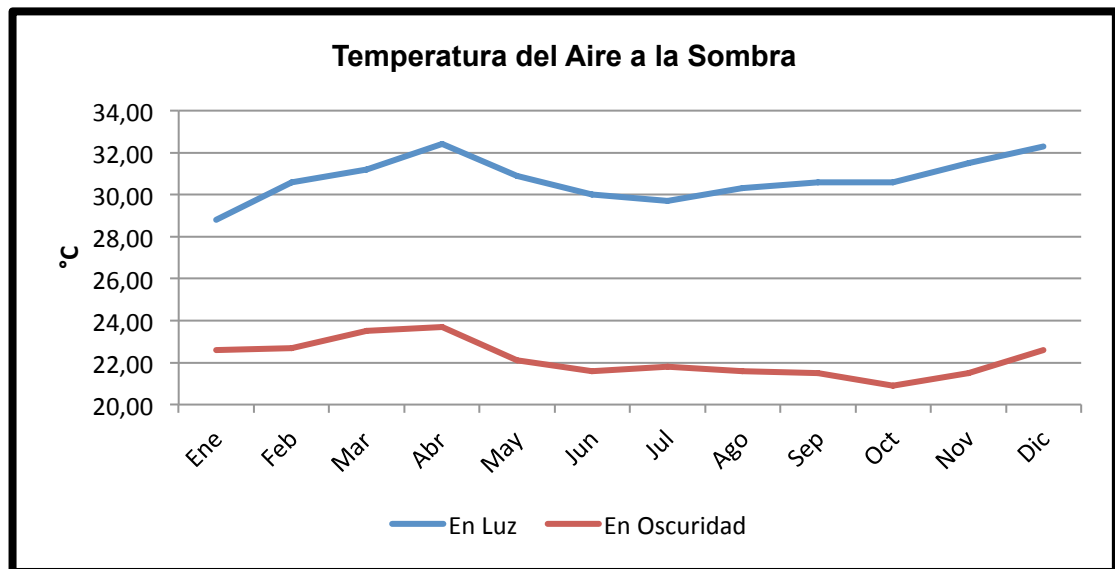


Gráfico #38: Temperatura promedio mensual del aire a la sombra en periodos de luz y oscuridad– Guayaquil

Fuente: Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI. Elaboración: Autor.

Teniendo en cuenta todos los parámetros, valores, y demás supuestos que han sido expuestos previamente y que guardan relación directa con el modelo de productividad “Alga-SP”, se debe asumir los siguientes comportamientos con el fin de realizar la simulación del modelo:

- El sustrato utilizado se compone por agua no salina de un pH no mayor a 8,5 y en presencia de urea como fuente de nitrógeno.
- Se asume un régimen de cosecha semi-continuo en el que se retira parte del sustrato al momento en que la concentración celular de microalgas alcanza 2 gramos por litro (g/l peso seco) y se rellena el faltante con agua reciclada hasta llegar a 1 g/l de concentración.
- La temperatura del cultivo es la misma que la del aire por tratarse de cultivos de capa fina. No requiere inoculación por el tipo de cosecha.
- El comportamiento de los valores diarios para cada mes se repite por cada día del mes de forma exacta (para obtener valores mensuales y posteriormente anuales) y se asume la inyección precisa de CO₂.

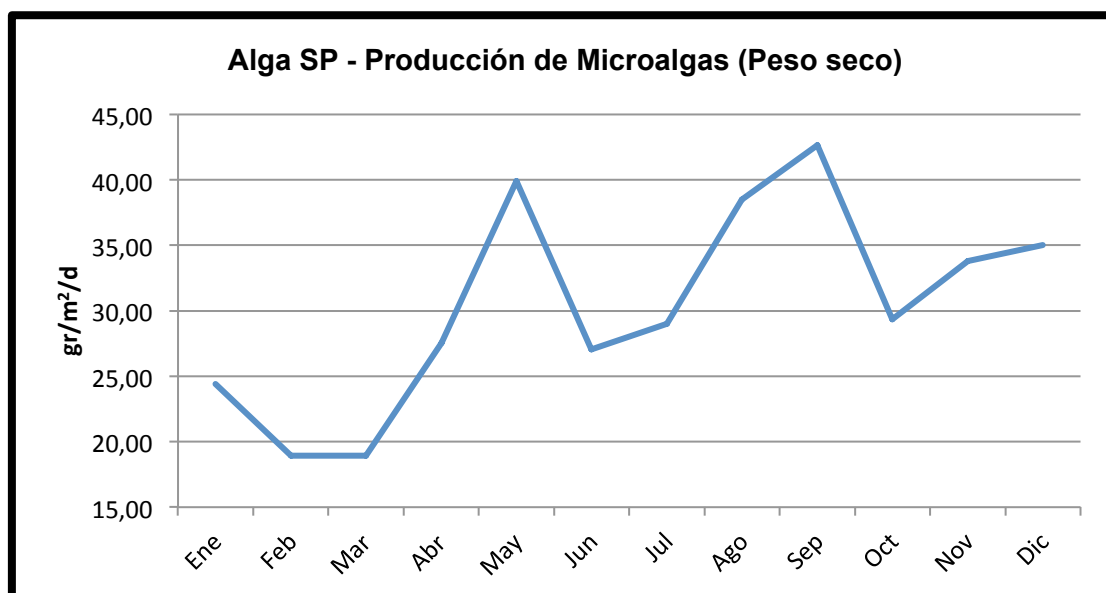


Gráfico #39: Simulación del modelo de productividad de microalgas “Alga-SP” Escenario Guayaquil.

Fuente: Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, y Calendario Solar, Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica – CONELEC 2008, Tabla #11. Elaboración: Autor.

En concordancia con todo lo antes expuesto se obtienen los rendimientos del cultivo de microalgas según la simulación del modelo planteado en la presente investigación (*Gráfico #37*) para el escenario Guayaquil asumiendo que los niveles de micronutrientes y otros factores no considerados en el modelo (CO₂, minerales, etc.) se encuentran en su nivel óptimo. De los resultados se genera un promedio mensual de productividad teórica de biomasa (peso seco) de microalgas de **30,43 gr/m²/día** que a su vez se encuentra dentro del promedio empírico de 31 a 35 gr/m²/día (Doucha, J. & Lívanský, K., 2006; Chisti, Y. 2007).

Si se asume que la especie de microalga escogida posee un 30% de contenido oleaginoso, lo cual es un valor realista para la *Chlorella*, y luego de realizar el cálculo se anualiza el resultado, el rendimiento del cultivo se ubica en poco más de **36 mil litros por hectárea por año (L/ha/a)** (*Tabla #11*). Aquel rendimiento se encuentra una vez más dentro del rango empírico de productividad (42 mil L/ha/a) en sistemas de estanque abierto (Chisti, Y., 2007).

Con estos nuevos parámetros queda establecido el nivel de productividad teórico del cultivo de microalgas marinas en el Ecuador, con lo que se puede proceder al refinamiento de los escenarios “Base” y “Transporte Base” para completar la propuesta de la investigación.

CULTIVO	RENDIMIENTOS	
Etanol de Caña de Azúcar	6.320,00	L/ha/a
Aceite de Algas Marinas*	36.297,22	L/ha/a
Aceite de Piñón	2.000,00	L/ha/a
Aceite Oleico de Palma Africana	1.239,34	L/ha/a
Potencial Frontera Agrícola	9.925,07	miles has
*Rendimiento de Biomasa = 30,43 gr/m ² /d; 30% Aceite		

Tabla #12: Rendimientos de varios cultivos bioenergéticos en el Ecuador.

Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI, Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica – CONELEC, Tabla #11, (ANCUPA), Censo Palmero 2005 (FEDEPAL), ESPAC 2009 – INEC,. Elaboración: Autor.

2.3.2. Escenario Base Completo.

Para éste análisis es procedente recordar los siguientes aspectos:

- El “Escenario Base” definido en el primer capítulo propone un reemplazo progresivo de la oferta proyectada de Diesel No.2, de todos los sectores a nivel nacional, por Biodiesel en un periodo de 15 años.
- La transesterificación es un proceso obligatorio para elaborar Biodiesel y éste implica, entre sus fases, el uso de etanol anhidro como producto derivado de la caña de azúcar.
- Existe un potencial de expansión de la frontera agrícola en el país, el cual bordea los 10 millones de hectáreas.
- Finalmente, los rendimientos de los principales cultivos energéticos (*Tabla #11*) son cuantificados en función de su potencial como aceite vegetal apto para la transformación en biodiesel.

En el *Gráfico #40* se muestran los niveles potenciales de utilización de suelos para los cultivos mencionados.

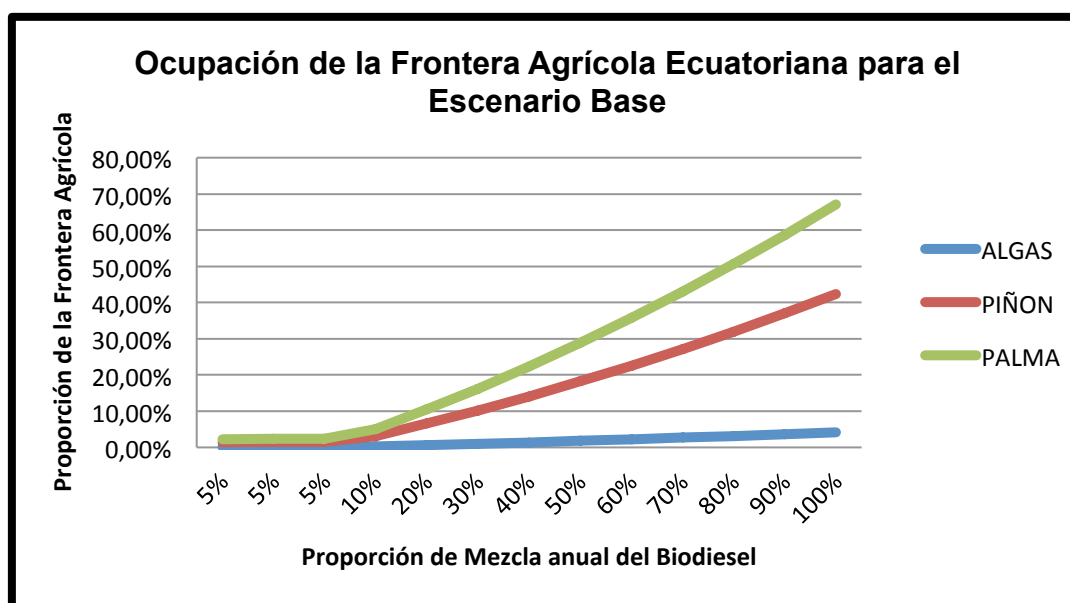


Gráfico #40: Requerimiento de expansión de la frontera agrícola nacional para satisfacer el escenario Base.

Fuente: (ANCUPA), Censo Palmero 2005 (FEDEPAL), ESPAC 2009 – INEC, Tabla #11. Elaboración: Autor.

Para cada caso se incorporó la superficie requerida para el cultivo de caña de azúcar, con lo que finalmente queda evidenciada la superioridad del cultivo de microalgas en términos de eficiencia del uso de tierras, a lo que se suma el hecho de que las superficies requeridas para éste cultivo no requieren ser cultivables ni fértiles, a diferencia del cultivo de palma africana. Es por esto que también se considera el cultivo de piñón, ya que en teoría este cultivo no requiere de tierras fértiles y así se lo podría utilizar como referencia para contrastarlo ante el cultivo de microalgas.

En síntesis, recordemos que según las estimaciones realizadas, para reemplazar el 100% del Diesel No.2 por Biodiesel en el año 2025 sería necesario expandir la frontera agrícola en cerca de 198,22 miles de hectáreas (2%) con cultivos de caña de azúcar y destinarlas netamente a la producción de etanol anhidro tal como se menciona al final del primer capítulo del presente estudio.

Adicionalmente, si se considera al cultivo de microalgas marinas como fuente de materia para cubrir el escenario base, sería necesaria una expansión del 2,22% del territorio disponible, lo que implica alcanzar cerca de 220,32 miles de hectáreas en cultivos de microalgas en un periodo de 15 años. En total se estima una ocupación de aproximadamente 4,22% de la superficie disponible del Ecuador al 2025 teniendo en cuenta las proyecciones de oferta y demanda junto a las capacidades expansivas supuestas para la frontera agrícola nacional.

Hay que recordar también que, en base a los resultados de la simulación, si el cultivo escogido para cumplir los requisitos del “Escenario Base” fuera la palma africana, sería necesario utilizar cerca del 67% del territorio potencial ya que para el año 2025 debería haber 6,45 millones de hectáreas cultivadas con palma.

Por su parte el piñón se encontraría en una mejor postura que la palma aceitera por requerir aproximadamente 4 millones de hectáreas para el mismo periodo demandando el 42,28% de la superficie considerada como potencial para la expansión agrícola nacional, de tal manera que resultaría aparentemente más favorable cultivar piñón en lugar de palma africana (*Gráfico #40*).

En términos de rendimiento por área cultivada, el cultivo de microalgas marinas junto al cultivo de caña de azúcar con fines energéticos se muestra como la mejor combinación para satisfacer la demanda de aceite vegetal y etanol anhidro para biodiesel en el “Escenario Base”.

2.3.2. Escenario Transporte Base Completo.

El escenario “Transporte Base” posee la misma tendencia que el escenario “Base” pero en una proporción menor tal como se puede apreciar en el *Gráfico #41*. Para este caso el área requerida para cultivar caña de azúcar es de 112, 47 miles de hectáreas (1,13%) mientras que a su vez el cultivo de microalgas abarcaría un total de 125,01 miles de hectáreas (1,26%).

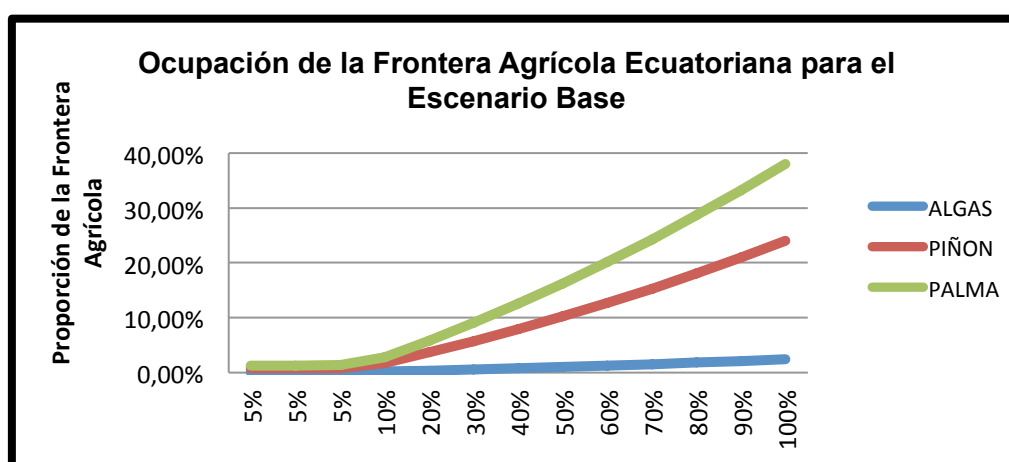


Gráfico #41: Requerimiento de expansión de la frontera agrícola nacional para satisfacer el escenario Transporte Base.

Fuente: (ANCUPA), Censo Palmero 2005 (FEDEPAL), ESPAC 2009 – INEC, Tabla #11. Elaboración: Autor.

A manera de contraste se puede resaltar que si se tratase de palma africana en vez de microalgas sería necesaria una ampliación de 3,66 millones de hectáreas (38%) según las estimaciones (*Gráfico #41*), una demanda de territorio casi 30 veces mayor a la del cultivo de microalgas.

En el caso del piñón la expansión está estimada en 2,27 millones de hectáreas (24% del total disponible), lo que implica un requerimiento de territorio 18 veces mayor al que requieren las algas en cuestión.

En resumen, con una ampliación de 237,48 miles de hectáreas (2,4%) sobre la frontera nacional agrícola, se podría satisfacer la demanda proyectada de Diesel No.2 del sector transporte terrestre del país al año 2025 bajo los supuestos, parámetros, y estimaciones previamente expuestos.

2.4. Resumen del capítulo

A través del capítulo fueron expuestos varios aspectos importantes sobre las algas y microalgas marinas, así como también sobre el cultivo y su aplicación en el Ecuador, y lo más destacado se resume de la siguiente forma:

- Se introdujeron conceptos importantes sobre el cultivo de microalgas marinas, tales como sus *factores naturales* y *sistemas de cultivo*.
- Se identificaron las variables principales del cultivo de microalgas.
- Fueron elegidos el sistema de cultivo de *estanques abiertos en pista de capa fina*, y la especie a cultivar conocida como *Chlorella V*.

- Se formuló un modelo matemático simple para determinar el rendimiento del cultivo de microalgas denominado *Alga-SP*.
- Se establecieron los parámetros para la industrialización del cultivo en base a diversos estudios científicos experimentales.
- Quedaron expuestos los factores y el escenario potencial de la ciudad de *Guayaquil (Gye)*.
- Se realizó la simulación del modelo *Alga-SP* sobre el escenario *Guayaquil (Gye)*.
- Finalmente se aplicaron los resultados anteriores sobre los modelos *base* y *transporte base* previamente establecidos en el capítulo 1.

CAPÍTULO III. ESTUDIO DE LA DINÁMICA AMBIENTAL, ANÁLISIS ECONÓMICO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS GENERALES.

Se optó por establecer que el “escenario Transporte Base” es el único escenario que será revisado a lo largo del presente capítulo por encontrarse más delimitado que el “escenario Base”. Esto lo convierte en un diseño teóricamente más realista y aplicable a nivel nacional. El análisis ambiental que se presenta a continuación consiste en una breve evaluación de las variables que integran el *cultivo de microalgas* marinas y la *elaboración-aplicación del biodiesel* en el Ecuador desde el punto de vista de las emisiones de GEI, y del potencial de contaminación de agua y suelos.

Por su parte, el estudio económico implica una revisión de los costos de producción y costos de capital del sistema de cultivo de microalgas definido para el país, se realiza el análisis en relación a estudios empíricos y teóricos de diferentes autores, adicionalmente se realiza una adaptación con ciertos valores locales tales como costos de energía eléctrica, mano de obra, entre otros. Se incluye una evaluación de los costos de elaboración de biodiesel como producto final, con lo que se busca obtener el costo por galón de biodiesel de microalgas en función al “escenario transporte base completo” y con esto se pretende dejar establecidos los parámetros bajo los cuales la aplicación del modelo de biodiesel de algas marinas propuesto se podría considerar como viable para la economía ecuatoriana.

3.1. Estudio de la Dinámica Ambiental del Cultivo de Microalgas y del uso del Biodiesel.

El cultivo de microalgas marinas y la elaboración de biodiesel implican la utilización de CO₂ y otros recursos de interés público tales como el agua y el suelo los cuales involucran emisiones y contaminación potencial.

3.1.1. Balance de Dióxido de Carbono – Emisión y Captura de CO2

Se conoce que durante el cultivo, las microalgas absorben y procesan 1,8 toneladas de CO2 para constituirse en 1 tonelada de biomasa mientras emiten 1,8 toneladas de oxígeno (O2) puro (FAO, 2009). También se considera que bajo una oxidación del 99%, 1 galón de diesel No.2 se transforma en 10,1 kg de CO2 como resultado de la combustión (EPA, 2005).

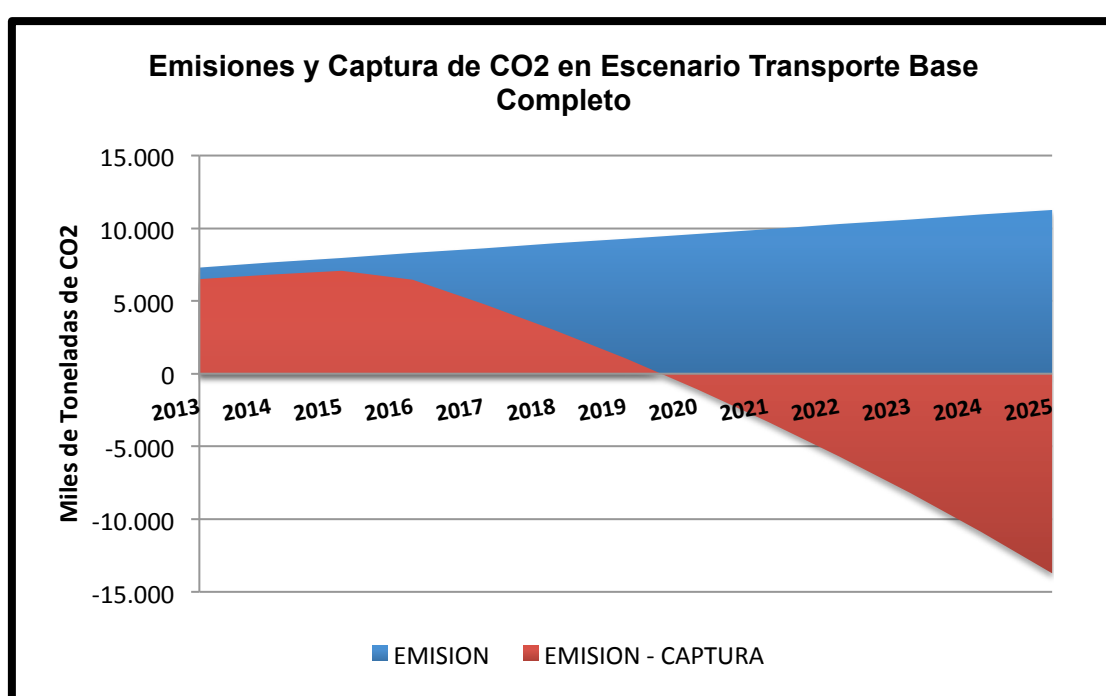


Gráfico #42: Emisiones y Captura de CO2 en el escenario Transporte Base Completo.

Fuente: FAO, 2009; EPA, 2005. Elaboración: Autor.

Con esta información en forma de supuestos se realiza el análisis ambiental del escenario *transporte base completo* desde el punto de vista de las emisiones generadas desde cultivo de microalgas hasta el uso del biodiesel. Por medio de este análisis se logró identificar que el sector transporte terrestre está supuesto a emitir entre 7,31 y 11,27 millones de toneladas anuales de CO2 desde el año 2013 al 2025 por combustión de diesel No.2 y biodiesel (Gráfico #42).

Se observa también que de forma paralela a las emisiones, los niveles de captura de CO₂ del cultivo de microalgas abarcan desde los 8,11 hasta los 25 millones de toneladas de CO₂ anuales durante el mismo periodo, alcanzando un punto de neutralización de emisiones a partir del año 2020 con capturas excedentes de 1,05 millones para el cierre de aquel año. Se estima que la neutralización del CO₂ podría alcanzar los 13,72 millones de toneladas de CO₂ al cierre del año 2025 bajo el esquema propuesto de biodiesel de microalgas marinas.

Este breve estudio evidencia para el escenario en cuestión, una faceta interesante del cultivo de microalgas marinas como sistema de captura de carbono y potencial beneficiario de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) en el mercado de carbono; lo que al mismo tiempo podría influir de forma positiva a partir de cierto punto en el precio del biodiesel frente al precio del diesel fósil ya que de existir bonificaciones económicas internacionales se las podrían canalizar como subproductos del cultivo de microalgas para contrarrestar los costos implícitos en el proceso tal como en el caso de la biomasa resultante posterior a la extracción del aceite.

3.1.2. Potencial de contaminación de aguas y suelos – Etapa de Cultivo

Durante el periodo de cultivo las microalgas requieren del uso de grandes cantidades de agua como sustrato para los estanques ya que éstos solo utilizan la tierra como soporte. Si se asume que para esta etapa se prefieren tierras infértiles cercanas a fuentes de gas de combustión para la obtención del CO₂, no solo se estiman bajos costos de adquisición y uso de la tierra sino que también se asume que no se presenta la figura de la contaminación del suelo (Alabi, A. O., et al., 2009). Por su parte, el agua empleada está sujeta a la contaminación por exceso de nutrientes o eutrofización si no se asume el respectivo control y tratamiento del agua utilizada.

La eutrofización se considera como un aspecto negativo del cultivo de microalgas marinas ya que puede desequilibrar el balance de las especies en el hábitat donde se libere el sustrato utilizado. Para reutilizar el agua se pueden aplicar tratamientos primarios y secundarios de aguas residuales y se posteriormente reciclar o recircular el sustrato. Para desechar el agua o para revertir la eutrofización y reutilizarla en un nuevo cultivo, es posible aplicar un tratamiento terciario de aguas residuales. El principio de reciclaje de agua se fundamenta en que el sustrato eutrofizado requiere un menor suministro de nutrientes y de inoculación de microalgas, por lo tanto se estima una reducción en los costos y al mismo tiempo se demanda menos agua (Alabi, A. O., et al, 2009).

En la fase primaria se apunta a remover las materias ajenas al cultivo mediante procesos de sedimentación, mientras que en la fase secundaria se busca remover materia orgánica y especies invasoras por medio de filtración. Para la fase terciaria de tratamiento de aguas residuales del cultivo de microalgas se busca remover los nitratos principalmente utilizando bacterias denitrificadoras (depredadoras de nitrógeno) (Mee, L. D., et al, 2000). Dado que se recomienda realizar un cambio de sustrato una vez al año para efectos de mantenimiento de las instalaciones y para evitar quiebres del cultivo u otras anomalías, se puede someter el sustrato a la denitrificación por bacterias hasta remediar la eutrofización y liberarlo al ecosistema, o bien reutilizarlo (Broxham, M., et al, 2001; Karanasios, K. A., et al, 2010).

Una ventaja en el caso del cultivo de microalgas propuesto es que no se utilizan químicos nocivos en ninguna etapa del cultivo ni en la cosecha por lo que la contaminación eutrófica puede ser controlada de manera efectiva y costo-eficiente por los métodos antes mencionados. Adicionalmente se asume que para el sistema propuesto, las rutinas de cosecha implican la reutilización del agua por el periodo de un año.

Se establece el supuesto de que posterior al año se realiza el tratamiento terciario respectivo y se reutiliza el agua tratada como base del nuevo sustrato para el cultivo. De esta forma se optimiza el uso del agua y se reduce el potencial de contaminación ambiental simultáneamente.

3.1.3. Potencial de contaminación de aguas y suelos – Etapa de utilización del Biodiesel de microalgas

El biodiesel posee un alto nivel de biodegradabilidad tanto en suelos como en entornos acuáticos, por lo que su elaboración y transporte implican un menor potencial de contaminación que el del diesel No.2. Los puntos de descomposición del biodiesel en el suelo y en el agua varían dependiendo de la proporción de la mezcla y del tipo de transesterificación realizada al aceite.

El periodo de referencia para describir la biodegradabilidad será de 28 días en base al estudio tomado como referencia. Se conoce que el aceite vegetal puro se degrada en aproximadamente 76% dentro de dicho periodo, el aceite vegetal transesterificado se encuentra entre un 84 y 89% donde la degradación más rápida se observa en los etil esterés mientras la más lenta se le atribuye a los metil esterés, y que el diesel No.2 alcanza una biodegradación cercana al 20% únicamente dentro de los 28 días. En el caso de las mezclas, se ha observado que a mayor nivel de biodiesel combinado con el petrodiesel, se incrementa la biodegradabilidad. Para mezclas B20 se alcanza un 30%, mezclas B50 un 50%, y B80 en aproximadamente 70% para el periodo en cuestión. En términos de toxicidad se conoce que la germinación en los suelos afectados por un derrame se retarda durante las tres primeras semanas pero a partir de la cuarta y sexta semana la velocidad de germinación se normaliza, esto se debe a que en las primeras semanas proliferan los organismos que degradan el biodiesel y demandan abundantes recursos (Peterson, C. L., & Moller, G., 2004).

La biodegradación en entornos acuáticos guarda una similitud con el caso de la del suelo. El aceite vegetal se degrada en 78,45%, para el caso de los aceites transesterificados entre 85,84 y 88,49% en donde los metil esterres se descomponen más rápido que los etil esterres a diferencia del caso del suelo, y el diesel No.2 se degrada en 18% al final de los 28 días (Zhang, X., et al, 1995).

Basado en los valores de biodegradabilidad previamente presentados, se puede concluir en que tanto los etil esterres (biodiesel) como el aceite de microalgas marinas poseen una gran ventaja en cuanto a potencial de contaminación e índice de toxicidad con respecto al diesel No.2. Esto implica que en caso de derrames en ambientes acuáticos o en suelos, la duración de los impactos adversos sería entre cuatro y cinco veces menor a la duración del daño causado por el diesel derivado de petróleo, lo que convierte a estos productos de origen vegetal en materias energéticas menos riesgosas de transportar y de utilizar.

3.2. Análisis Económico del biodiesel de microalgas

Para el análisis económico se tomará como base teórica la simulación del modelo matemático de cultivo de microalgas “Alga-SP” sobre el “Escenario Transporte Terrestre” con todos los supuestos y parámetros experimentales implicados y con los rendimientos resultantes expuestos en el capítulo anterior. Para efectos de delimitación se utilizará una proporción de la demanda final de dicho escenario, a la que se conocerá como “Escala Guayas” en la cual se considera que el Guayas es la provincia que demanda más diesel No.2 individualmente entre todas las provincias del Ecuador. Esto se evidencia observando que a través de los últimos diez años Guayas ha mantenido una tendencia de consumo promedio del 34% con respecto a la demanda total de diesel No.2 del país como se muestra en el *Gráfico #24*.

El último factor delimitante que se integra para el análisis económico es el tipo de mezcla tomado en relación a los años a evaluar, esto es; se asume la totalidad del año 2012 para los estudios de impacto ambiental, permisos, y construcción de la infraestructura que conformará la producción del aceite de microalgas y su refinamiento hasta la etapa de biodiesel, mientras que los años 2013, 2014, y 2015 se toman como años de producción a máxima capacidad. En las *Tablas #12 y 13* se resumen las generalidades que serán consideradas para el análisis económico y para el diseño industrial que compila la cadena completa de producción de biodiesel de microalgas.

Detalles	Valores	Unidades
Aspectos Generales del Modelo Alga-SP:		
País	Ecuador	-
Nombre de Escenario	"Transporte Terrestre"	-
Periodo	2013 hasta el 2015	-
Escala	Guayas - 34%	-
1% de la Superficie Total	17.139	Hectáreas
Demanda Estimada de Diesel No.2	6.388.247,80	Barriles
Tipo de Mezcla de Biodiesel	B5	-
Demanda Estimada de Biodiesel	319.412,40	Barriles
Rendimiento – Biomasa	111,07	Tm/ha/a
Biomasa Anual Requerida (Estimada)	166.954	Toneladas Métricas
Rendimiento – Aceite	228,3	Barriles/ha/a
Aceite Anual Requerido (Estimado)	343.172,30	Barriles
Dimensión Estanque Cultivo	250x40x0,05	Largo/ancho/alto
Cap. Área. Estanques Cultivo	10.000 (1 ha)	Metros Cuadrados
Cap. Vol. Estanques Cultivo	500	Metros Cúbicos
Dimensión Estanque Cosecha	1680x10x1,1905	Largo/ancho/alto
Cap. Área. Estanques Cosecha	16.800 (1,68 has)	Metros Cuadrados
Cap. Vol. Estanques Cosecha	20.000	Metros Cúbicos

Tabla #13 Aspectos Generales del Escenario Transporte Terrestre, Escala Guayas.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Anuarios Meteorológicos del INAMHI, Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica – CONELEC. (ANCUPA), ESPAC 2009 – INEC,. Elaboración: Autor.

Detalles	Valores	Unidades
Características y Requerimientos del Escenario y la Escala:		
<u>Cultivo:</u>		
Territorio Cultivado + Contingencia	1.503 + 97 = 1.600	Hectáreas
Estanques de Cultivo + Contingencia	1.503 + 97 = 1.600	Estanques
Electricidad	21,19	GW/a
Agua	800.000	Metros Cúbicos
CO2	319.880	Toneladas Métricas
Urea	9.774,12	Toneladas Métricas
<u>Cosecha:</u>		
Territorio	16,8	Hectáreas
Estanques	10	Estanques
Electricidad	35,32	GW/a
Agua	400.000	Metros Cúbicos
Chitosan	2190	Toneladas Métricas
<u>Transformación:</u>		
Aceite	365.284,25	Barriles
Etanol	216.610,90	Barriles
NaOH	688,85	Toneladas Métricas
Electricidad	14,13	GW/a
<u>Producto Obtenido:</u>		
Biodiesel Puro de Microalgas (B100)	339.993,43	Barriles
<u>Subproductos Obtenidos:</u>		
Biomasa Seca	124.397,84	Toneladas Métricas
Glicerol	30.235,33	Toneladas Métricas

Tabla #14: Compilación de Parámetros Considerados en el Diseño Industrial de la Bio-Granja Industrial de Microalgas. Escenario Transporte Terrestre, Escala Guayas.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Anuarios Meteorológicos del INAMHI, Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica – CONELEC. (ANCUPA), ESPAC 2009 – INEC,. Elaboración: Autor.

Para el caso específico del biodiesel de microalgas, existen investigaciones de costos que cuentan con fundamentos consistentes y que combinadas abarcan cerca de treinta años de experiencia, lo cual resulta muy útil al momento de definir los parámetros implicados en el diseño industrial de producción bajo el sistema y las especificaciones previamente descritas. Entre estos resaltan las inversiones y el consumo eléctrico por hectárea.

En la *Tabla #13* se muestran los elementos principales que conforman la cadena productiva de biodiesel de microalgas para la escala propuesta y los productos y subproductos resultantes. Para definir el territorio que se debe cultivar se utilizó la simulación del modelo Alga-SP sobre la escala “Guayas” hasta el año 2015 (*Tabla #12*), el área de cultivo de contingencia se calculó como un 6,5% (aleatorio) del área total requerida con el fin de minimizar los riesgos por externalidades, con esto se establece un territorio por cultivar de 1.600 hectáreas en total que aplica para los cálculos posteriores. La cantidad de agua requerida se basa en la suma de la capacidad volumétrica de cada estanque de cultivo y en éste se asume la reutilización del sustrato durante 1 año completo con opción a reutilizarla en los próximos años. Para establecer la cantidad de CO₂ requerida se asume que cada tonelada de microalgas requiere 1,8 toneladas de CO₂ para desarrollarse. La urea que consumirá el cultivo se define en base al criterio de composición de la microalga en cuestión, la cual supone una proporción del 5,5% de nitrógeno por cada tonelada de algas resultante (Alabi, A. O., et al, 2009).

El territorio requerido para la cosecha, y la cantidad de estanques, agua y floculante requeridos, están dados en función del área y volumen de cada estanque de cosecha, y de la rutina de cosecha establecida para el modelo Alga-SP, para este caso el régimen de cosecha implica un vaciado de los estanques en un 50% diariamente. Debido a que se debe completar el 50% que se remueve se asume que es necesario contar con un adicional del 50% del total del agua requerida para el cultivo, a este excedente se le llamará agua de recirculación. Por su parte la capacidad de almacenamiento de los estanques de cosecha sirve para estimar una cantidad de 10 estanques para éste propósito. El floculante (*Chitosan*) requerido se calcula bajo el supuesto de que se necesitan 15 mg/l para alcanzar cerca del 90% de floculación del sustrato (Divakaran, R., & Sivasankara Pillai, V. M., 2002). Finalmente la suma del área de los estanques de cosecha define el territorio requerido.

La cantidad de aceite para la transformación se fijó considerando el rendimiento del área de cultivo incluyendo el área de contingencia, adicionalmente aplicando los parámetros de la *Tabla #10* se obtuvieron los valores del etanol, y catalizador (NaOH) requeridos para obtener el biodiesel. Esto resulta en un valor estimado de **340 mil barriles** de biodiesel de microalgas por año, con lo que se excede la demanda proyectada hasta el año 2015 que es de aproximadamente 320 mil barriles. Los subproductos con potencial de comercialización en el mercado Ecuatoriano que resultan al final de la cadena productiva completa son la biomasa seca y la glicerina (Glicerol) en sus estados de materia prima sin refinamiento alguno. Todos los cálculos del consumo eléctrico detallados en la *Tabla #13* se basaron en un parámetro experimental de 44.154 kWh/ha/a para sistemas de producción de biodiesel similares al del modelo Alga-SP (Benemann, J. R. & Oswald, W. J., 1996). El consumo fue distribuido entre las etapas de cultivo, cosecha, y transformación en proporciones de 30, 50, y 20% respectivamente en función a la intensidad energética de cada fase.

La cadena productiva integrada para el escenario “Transporte Base” y su escala “Guayas” se resume en un diseño industrial que puede ser sometido a modificaciones y que a su vez puede ser adaptado a diferentes “escalas” a lo largo del país con lo que se apuntaría a alcanzar una cobertura total del escenario planteado para el sector del transporte terrestre del Ecuador.

3.3. Análisis de Costos

Uno de los aspectos más relevantes con respecto al biodiesel de microalgas es el de los costos, desde este enfoque se puede apreciar el potencial que pudiese llegar a tener el biodiesel en el mercado de los biocombustibles y su capacidad como competidor directo del diesel No.2 derivado de petróleo en términos de precios.

Se conoce que hasta el momento no hay evidencia suficiente que muestre que el biodiesel de microalgas se encuentra en capacidad de llegar con facilidad al mercado de los combustibles y de desafiar los precios de otros biocombustibles ni mucho menos del petrodiesel.

	Benemann, J. R., et al. (1982)	Alabi, A. O., et al. (2009)	Estudio Presente (2011)	Fuentes de Modificación
Área Cultivada	400 Hectáreas (\$/ha)	400 Hectáreas (\$/ha)	1600 Hectáreas (\$/ha)	
Rendimiento del Cultivo	30 gr/m2/d	9,38 gr/m2/d	30,43 gr/m2/d	Modelo Alga-SP
COSTOS DE CAPITAL (Dólares por Hectárea)				
Desbroce, topografía, nivelación del terreno	2.500	3.171	500	Zambrano, L. (2010)
Diseño y construcción de estanques, diques, recubrimientos, electrificación (Polietileno o Arcilla)	3.500 (Sin recubrimiento)	150.000 (Geo membrana de polietileno \$14/m2)	28.500 (Geo membrana de Bentonita-Arcilla \$2,5/m2)	Julin Liufangzi Bentonite Science & Technology Co., Ltd. (2011)
Mecánica de circulación - Rueda de Paletas	5.000		5.000	
Mecánica de Inyección de CO2, sistema de difusores	10.000	12.682	10.780	15% menos por mano de obra
Construcción de Estanques de sedimentación	7.000	8.878	7.546	15% menos por mano de obra
Cosecha - Floculación, centrifugación, y obtención de aceite	14.500	18.390	15.632	15% menos por mano de obra
Sustrato - Agua y Nutrientes (Nitrógeno)	5.200	6.595	6.595	
Tratamiento de desechos	1.000	1.268	951	25% menos por MO y materiales
Construcciones - Edificaciones, drenajes, caminos	2.000	2.536	2.156	15% menos por mano de obra
Electrificación - Infraestructura	2.000	2.536	2.156	15% menos por mano de obra
Generadores Eléctricos de Respaldo	0	18.000	0	
Equipos - Maquinarias e Instrumentación	500	634	634	
Adquisición de Terrenos	2.000	2.000	2.000 (Rural)	http://ecuador.inmobiliaria.com/
Subtotal	55.200	226.690	82.449	
Contingencia (15%)	8.280	34.004	12.367	
Total Costos de Capital	63.480	260.694	94.816	
Amortización de los costos de capital anuales	9.522 (15%)	36.487,09 (14%)	14.222,4 (15%)	

Tabla #15: Costos de Capital Implicados en producción de biodiesel de Microalgas Marinas.

Fuente: Benemann, J. R., et al. (1982); Alabi, A. O. et al. (2009); Cotizaciones. Elaboración: Autor.

Es por esto que en las *Tablas #14 y 15* se detalla un breve estudio de costos de capital y productivos en donde se compara los costos obtenidos por dos grupos de investigadores que publicaron sus resultados con una diferencia que bordea los 30 años entre cada una y se realiza una adaptación a los posibles costos para el caso ecuatoriano en donde se pone atención especial a las diferencias de costos de factores productivos como la mano de obra, las tarifas de los servicios básicos, y precios de insumos, mas no se modifican los factores que impliquen elementos técnicos o adquisición de tecnología. Con esto se pretende estimar una idea más consistente de donde se encuentra el Ecuador desde la óptica de los costos implícitos en el modelo de biodiesel de microalgas propuesto.

	Benemann, J. R., et al. (1982)	Alabi, A. O., et al. (2009)	Estudio Presente (2011)	Fuentes de Modificación
Área Cultivada	400 Hectáreas (\$/ha)	400 Hectáreas (\$/ha)	1600 Hectáreas (\$/ha)	
Rendimiento del Cultivo	30 gr/m2/d	9,38 gr/m2/d	30,43 gr/m2/d	Modelo Alga-SP
COSTOS DE PRODUCCIÓN Y OPERACIÓN (Dólares por Hectárea por año)				
<u>Consumo de energía eléctrica:</u>				
Mezclado	700	1.600	1.600	
Cosecha y transformación	500			
Bombeo de sustrato	570			
Bombeo de CO2	1.000			
Otros consumos	100			
Nutrientes (Urea)	900	3.000	1.833	6,11 Tm/ha/a. \$300/Tm
CO2	7.400	0	0	
Floculantes (Chitosan)	1.000	396	396	
Mano de Obra	3.000	20.000	2.400	\$400 mensuales
Eliminación de desperdicios	1.000	423	423	
Mantenimiento, seguros, e impuestos (5% de los costos de capital)	3.174	13.035	4.741	
Total Costos de Producción y Operación	19.344	38.454	11.393	

Tabla #16: Costos de Producción y operación Implicados en elaboración de biodiesel de Microalgas Marinas.

Fuente: Benemann, J. R., et al. (1982); Alabi, A. O. et al. (2009); Cotizaciones. Elaboración: Autor.

Para las adaptaciones de los costos de capital y productivos se asumió una reducción del 15% en los rubros que implican fuerza laboral y uso de elementos técnicos comunes, mientras que se descuenta un 10% adicional para los procesos que incluyan el uso de materiales como el caso del tratamiento de desechos. Se realizaron ciertas modificaciones en los costos de insumos como la urea, las geo membranas, y en ciertas tarifas de construcciones civiles como la preparación del terreno. Estas modificaciones reducen significativamente los costos de capital y de producción por hectárea. Con esto se puede proceder a la última etapa del análisis que consiste en la determinación de los costos por unidad de aceite producido y posteriormente en los costos por unidad de biodiesel transesterificado considerando valores estimados de los subproductos obtenidos del proceso.

SUBPRODUCTOS					
Biomasa Como Proteína	Balanceado de Maíz o Soja (Húmedo)	Balanceado de Maíz o Soja (Seco)	Biomasa de Microalgas (Húmeda)	Biomasa de Microalgas (Seca)	Fuente Adapt
Valor por tonelada métrica	40	132	15	115	Alabi, A. O. et al. (2009)
Concentración de Proteína	15%	30%	6%	26%	
Concentración de Almidones	0	0	10%	41%	
Nivel de Humedad	60%	10%	80,00%	10%	
Biomasa Como Carbohidratos	Maíz	Almidón	Biomasa de Microalgas (Húmeda)	Biomasa de Microalgas (Seca)	Fuente Adapt
Dólares por tonelada métrica	200	760	30	130	Alabi, A. O. et al. (2009)
Concentración de Proteína	8%	0%	6%	26%	
Concentración de Almidones	62%	88%	10%	41%	
Nivel de Humedad	15%	12%	80,00%	10%	
Glicerina (Glicerol)	Origen Vegetal Refi.	Origen de Sebo	Grado Farmacéutico	Vegetal Cruda	Fuente Adapt
Precio Por Contrato (\$/Tm)	793,66 a 970,03	749,57 a 947,99	1.036,17 a 1.256,63	No Aplica	ICIS Pricing (US Gulf) Enero 2011
Precio Spot (\$/Tm)	77,62 a 837,76	727,52 a 815,71	No aplica	286,60 a 374,79	

Tabla #17: Valores Tentativos de los subproductos resultantes de la extracción de aceite de la biomasa de microalgas y de la transesterificación del aceite.

Fuente: Alabi, A. O. et al. (2009); ICIS Pricing (US. Gulf); Cotizaciones. Elaboración: Autor.

Supuestos para cálculos de costos (Benemann, J. R., et al., 1982; *Amort*):

- La adquisición de terrenos se cotizó en un promedio de \$2.000 por hectárea para terrenos ubicados en áreas rurales cerca de Guayaquil.
- Las geo-membranas de bentonita de arcilla cumplen la misma función que las geo-membranas de polietileno, y tienen la misma efectividad.
- El CO2 no tiene costo, solo su transportación y distribución.
- Se necesita 1 trabajador por cada dos hectáreas de cultivo (Benemann, J. R., & Oswald, W. J., 1996), la remuneración es de \$400 mensuales (Salario mínimo más beneficios), \$2.400 por hectárea.
- La amortización de los costos de capital se realiza en 15% cada año.

En la *Tabla #17* se compilan los costos de capital y productivos del un estudio de costos citado del año 2009 en una economía desarrollada y se los compara con las adaptaciones de la presente investigación.

Aceite de Microalgas	Alabi, A. O., et al. (2009) – 9,38 gr/m2/d Densidad 1ml/gr			Estudio Presente – 30,43 gr/m2/d Densidad 0,92ml/gr		
	\$/ha	\$/Kg de Biomasa	\$/L de Aceite	\$/ha	\$/Kg de Biomasa	\$/L de Aceite
Costos de Capital Totales	260.694	7,61	50,76	94.816	0,85	2,61
Costos de Producción Totales Anuales	38.454	1,12	7,49	11.393	0,10	0,31
Costos de Mano de Obra Anuales	20.000	0,58	3,89	2.400	0,02	0,07
Otros Costos Anuales	18.454	0,54	3,59	8.993	0,08	0,25
Amortización de Capital Anual	36.487	1,07	7,10	14.222	0,13	0,39
Costos Anuales Totales Brutos	74.941	2,19	14,59	25.615	0,23	0,71
Ingresos por venta de Biomasa Anual	3.347	0,1150	0,65	10.107	0,1300	0,28
Costos Totales Netos Anuales	71.594	2,07	13,94	15.508	0,10	0,43

Tabla #18: Comparación de costos totales de una economía desarrollada y la economía ecuatoriana.

Fuente: Alabi, A. O. et al. (2009); Cotizaciones. Elaboración: Autor.

En aquella tabla se considera el subproducto de la biomasa resultante del proceso de extracción de aceite como un crédito para amortiguar los costos totales del aceite. En el análisis se obtienen estimaciones del costo en dólares por litro de aceite producido, y del costo en dólares por kilogramo de biomasa de microalgas producida correspondientes a la simulación del modelo Alga-SP. Aquí resaltan las diferencias entre implantar dicho cultivo en el Ecuador, y establecerlo en un país de bajos rendimientos y elevados costos. Para la venta de biomasa residual se fija un valor de \$130/Tm (*Tabla #16*) ya que se asume que la biomasa tendrá mayor aceptación en el mercado por su valor como carbohidrato.

Biodiesel de Microalgas	Nelson, R. G., & Schrock, M. D. (1994)	Estudio Presente (2011)
Fuente de Esteres	Sebo de Vaca	Aceite de Microalgas
Fuente de Alcohol	Metanol	Etanol
Catalizador	NaOH	NaOH
Capacidad de procesamiento (gal/a)	30.000.000	14.279.724
Adaptación	100%	51,14%
Costos de Capital Totales	15.000.000	7.671.000
Amortización de Capital (21,7%)	3.255.000	1.664.607
Costos Operativos Anuales		
Materiales y Suministros	32.869.127	44.238.819
NaOH	675.000	275.540
Metanol - Etanol	1.854.127	18.941.110
Sebo de Vaca - Aceite de Microalgas	30.160.000	24.972.489
Mano de Obra Operativa	120.000	33.120
Supervisores	60.000	16.560
Consumibles:	2.602.290	221.667
Electricidad	264.000	161.471
Gas Natural - GLP	2.290.590	0
Agua de Lavado	13.200	0
Membrana de cerámica 0,1 µm	0	60.195
Agua de Enfriamiento	34.500	0
Mantenimiento	300.000	153.420
Seguros	150.000	76.710
Costos Operativos Anuales Totales	35.921.417	44.690.615
Ventas y Administración	3.917.642	4.635.522
Capital Operativo	3.591.172	4.249.229
Amortización de Capital Operativo	448.896	531.154
Costos Totales Anuales	43.542.955	51.521.898
Créditos de Subproductos	6.840.000	11.331.899
Glicerina Cruda	6.300.000	11.331.899
Mezcla de Acidos Grasos Libres	540.000	276.156
Costos Netos Totales Anuales	36.702.955	39.913.843
Costo Total por Galón	1,22	2,80

Tabla #19 Análisis de costos de transesterificación del aceite de microalgas frente al sebo de vaca.

Fuente: Nelson, R. G., & Schrock, M. D. (1994); Cotizaciones al año 2011. Elaboración: Autor.

Para concluir el estudio económico de la cadena de producción industrial completa de biodiesel de microalgas se procede a comparar la transesterificación industrializada de una grasa animal conocida como sebo de res o sebo de vaca, con el proceso de transformación del aceite vegetal de las microalgas basado en la información expuesta durante éste análisis.

El estudio de costos tomado como base es el que se presenta en la *Tabla #18* (Nelson, R. G., & Schrock, M. D.,1994) y las adaptaciones realizadas para el caso del aceite de microalgas se basan en los parámetros y supuestos presentados a continuación:

- Debido a que la base referencial tiene una capacidad de refinamiento de 30 millones de galones y la requerida bordea los 14,28 millones de litros se estima una inversión de capital del 51,14% del valor referencial.
- Para el cálculo del costo anual del catalizador NaOH se utilizan las *Tablas #13 y 8* en las cuales consta respectivamente el valor de 688,85 toneladas métricas de catalizador y de \$0,40 por kilogramo de NaOH.
- El alcohol requerido se estima en función a los valores que se encuentran en las *Tablas #8 y 13* de forma similar al cálculo del catalizador.
- El costo del aceite de microalgas se toma de la *Tabla #17* junto a la cantidad de aceite requerida que se expone en la *Tabla #13*.
- Para fijar el costo de mano de obra se toma de referencia las 8.000 horas anuales que requiere una planta de 30 millones de galones y se realiza el supuesto de que son necesarios 4 operadores que laboran todo el año 6 horas diarias de lunes a viernes con una remuneración de \$3,75 por hora y los sábados y domingos durante 4 horas en una tarifa de \$7,5 por hora, con esto se ajustan las horas anuales de mano de obra a 7.296.

- Los supervisores son el 50% del costo de mano de obra directa.
- Para calcular el costo de la electricidad se utiliza la tarifa industrial de \$0,0898 por kWh vigente a junio del 2011.
- Se asume que no se requiere de gas u otro combustible para generar altas temperaturas ya que la transesterificación se da a temperatura ambiente conforme a los parámetros definidos en las *Tablas #7 Y 9*.
- Bajo el supuesto de la preservación del agua y de buscar el menor impacto ambiental posible se optó por considerar el sistema de micro-filtrado de aceite por membranas de cerámica como método de purificación del biodiesel en lugar de realizar lavados con agua. El sistema de origen chino para cumplir con esta función estima costos de \$1,16 por tonelada de aceite procesada y promete una purificación del 99,9%.
- Al no requerir altas temperaturas no se requiere agua de enfriamiento.
- Los valores de mantenimiento y seguros constituyen el 2 y 1% del costo de capital respectivamente.
- El rubro de ventas y administración se origina de un 10% de la amortización de capital más el 10% de los costos operativos anuales totales.
- Se calcula el capital operativo como la suma de la amortización de capital los costos operativos anuales totales y las ventas y administración prorrateada a 12 años.
- La amortización del capital operativo se asume como un 12,5% del capital operativo total.
- El valor obtenido por venta de glicerina pura está dado en base a la cantidad de glicerina expuesta en la *Tabla #13* por el valor de la glicerina vegetal cruda descrita en la *Tabla #16*.
- Los ácidos grasos libres comercializados como subproducto se calculan como el 51,14% de los obtenidos del sebo de res.
- Finalmente el costo total por galón de biodiesel transesterificado está dado como los costos netos totales anuales divididos para el rendimiento máximo obtenido en la elaboración de biodiesel.

El valor final obtenido del análisis económico refleja un costo de **\$2,80 por galón de biodiesel** de microalgas elaborado en base al modelo Alga-SP. Si se compara dicho valor (\$2,80) del biodiesel de microalgas con el costo por galón de diesel No.2 promedio del año 2010 (\$2,23) se puede observar una diferencia de \$0,57 que a pesar de ser relativamente menor, es suficiente para descartar al biodiesel de microalgas como competidor directo en las condiciones planteadas. En la *Tabla #18* se puede apreciar que todas las ventajas comparativas relacionadas al biodiesel de microalgas se ven mermadas por el alto costo del etanol utilizado para la transesterificación, que si bien de alguna forma se compensa con la venta de glicerina, no le permite al aceite de microalgas valerse de la ventaja que implica tener un costo de \$0,43 por litro (\$1,63 por galón). Cabe señalar que a un costo de \$1,63 por galón, el aceite de microalgas es superior al precio de comercialización del diesel No.2 en el país por lo que sin importar que el proceso de transesterificación logre ser significativamente más bajo, no lograría entrar al mercado a menos que cuente con un subsidio similar al que existe en la actualidad para el petrodiesel. La diferencia del actual subsidio con un posible subsidio del biodiesel de microalgas radicaría en que la figura de la salida de divisas se limitaría consistentemente.

Se conoce que las condiciones para el cultivo de microalgas pueden mejorar para obtener mayores rendimientos sin necesidad de incurrir en mayores costos, estas mejoras están sujetas a la alteración o modificación planificada de cualquiera de las variables que influyen en el crecimiento de dichas especies. Los cambios en los métodos de cultivo y cosecha son una opción que también se encuentra en constante investigación en la actualidad, al igual que las investigaciones genéticas que apuntan a potenciar las especies de microalgas hasta conseguir una especie idónea para la elaboración sustentable y sostenible de biodiesel a bajos costos con lo que se podría pensar en un fuerte competidor para los derivados de petróleo.

En base a todo lo antes expuesto se puede estimar que los parámetros más sensibles que podrían modificarse para conseguir una producción económicamente viable de biodiesel de microalgas en el Ecuador son los siguientes:

- Con respecto al cultivo y la cosecha, se debe obtener un rendimiento de biomasa de 40 gr/m²/d de una especie que cuyo peso esté compuesto de 50% de aceite. Así se alcanzaría un costo de \$0,20 por litro de aceite o \$0,7676 por galón.
- Con respecto a la transesterificación, sería necesario obtener el etanol anhidro a un precio de \$0,25 por litro o \$0,9463 por galón, o en su defecto resultaría igual de efectivo optimizar la transesterificación al punto de requerir únicamente el 50% del etanol que el proceso está supuesto a demandar.

Se crea el supuesto de que tan solo con modificar ambos parámetros de la forma en que se especifica se obtendría un costo final del biodiesel de **\$1,02**, siendo éste valor el precio actual al que se comercializa el diesel No.2 en el mercado ecuatoriano de tal forma que la optimización de los costos resultaría en un producto con la suficiente fuerza para ubicarse como competidor directo del diesel fósil en el Ecuador. Es preciso indicar que los parámetros, supuestos y demás factores implicados en la simulación y análisis del escenario “transporte base” escala “Guayas” se basan en su mayoría en evidencia empírica que por lo general proviene de países desarrollados donde por lo general los niveles de precios son superiores a aquellos de las economías emergentes, especialmente cuando se trata de tecnología, fuerza laboral, territorio, insumos, recursos naturales, entre otros, por lo que sería preciso obtener más información detallada de los costos de implementar este tipo de procesos industriales en el Ecuador con lo que se podría conseguir mayor certeza para respaldar futuros estudios de esta naturaleza y enfocar el desarrollo de proyectos relacionados como algo económicamente viable en el país.

Suponiendo que se alcance el nivel de costos previamente indicado (\$1,02 o menos) que permitiría una viabilidad económica y suponiendo que se aplique el escenario respectivo (*Gráfico #43*) se puede cuantificar, desde un punto de vista monetario, el impacto económico final de reemplazar el diesel No.2 por biodiesel de microalgas marinas a nivel de la provincia del Guayas.

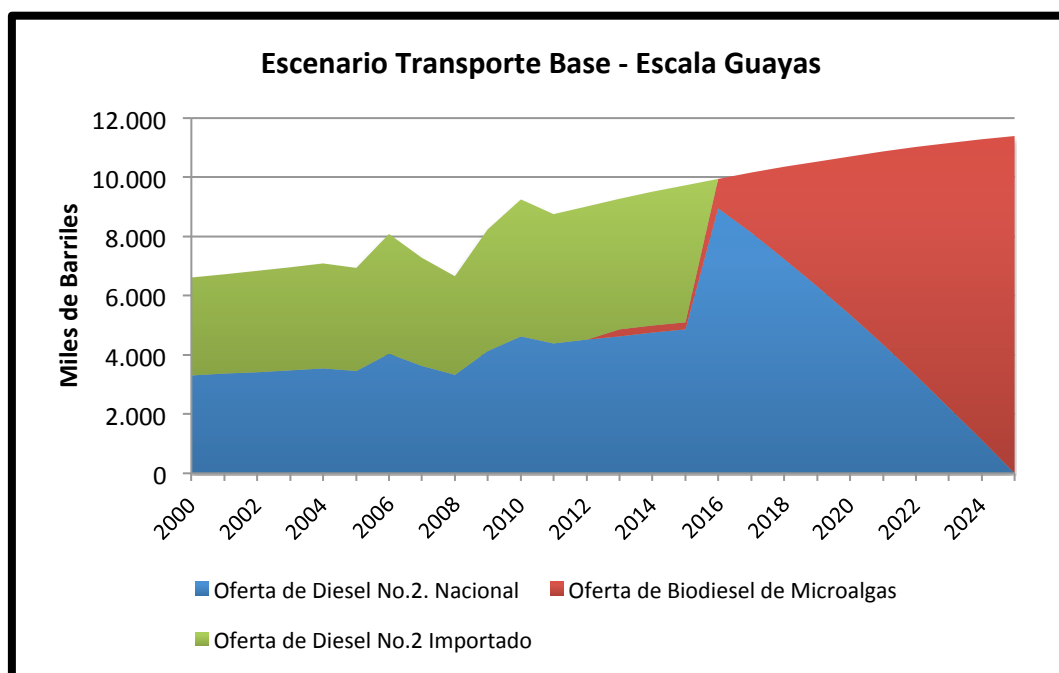


Gráfico #43: Escenario Transporte Base – Escala Guayas. Proyectado al año 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010. Elaboración: Autor.

Para este propósito también se deben considerar las proyecciones de precios de importación del diesel No.2 (*Gráfico #20*), y ciertos supuestos complementarios como lo son; la existencia de un punto de equilibrio en el cual los costos de elaboración y distribución del biodiesel de microalgas marinas se igualan a los ingresos por comercialización interna, la existencia y funcionamiento a máxima capacidad de la Refinería del Pacífico y de las demás refinerías del país, el comportamiento de la oferta y la demanda de diesel No.2, las tendencias de los comportamientos sociales y políticos involucrados, y todos los factores implícitos en el “Escenario Transporte Base - Escala Guayas”.

De esta manera se obtiene la valoración económica en cuestión la cual muestra que tan solo durante los primeros 3 años (mezcla del 5%) dicha implementación está supuesta a representar al estado un ahorro que bordea los **39,3 millones de dólares** tras eliminar la diferencia existente entre el valor del diesel importado y el valor de comercialización interna del mismo.

Se estima que de aplicarse el escenario respectivo, el país podría convertirse en exportador de diesel No.2 a partir del año 2016 ya que la RDP está supuesta a otorgarle al país una capacidad instalada lo suficientemente amplia para cubrir todas sus necesidades de consumo interno de derivados con lo cual la creación y mezcla de determinadas proporciones de biodiesel le permitirían al Ecuador gozar de excedentes de diesel No.2 que podrían ser exportados a precios similares a los que se importa dicho derivado en la actualidad alcanzando un valor cercano a los **8,43 miles de millones de dólares** al cierre del año 2025 (*Tabla #20*).

	Dólares por barril		Miles de dólares				
	Precio de Importación	Precio de Venta Interna	Costo de Importación	Venta Nacional	Ahorro del Estado	Ganancia del Estado*	Total
2013	106	55	24.621	12.720	11.901	0	11.901
2014	110	55	26.124	13.037	13.088	0	13.088
2015	114	55	27.640	13.338	14.302	0	14.302
2016	117	55	0	0	0	116.672	116.672
2017	121	55	0	0	0	245.590	245.590
2018	125	55	0	0	0	386.774	386.774
2019	128	55	0	0	0	540.208	540.208
2020	132	55	0	0	0	705.923	705.923
2021	136	55	0	0	0	883.654	883.654
2022	139	54	0	0	0	1.073.268	1.073.268
2023	143	54	0	0	0	1.274.569	1.274.569
2024	147	54	0	0	0	1.487.475	1.487.475
2025	150	54	0	0	0	1.711.373	1.711.373
Total					39.290	8.425.506	8.464.796

Tabla #20: Valoración Económica del Escenario Transporte Base - Escala Guayas. Periodo 2013 al 2025.

Fuente: BCE, Dirección Nacional de Hidrocarburos, y MEER, Estadísticas Hidrocarburíferas Mensuales, 2000 al 2010 y Precios proyectados. Elaboración: Autor.

*El supuesto para realizar el cálculo de ganancia por exportación es que se exporta al mismo precio de importación proyectado.

El diseño industrial que fue explorado previamente se resume en la siguiente imagen:

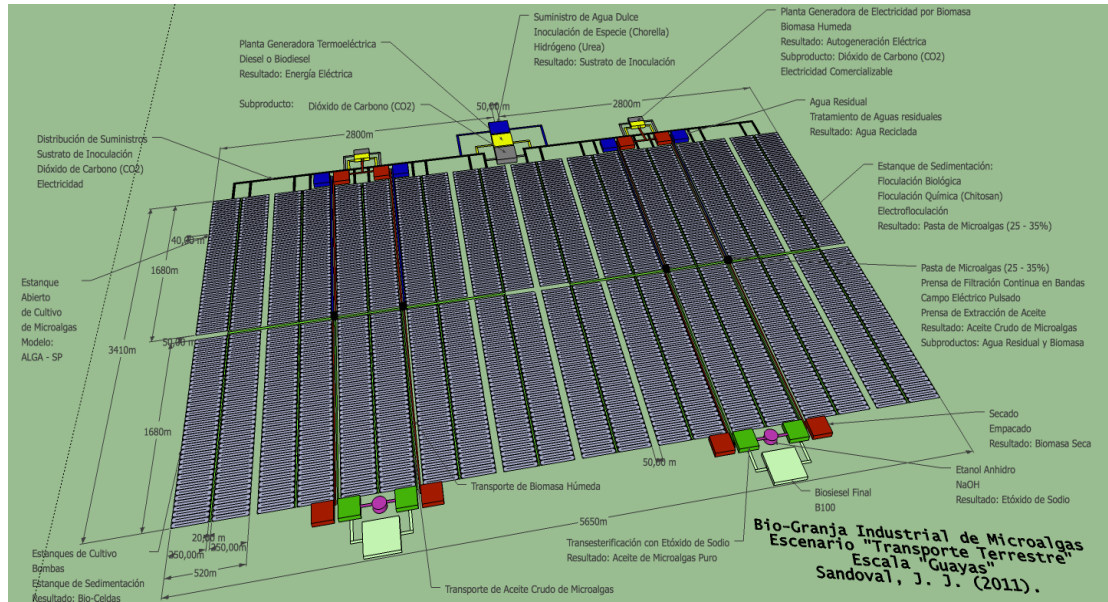


Gráfico #44: Diseño Gráfico de la cadena productiva de microalgas marinas para el escenario "Transporte Terrestre". Escala "Guayas".

Fuente: Capítulos 1, 2, y 3 de la presente investigación. Elaboración: Autor.

A la cadena productiva completa que ha sido expuesta al final de esta investigación se la denomina "Bio-granja Industrial de Microalgas: Escenario "Transporte Terrestre" - Escala Guayas." (Anexo #4).

Este diseño compila las bases teóricas y empíricas de varios autores que han sido revisados y citados a lo largo de la investigación en lo concerniente a diseño de cultivos en estanques abiertos, métodos de cosecha, y refinación de aceite a biodiésel y busca dar una idea gráfica al lector sobre la información que ha sido presentada.

Es así como luciría la Bio-granja de 1.600 hectáreas de capacidad de cultivo, incluyendo sistemas de cosecha y de transformación del aceite en biodiésel alcanzando un área final estimada de aproximadamente 1.926,65 hectáreas.

3.4. Aceptación del Biodiesel en el Ecuador

Se decidió realizar una encuesta de carácter cerrado en la que se plantearon 8 preguntas con las que se apuntó a obtener indicadores de conocimiento del tema del biodiesel, condiciones actuales de consumo de diesel, y potencial de aceptación del biodiesel. Paralelamente se realizó una entrevista para conocer el estado actual de los biocombustibles en el país y la percepción sobre el biodiesel de microalgas marinas.

3.4.1. Resultados de las encuestas

Los resultados de la encuesta se muestran a continuación de forma escrita y gráfica:

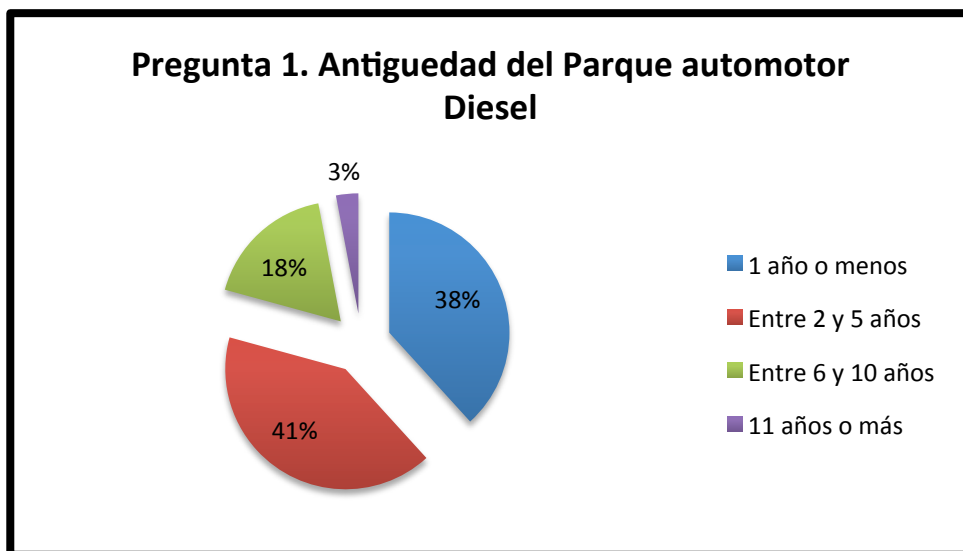


Gráfico #44: Pregunta 1. Antigüedad el parque automotor Diesel.

Con La Pregunta #1 se pudo conocer que tan solo el 3% de la muestra posee vehículos a diesel cuyos sistemas de inyección y otros componentes relacionados directamente al combustible podrían verse afectados negativamente por el uso de biodiesel o pudiesen tener inconvenientes al intentar se modificados por haber sido fabricados en el año 2000 o antes (*Gráfico #44*).

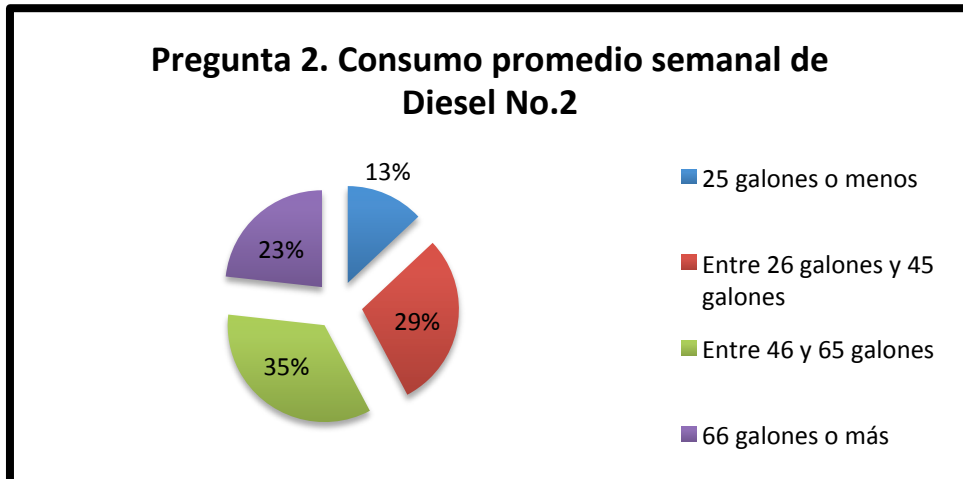


Gráfico #45: Pregunta 2. Consumo promedio semanal de Diesel No.2.

La Pregunta #2 sirvió para tener una idea consistente de los rangos de consumo de diesel No.2 de la muestra. Se logró conocer que el mayor consumo se da entre 46 y 65 galones semanales, es decir 184 a 260 galones mensuales lo que es un consumo bastante elevado en comparación al resto del parque automotriz a diesel (*Gráfico #45*).

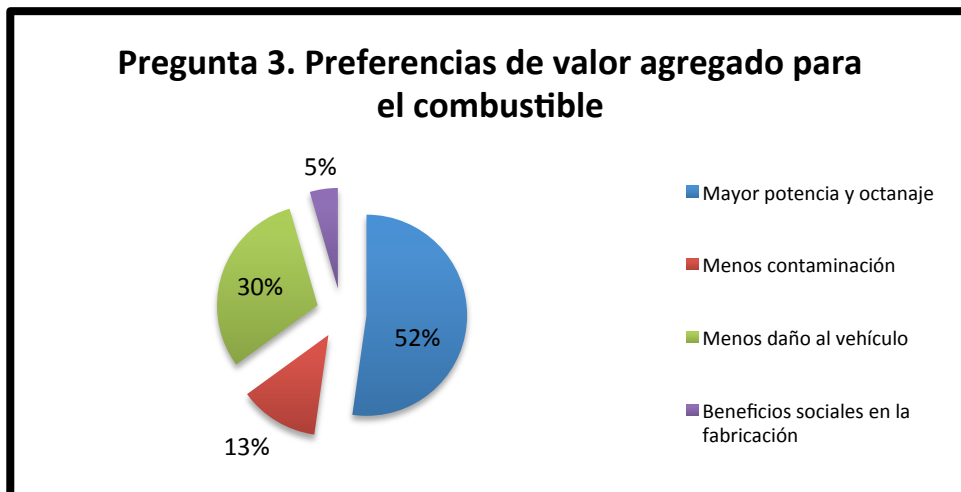


Gráfico #46: Pregunta 3. Preferencias de valor agregado para el combustible.

Con la Pregunta #3 se apuntó a conocer cual es el valor agregado que resalta en la mente de la muestra al momento de consumir un determinado combustible y se encontró que la mayoría con el 52% busca aumentar la potencia y el rendimiento del vehículo mientras que el 30% se inclina por alargar la vida útil de su vehículo (*Gráfico #46*).

Se conoce que el biodiesel no proporciona aumentos de potencia ni desempeño de los vehículos sino que se mantiene muy cercano a los proporcionados por el diesel No.2, de tal forma que el 52% de la muestra no se sentiría fuertemente atraído por un combustible que no le ofrezca un incremento del desempeño.

Por otra parte, la segunda tendencia más fuerte indica que les resultaría atractivo el biodiesel ya que este posee ventajas de preservación de los componentes mecánicos de los motores y sus sistemas de inyección por tener una mayor viscosidad y menores impurezas.

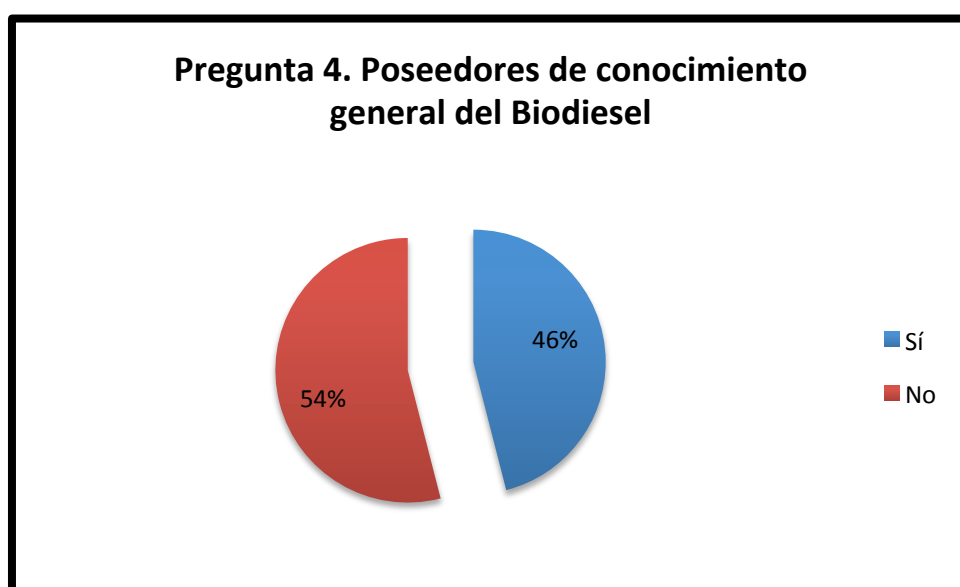


Gráfico #47: Pregunta 4. Poseedores de conocimiento general del biodiesel

Por medio de la Pregunta #4 se reveló que poco más de la mitad de la muestra (54%) no tiene conocimientos generales sobre el biodiesel, aquí se asume que desconocen completamente el tema del biocombustible en cuestión, o que si llegasen a tener alguna idea, ésta sería muy ínfima. Adicionalmente se evidencia una necesidad alta de fomentar la cultura de los biocombustibles ya que de esto podrían surgir nuevos interesados en los estudios de energías alternativas o simplemente en promover la causa de la protección ambiental (*Gráfico #47*).

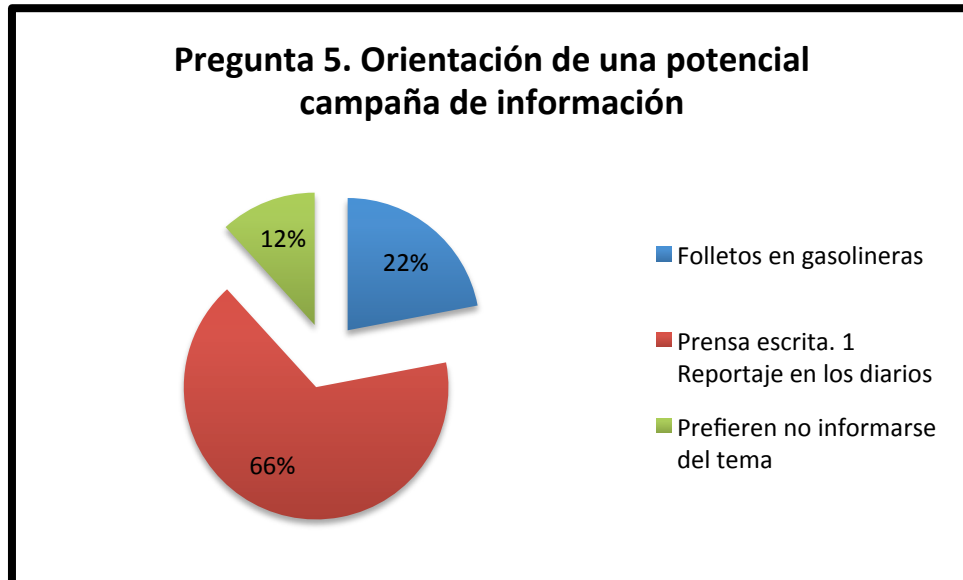


Gráfico #48: Pregunta 5. Orientación de una potencial campaña de información sobre biodiesel

La Pregunta #5 sirvió para conocer que el 66% de la muestra preferiría conocer más sobre el biodiesel, dando una muestra alta de interés en el tema y a su vez definiendo que el medio por el cual le resultaría más aceptable recibir la información sería a través de un medio de comunicación o prensa escrita. Se asume que bastaría con un reportaje en los diarios de circulación gratuita o de amplio alcance nacional.

La idea de una potencial campaña informativa surge de la necesidad de informar al 46% de los desinformados y de consolidar una información más consistente en el 54% que tiene conocimientos generales sobre el tema. Este movimiento no solo afectaría positivamente al biodiesel desde el punto de vista de la aceptación sino también está supuesto a servir como un mecanismo de concientización para el parque automotor que consume diesel No.2 derivado de petróleo (*Gráfico #48*).

Se estima que existe la posibilidad de que se incentive a consumir menos combustible en general y a su vez que se incremente el reemplazo y los niveles de mezcla o uso de biodiesel.

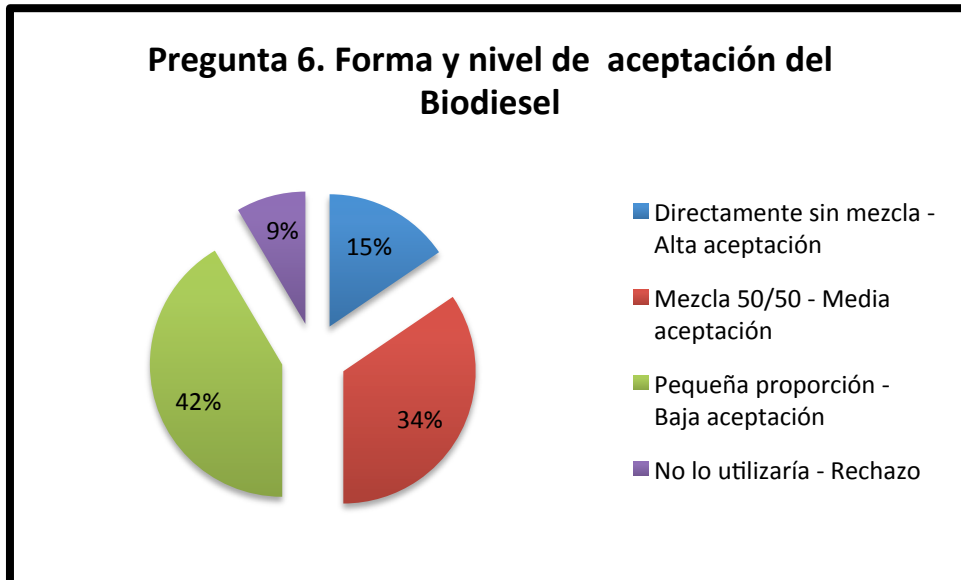


Gráfico #49: Pregunta 6. Forma y nivel de aceptación del Biodiesel

En la Pregunta #6 se obtuvo la información que se considera como la más relevante de la encuesta ya que muestra el nivel de aceptación que tendría el biodiesel para la población objetivo.

Se puede observar que al 42% de la muestra no le resulta atractivo mezclar altas cantidades de biodiesel con su consumo ordinario de diesel no.2 pero sí estarían dispuestos a realizar la mezcla aunque se trate de pequeñas proporciones. Esto puede ser debido al desconocimiento sobre las bondades y el funcionamiento del biodiesel que se ubica en el 54% según la Pregunta #4.

A su vez la segunda mayor tendencia posee un 34% y representa un nivel de aceptación medio en el cual el consumidor estaría dispuesto a combinar una mezcla de 50/50 de biodiesel y diesel No.2 en sus cargas de combustible. Si bien dicha proporción es tentativa se estima que los notorios beneficios del biodiesel sobre la preservación del motor, reflejados en la necesidad de menores cantidades de cambios de aceite y filtros, induciría a mayores mezclas que el 50% y hasta podrían alcanzar un uso íntegro de biodiesel. Se observó satisfactoriamente que el índice de rechazo alcanzó tan solo el 9% (*Gráfico #49*).

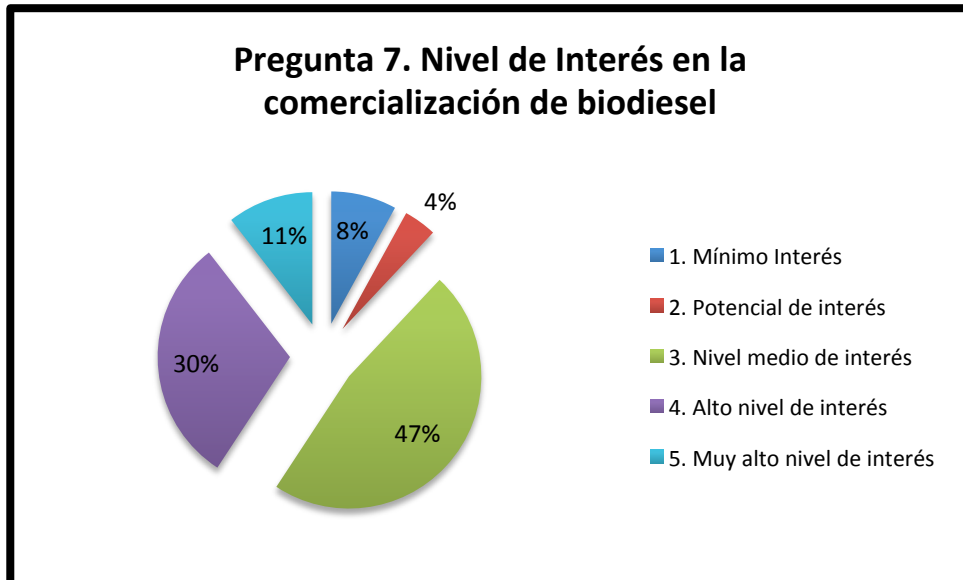


Gráfico #50: Pregunta 7. Nivel de interés en la comercialización del biodiesel

La información resultante de la Pregunta #7 expone que el 47% de la muestra posee un nivel medio de interés en que se comercialice biodiesel en el país, lo que a su vez muestra indirectamente que los individuos recibirían positivamente cualquier información relacionada al biodiesel y un 30% de la mostró un nivel alto de interés en dicha comercialización, lo que conforma un 77% de respuesta positiva ante una posible comercialización de biodiesel (Gráfico #50).

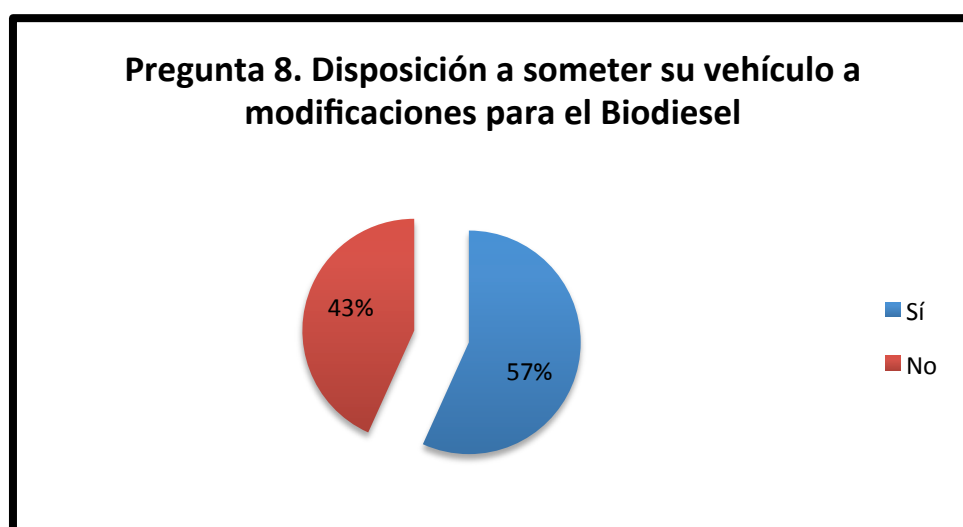


Gráfico #51: Pregunta 8. Disposición a someter su vehículo a modificaciones para el biodiesel

En la Pregunta #8 se determinó que a penas el 57% de la muestra estaría dispuesta, o aceptaría con facilidad, someter su vehículo a ciertas modificaciones (pequeñas) recomendadas por los fabricantes para tolerar sin inconvenientes el uso de biodiesel.

Las modificaciones más comunes implican el reemplazo de ciertas mangueras hechas de caucho natural que componen algunos tramos del sistema de combustible por otras mangueras hechas de materiales sintéticos, un mantenimiento del tanque de combustible para remover residuos de agua e impurezas que podrían causar reacciones jabonosas o corrosivas con el biodiesel, entre otras.

De igual forma el 43% de la muestra que no estaría dispuesto a adoptar los cambios puede estar sujeto a la falta de información o a la mala información obtenida de fuentes poco confiables o inducida por medio de rumores. Se estima que este resultado podría mejorar si se implementase una campaña informativa como la que se ha mencionado previamente.

En síntesis, el nivel de aceptación se encuentra en el rango definido como “bajo” pero este rango implica no demostrar rechazo a la idea de probar el biocombustible, solo indica que dicha proporción de la muestra incursionaría en el biodiesel por medio de pruebas con pequeñas mezclas, asumiendo que tanto el diesel No.2 como el biodiesel se comercializarían al mismo precio, la diferencia del consumo la marcaría la convicción del cliente que podría mejorar mediante una campaña informativa tal como se evidenció en los demás resultados de la encuesta.

El 34% de aceptación media y el 15% de aceptación alta son un buen indicio de que hay potencial en la comercialización del biodiesel, más aún cuando existe una respuesta positiva del 77% en cuanto a conformidad con la idea de tener más de 1 sola opción (diesel No.2) de combustible para los motores de ciclo diesel en el país (*Gráfico #51*).

3.4.2. Resultados de la entrevista

La entrevista realizada al Dr. Alfredo Barriga R., profesor principal de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) y director del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) Campus Prosperina, tuvo origen el día 1 de julio del presente año en la oficina del entrevistado dentro de las instalaciones de la FIMCP en la ciudad de Guayaquil. El esquema de la entrevista fue de orden discursivo y se basó en el artículo publicado en el diario “Expreso” en la ciudad de Guayaquil el día 27 de junio del 2011, titulado “Dos universidades obtendrán biodiesel usando microalgas”. Se buscó obtener información sobre el alcance del proyecto ya que el Dr. Barriga es uno de los dos encargados de la ejecución del proyecto.

Se logró verificar que el proyecto apunta a lograr una producción de biodiesel de algas marinas a escala de laboratorio en un tiempo de dos años, periodo en el cual se ha planificado identificar el potencial de algunas especies de microalgas, sistemas de cultivo (estanques abiertos o FBRs), sistemas de cosecha (centrifugación, prensado, etc.), uso de materiales para la transesterificación del aceite (metanol, etanol, KOH, NaOH, etc.), y otros parámetros relacionados, con lo que se espera dar origen a muestras de calidad aceptable conforme a los estándares de calidad del país.

Partiendo de esta entrevista y de dicha publicación, se logra apreciar que ya se están comenzando a dar más pasos hacia la búsqueda de la materia prima idónea para la producción de biodiesel en el Ecuador y que se está dando una oportunidad a las microalgas marinas para mostrar su potencial. El interés científico hacia estos microorganismos ya se puede observar a escala de laboratorio en el país mediante el proyecto conducido por el Dr. Barriga y sus colaboradores, y cuyos resultados se esperan dentro de los próximos 2 años.

3.5. Resumen del capítulo

El presente capítulo abarca un breve estudio de impacto ambiental, análisis económico y de costos, y un estudio de mercado para medir el estado actual y el posible ingreso del biodiesel al mercado ecuatoriano, y los resultados obtenidos se resumen a continuación:

- El estudio ambiental de emisiones muestra que de aplicarse la simulación del escenario establecido se lograría neutralizar las emisiones de CO₂ a partir del año 2020, punto en el cual la demanda de CO₂ del cultivo de microalgas llega a demandar tanto CO₂ como el que produce el sector transporte terrestre para los periodos dados. Posibilitando al Ecuador de incursionar en el mercado internacional de carbono.
- En cuanto al potencial de contaminación de aguas y suelos tanto en el caso del cultivo y cosecha para la obtención del aceite como para el caso de la transformación del aceite en biodiesel y su uso se expone que el nivel de contaminación sería muy inferior al potencial de contaminación que implica el diesel No.2 derivado de petróleo. Esta ventaja se le atribuye a la alta biodegradabilidad y sus puntos superiores de ignición.
- Para el análisis económico se estableció la escala “Guayas” cuyos parámetros, rendimientos, y requerimientos fueron obtenidos mediante la simulación del modelo Alga-SP y la adopción de los diferentes supuestos hallados a lo largo de los capítulos 1 y 2. Con esto se logró estimar una demanda proyectada de cerca de 340 mil barriles por año.

- Se hicieron análisis de costos para la cadena de producción completa de biodiesel de microalgas marinas aplicada a la escala “Guayas” previamente definida.
- El análisis de costos de las etapas de cultivo y cosecha desembocó en costos por galón de aceite de microalgas que alcanzan los US\$1,63 (\$0,43/litro).
- Por su parte el análisis de costos realizado sobre la fase de transformación del aceite de microalgas a biodiesel (transesterificación) resultó en un costo final de US\$2,80 por galón de biodiesel obtenido (\$0,74/litro). Lo cual supone que no hay una posibilidad inmediata de colocación del biodiesel de microalgas como un competidor directo del diesel No.2 derivado de petróleo ya que se encuentra por encima de su costo de importación promedio (\$2,23/gal 2010).
- A partir de ese supuesto en base a la sensibilidad de los parámetros implicados se estimó que el país debe alcanzar una productividad de biomasa de microalgas de 40 gr/m²/d con un contenido oleaginoso (aceite) del 50% para lograr un costo de US\$0,7676 por galón de aceite producido (\$0,20/litro). Mientras que simultáneamente se tendría que reducir la demanda de etanol anhidro para el proceso de transesterificación en una proporción del 50% con lo que se alcanzaría un costo de US\$1,02 por galón de biodiesel producido (\$0,2695/litro).
- Se supone que obtenerse los costos mencionados se podría competir con el petrodiesel directamente y dichos parámetros y condiciones obtenidas servirían como referencia para la producción viable de biodiesel en el país.

- Al final del estudio económico se expone de forma gráfica el esquema industrial de la cadena productiva completa de biodiesel de microalgas en un diseño denominado “Bio-granja Industrial de Microalgas. Escenario Transporte Terrestre, Escala Guayas”.
- Las encuestas realizadas evidenciaron un nivel de alta aceptación de biodiesel que alcanza el 15%, un nivel de aceptación media de 34%, un nivel bajo de aceptación de 42%, y un nivel de rechazo del 9%. Concluyendo en que la aceptación es de 91% frente a un 9% de rechazo. A esto se le adiciona un índice de potenciales interesados en que se de inicio a la comercialización de biodiesel que alcanza el 77%, lo que muestra las probabilidades de que los niveles de aceptación aumenten cuando se inicie la comercialización.
- Finalmente la entrevista realizada mostró que en el Ecuador se está queriendo incursionar en los biocombustibles de 3era generación y como muestra de aquello se ha dado inicio recientemente a un proyecto de investigación de biodiesel de microalgas a nivel de laboratorio, cuyos resultados se espera que estén listos dentro de los próximos dos años.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se culmina la investigación exponiendo los resultados que guardan mayor importancia en relación al problema y a los objetivos propuestos.

1. El análisis ambiental reveló que el cultivo de microalgas está supuesto a capturar cerca de 320 toneladas métricas (M.Tm) de CO₂ por año mientras que por la quema de diesel no.2 y biodiesel combinados emitirían cerca de 2,7 M.Tm de CO₂, resultando en una neutralización de carbono cercana al 12% que implica una liberación a la atmosfera de 2,38 M.Tm. Si el aceite para el biodiesel que se quema se obtuviese de otra fuente o del petróleo no existiría tal neutralización. El riesgo de contaminación de aguas y suelos que conlleva el biodiesel es casi 5 veces menor al que tiene el diesel no.2 ya que se biodegrada 5 veces más rápido.
2. El análisis de costos determinó que en las condiciones actuales del rendimiento de las microalgas para el Ecuador (según el Modelo Alga-SP) no es suficiente para ubicar al biodiesel de microalgas como competidor directo del diesel no.2, y se estimó que la proporción de etanol requerida para la transformación del aceite se excede en un 50% de lo máximo tolerable para una transesterificación rentable del aceite de microalgas. Se determinó que ambos parámetros se deben modificar para que el biodiesel de microalgas alcance el mismo precio de comercialización del diesel no.2 y pueda comenzar a competir directamente en el mercado ecuatoriano. El rendimiento requerido sería de 40 gr/m²/a con un 50% de su peso en aceite, y la proporción de etanol debería bordear el 25% del volumen de aceite que se pretende transformar; en su defecto el precio del etanol debería reducirse en un 50%.

3. Se concluye que para modificar dichos parámetros y lograr viabilizar el biodiesel en el Ecuador se necesita de una mayor inversión en investigación y desarrollo para incrementar los rendimientos de producción de biomasa de microalgas en los cultivos, aumentar su contenido oleaginoso, y para optimizar el uso del etanol.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones están estrictamente vinculadas a las conclusiones y toman un matiz político ya que se asume que de existir incentivos a la investigación o beneficios para las operaciones del modelo de biodiesel de microalgas marinas, probablemente los costos serían menores y las microalgas pudiesen destacarse como el competidor más fuerte frente al diesel no.2 derivado de petróleo.

1. Se recomienda investigar más sobre las microalgas de agua salada ya que de poderse explotar el potencial costero de nuestro país se ampliaría la frontera de posibilidades de producción del biodiesel de microalgas y posiblemente se incurriría en menores costos operacionales relacionados al agua dulce.
2. Los estudios sobre la optimización del proceso de transesterificación deberían apuntar a utilizar un recurso renovable como el etanol en vez del metanol (derivado de fuentes no renovables) y de esta forma se bajarían los costos de forma significativa para el producto final del biodiesel.
3. Debería fomentarse la cultura de energías renovables en el país, dado a que los recursos naturales nos favorecen y no se los aprovecha adecuadamente. Si se realizaran campañas de concientización o promoción de uso de biocombustibles y otras energías renovables, muy probablemente crecería la inversión en investigación y en

ejecución de proyectos. Se podría estimular a los estudiantes a que dediquen sus esfuerzos a varias ramas de la producción de biodiesel de microalgas, de tal forma que las bioenergías se ubicarían rápidamente como un eje de alto interés académico y de amplio alcance nacional.

4. El marco legal debería reformularse para estimular la inversión en proyectos de inversión relacionados a los biocombustibles de tercera generación como el biodiesel de microalgas.
5. Las tarifas de electricidad, aranceles de importación, costos de determinados insumos, y otros aspectos relacionados a la elaboración industrial de biodiesel de algas marinas deberían ser regulados por el estado para favorecerla.
6. Finalmente se recomienda explorar con más intensidad todo lo referente al biodiesel de microalgas marinas ya que su potencial como competidor del petrodiesel es cada vez más contundente. Se invita al lector a profundizar en los temas vinculados a las microalgas y de realizar una acción de referencia multiplicadora para promover el interés tanto de estudiantes como de científicos, políticos, e inversionistas. Tal es el fin de este estudio, por un Ecuador innovador creador de valor agregado, y por una economía ambientalmente sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

- Acién Fernández, F. G. Fernández, J.M., Sánchez, J. A., Molina Grima, E., & Chisti, Y. (2001). Airlift driven external loop tubular photobioreactors for outdoor production of microalgal: Assessment of design and performance. Publicación: Chemical Engineering Science, 56: p2721-2732.
- Alabi, A. O., Tampier, M., & Bibeau, E. (2009). Microalgae Technologies & Processes for Biofuels. Bioenergy production in British Columbia: Current Technology, Suitability & Barriers to Implementation. Columbia Británica, Canada. Editorial: Seed Science Ltd.
- Barriga, A. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Plan Piloto de Formulación y Uso de Gasolina Extra con Etanol Anhidro en la ciudad de Guayaquil. ESPOL – Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. FIMCP-CEMA.
- Bannister, T. T. (1979). Quantitative description of steady state, nutrient-saturated algal growth, including adaptation. Publicación: Limnol. Oceanogr. 24: p76-96,
- Becker, E. W. (1994). Microalgae: Biotechnology and Microbiology. Cambridge, Inglaterra. Editorial: Cambridge University Press.
- Ben-Amotz, A. (2007). Production of marine unicellular algae and power plant flue gas. An approach toward bioenergy and global warming. Presentación de diapositivas. Documento presentado en el evento: 2nd Algae Biomass Summit. San Francisco, California, Estados Unidos. Días 14 al 16.
- Ben-Amotz, A. (2008). Bio-fuel and CO₂ capture by marine microalgae. Presentación de Diapositivas. Documento presentado en el evento: Algal biomass Summit. Seattle, Washington, Estados Unidos. Octubre 23, 2008.
- Ben-Amotz, A., Tornebene, T. G., & Thomas, W. H. (1985). Chemical profile of selected species of microalgae with emphasis on lipids. Publicación: Journal of Phycology, 21: p72-81.

- Benemann, J. R., & Oswald, W. J. (1996). Systems and economic analysis of microalgae ponds for conversion of carbón dioxide to biomass. Pettsburgh, Pennsylvania, EE.UU. Editorial: Pittsburgh Energy Technology Center, US Department of Energy.
- Benemann, J., Tillet, D. M., Suen, Y., Hubbard, J., & Tornabene, T. G. (1986). Chemical profiles of microalgae with emphasis on lipids. Subcontrato x-k-4-04143-01. Georgia Institute of Technology. Georgia, Atlanta, Estados Unidos.
- Benemann, J.R. (2008). Open ponds and closed photobioreactors – Comparative economics. Presentación de diapositivas. Documento presentado en: 5th Annual World Congress on Industrial Biotechnology & Bioprocessing. Chicago, Illinois, Estados Unidos. April 27 al 30.
- Benemann, J.R., Van Olst, J. C., Massingil, M. J., Weissman, J. C., & Brune, D. E. (2002). The controlled euthophication Process: Using microalgae for CO2 utilization and agricultural fertilizer recycling. Tomado del sitio web oficial del University of New Hampshire Biodiesel Group: www.unh.edu/p2/biodisel/pdf/algae_salton_sea.pdf.
- Berzin, I. (2005). Photobioreactor and process for biomass production and mitigation of pollutants in flue gases. United States Patent Application. Pub. No.: US2005/0260553 A1, USA, Publicación: Nov. 24, 2005.
- Bird, R. E., & Hulstrom, R. L. (1981). Simplified Clear Sky model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surfaces. Reporte Técnico No. SERI/TR-642-761. Publicación: Solar Energy Research Institute.
- Bolin, B. University of Stockholm. (2007). A History of the Science and Politics of Climate Change: The Role of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Inglaterra. Editorial: Cambridge University Press.
- Borowitzka, M. A. (1992). Algal biotechnology products and processes: Matching science and economics. Publicación: Journal of Applied Phycology, 4: p267 – 279.

- Borowitzka, M. A. (1999). Comercial Production of Microalgae: Ponds, tanks, tubes and fermenters. Publicación: Journal of biotechnology, 70: p313-321.
- Borowitzka, M. A. (2005). Culturing microalgae in outdoor ponds. In R.A. Andersen (EJ.). Publicación: Algal culturing Techniques, p205-218. New York, Estados Unidos. Editorial: Elsevier, Academic Press.
- Bloxham, M., Nixon, E., McGovern, E., Rowe, A., Smyth, M. & Duffy, C. (2001). Winter Nutrient Monitoring of the Western Irish Sea- 1990-2000. Irish Marine Environment and Health Series. Rinville, Condado de Galaway, Irlanda. Editorial: Marine Institute.
- Brzezinski, M.A. (1985). The Si-C-N ratio of marine diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables. Publicación: Journal of Phycology, 21: p347-357.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Palmerstone North, Nueva Zelanda. Publicación: Biotechnology Advances, No. 25 (Año 2007), p294-306.
- CORPEI – Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones. (2008). Informativo #11-2008: El Aceite de Palma y sus Mercados. Boletines PEX. Tomado el 12 de abril de 2011 del sitio web: http://www.ecuadorcocoaarriba.com/archivos/documentos/_informativo_11_2008_aceite_de_palma_y_sus_mercados.pdf
- CONELEC – Consejo Nacional de Electricidad. (2009). Plan Maestro de Electrificación 2009 - 2020. Editorial: Conelec. Quito, Ecuador.
- CONELEC – Consejo Nacional de Electricidad. (2010). Estadística del Setor Eléctrico Ecuatoriano Año 2009. Editorial: Conelec. Quito, Ecuador.
- Dijkstra, A. J. (2006). Revisiting the formation of transisomers during partial hydrogenation of triacylglycerol oils. Publicación: European Journal of Lipid Science and Technology, 108: p249-264.
- Divakaran, R., & Sivasankara Pillai, V. M. (2002). Flocculation of Algae Using Chitosan. School of Environmental Studies, Cuchin University of

Science and Technology. Kerala, India. Journal of Applied Phycology 14: 419-422, Países Bajos.

- Dmitriv, K. (2007). Greenfuel Technologies: A case study for industrial photosynthetic energy capture. Tomado en Junio, 2011, de: <http://moritz.botany.ut.ee/olli/b/Dmitrov.pdf>
- Dmitrov, K. (2007). Greenfuel Technologies: Case study for industrial photosynthetic capture. Follow-up discussion. Tomado en junio 2011, de: <http://www.nanostring.net/Algal/CaseStudyFollowup.pdf>
- Doucha, J. & Livansky, K (2006). Productivity, CO₂/O₂ exchange and hydraulics in outdoor open high density microalgal (*Chlorella* sp.) Photobioreactors, operated in a middle and southern European climate. Publicación: Journal of applied Phycology, 18,811-826.
- Doucha, J., Straka, F., & Livansky, k. (2005). Utilization of flue gas for cultivation of microalgae (*Chlorella* sp.) in an outdoor open thin-layer photobioreactor. Publicación: Journal of applied phycology, 17: p403-412.
- Drapcho, C. M., Nhuan, N. P., & Walker, T. H. (2008). Biofuels Engineering Process Technology. New York, EE.UU. Editorial: McGraw-Hill.
- EPA, Environmental Protection Agency. (2005). Emission Facts: Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel. Washington DC, Estados Unidos. Editorial: EPA, Office of Transportation and Air Quality.
- Ecke, M. (2008). Comunicación Personal con: Bioprodukte - Dr.Steinberg. Kotze, Alemania. Octubre 6, 2008.
- Emerging Markets. (2011). Algae 2020 Study and Comercialization Outlook. Tomado el 11 de abril de 2011, del sitio web oficial: www.emerging-markets.com/algae/Algae2020StudyandCommercializationOutlook.pdf
- ERGAL - Energías Renovables para Galapagos, & MERR - Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. (2008). Proyecto ERGAL: Sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en la

generación de energía eléctrica en la Isla Floreana. Estudio de Factibilidad. Quito, Ecuador. Editorial: MEER.

- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). The State of Food and Agriculture – Biofuels- Prospects, risks and Opportunities. Roma, Italia. Editorial: Viale delle Terme di Caracalla.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). Algae-Based Biofuels: A review of Challenges and Opportunities for Developing Countries. Roma, Italia. Editorial: Viale delle Terme di Caracalla.
- Figueroa de la Vega, F. A. (2008). “Tablero de comando” para la promoción de los biocombustibles en Ecuador. CEPAL – Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Editorial: Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Gobbelaar, J. U., Soeder, C. J. & Stengel, E. (1990). Modeling algal productivity in large outdoor cultures and waste water systems. Publicación: Biomass 21: p297-314.
- Gobbelaar, J. U. (1994). Turbulence in mass algal cultures and the role of light/dark fluctuations. Publicación: Journal of applied phycology, 6: p331-335.
- Goldman, J. C. (1979). Outdoor mass algal cultures – II Photosynthetic yield limitations. Publicación: Water Research, II: p119-136.
- González, M. (2007). Sinergia Petróleo Biocombustibles. Los Biocombustibles: opción energética de los tiempos actuales. Ministerio de Energías y Petróleos. Quito, Ecuador. Presentación de diapositivas. Tomado el 11 de abril de 2011 del sitio web: [www.ceda.org.ec/descargas/ForoBio/3 PANEL/Mauro Gonzalez.pdf](http://www.ceda.org.ec/descargas/ForoBio/3%20PANEL/Mauro%20Gonzalez.pdf)
- Gudin, C., & Therpenier, C. (1986). Bioconversion of solar energy into organic chemicals by microalgae. Publicación: Advances in Biotechnological Processes, 6; p73-110.
- Harrison, P. J. & Berges, J. A. (2005). Marine Culture Media. In R.A. Andersen (Ed.). Publicación: Algal culturing techniques, p.21-34.

Amsterdam, Holanda. Psychological Society of America. Editorial: Elsevier Academic Press.

- Hecht, E. (2002). Optics. 4ta Edición. San Francisco, Estados Unidos. Editorial: Pearson Education.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación. Cuarta Edición. Iztapalapa, México D. F. Editorial: McGraw-Hill.
- Hili, A. M. & Feinberg, D. A. (1984). Fuel from microalgae lipid products. Energy from biomass: Building on a generic Technology base. (Contrato No. DE-AC02-83CH10093). Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, Estados Unidos. Publicación: Second Technical review meeting 23-25 april, 1984.
- Hisashi, K. & Ryuichi, S. (2001). A study on life cycle assessment of energy consumption and CO2 emissions in the manufacturing and transportation processes of nitrogen and phosphate fertilizers. Publicación: Japanese Journal of Farm Work Research, 36: p141-151.
- Hubbert, M. K. (1950a). Energy from Fossil Fuels. American Association for the Advancement of Science, Centennial: p. 171-177.
- Hubbert, M. K. (1950b). Discussion: Estimates of Undiscovered Petroleum Reserves por A. I. Levorsen, Proc. United Nations Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources, v. 1, p. 103-104.
- Hubbert, M. K. (1956). Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Drilling and Petroleum Practice. American Petroleum Institute. Editorial: Shell Development Company Exploration and Production Research Division. Houston, Texas, Estados Unidos.
- Hu, Q., Gutterman, H., & Richmond, A. (1996). A flat incline, modular photobioreactor (FIMP) for outdoor mass cultivation of photoatotrophs, Publicación: Biotechnology and Bioengineering, 51: p51-60.
- Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M., et al. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel

production: Perspectives and advances. Publicación: The plant journal, 54: p621-639.

- IEA – International Energy Agency. (2009). World Energy Outlook 2009. Editorial: International Energy Agency. Paris, Francia.
- IEA – International Energy Agency. (2010). World Energy Outlook 2010. Editorial: International Energy Agency. Paris, Francia.
- INEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2009). Anuario de Estadísticas de Transporte 2009. Quito, Ecuador. Tomado el 11 de abril de 2011 del sitio web oficial: http://www.inec.gob.ec/web/guest/publicaciones/anuarios/inv_eco/transportes
- INEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2009. Quito, Ecuador. Tomado en marzo 21, 2011, de http://www.inec.gob.ec/c/document_library/get_file?folderId=2478116&name=DLFE-40501.zip
- Jeffrey, S. W. & Humphery, G. F. (1975). New Spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2. Publicación: Biochem. Physiol. Pflanz., 167: p194-204.
- Kajan, M., Lívanský, K., Binová, J., Fiser, L., & Novotný, P. (1992). Productivity, heavy metal content and commensalic bacteria of the alga *Scenedesmus Obliquus* in outdoor mass cultures grown with various nitrogen sources. Algalog. Stud. 65: 93-104. Stuttgart, Alemania.
- Karanasios, K.A., Vasiliadou, I. A., Pavlou, S., & Vayenas, D. V. (2010) Hydrogenotrophic denitrification of potable water: A review. Publicación: Journal of Hazardous Materials, 180, 20-37. Tomado en junio del 2011 de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.090>.
- Knothe, G., Gerpen, J. V., & Krahl, J. (2005). The Biodiesel Handbook. Champaign, Illinois, Estados Unidos. Editorial: AOCS Press.
- Korus, R. A., Hoffman, D. S., Bam, N., Peterson, C. L., & Drown, D. C. (2001). Transesterification Process to Manufacture Ethyl Ester of Rape

Oil. Department of Chemical Engineering, University of Idaho. Moscow, Idaho, Estados Unidos.

- Kubín, S., Borns, E., Doucha, J. & Seiss, V. (1983). Light absorption and production rate of *Chlorella vulgaris* in light of different spectral composition. Publicación: *Biochem. Physiol. Pflanzen* 178: p193-205.
- Lee, S. J., Kim, S. B., Kim, J. E., Kwon, G. S., Yoon, B. D., & Oh, H. M. (1998). Effects of harvesting method and growth stage of the flocculation of the green alga *Botryococcus braunii*. Publicación: *Letters in Applied Microbiology*, 27, 12: 14-18.
- Lee, Y. k. & Low, C. S. (1991). Effect of photobiorreactor inclination on the biomass production of an outdoor algal culture. Publicación: *Biotechnology and Bioengineering*, 38: p995-1000.
- Lee, Y. K. (2001). Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential. Publicación: *Journal of Applied Psychology*, 13: p307-315.
- Lee, Y. K., Ding, Y. S., Low, C. S., Chang, Y. C., Forday, W. L., & PC. (1995). Design and performance of an a-type tubular photobioreactor for mass cultivation of microalgae. Publicación: *Journal of Applied Phycology*, 7: p47-51.
- Leguízamo, F. M. (2007). La explotación petrolera y su impacto ambiental en la legislación ecuatoriana. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador.
- Li, H. P., Gong, G. C., & Hsiung, T. M. (2002). Phytoplankton Pigment analysis by HPLC and its application in algal community investigation. Publicación: *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, Vol. 43: p283-290.
- Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Publicación: *Biochemical Society Transactions* 11: p591-592.
- Lívanský, K. (1997). Productivity of the algae *Scenedesmus Obliquus* in Thin-Layer Outdoor cultures: Verification of a mathematical model. Publicación: *Algological studies*, 85: p135-145.

- Ma, J. (2011). Techno-Economic Analysis and Engineering Design Consideration of Algal Biofuel in Southern Nevada. Reporte Final. Subtask 1.3 of Project of Nevada Renewable Energy Consortium.
- MAGAP - Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. (2002). III Censo Nacional Agropecuario 2000. Quito, Ecuador. Editorial: INEC-MAG-SICA.
- Mosquera R, A. (2008). Políticas y Estrategias para el Cambio de la Matriz Energética del Ecuador. MEER - Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Quito, Ecuador. Editorial: Dirección de Comunicación Social MEER, Alternativa Creativa.
- Mee, L. D., Bloxham, M., Glegg, G. A., Hart, V., Beaumont, N., & Payne, S. (2000). Global International Waters Assessment; draft methodology. Plymouth, Reino Unido. University of Plymouth.
- MEER - Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2009). Energía Renovable en Ecuador: Políticas, Programas, y Expectativas. Presentación de diapositivas. Octubre, 2009. Quito, Ecuador.
- Mohan, N., Hanumantha Rao, P., Rinjithkumar, R., Sivasankaran, S., & Sivasubramanian, V. (2009). Studies on mass cultivation of chlorella vulgaris and effective harvesting of biomass by low-cost Methods. Publicación: Journal of Algal Biomass Utilization Vol1: 29-39. Tamil Nadu, India.
- Molina Grima, E., Ación Fernández, F. G., García Camacho, F., & Chisti, Y. (1999). Photobioreactors: Light regime, mass transfer, and scale up. Department of chemical Engineering. Almeria, España. Publicación: Journal of Biotechnology 70: p231-247.
- Molina Grima, E., Balarbi, E. H., Ación Fernández, F., Robles Medina, A., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics. Publicación: Biotechnology Advances, 20: p491-515.
- Molina, E., Fernández, J. Ación Fernández, G., & Chisti, Y. (2001). Tubular photobioreactor design for lagal cultures. Publicación: Journal of Biotechnology, 92: p113-131.

- Montoya, J. I. (2009). Modelamiento y Simulación de la Cinética de Transesterificación del aceite de Ricino con Alcohol Etilico, Catalizada con NaOH. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energías.
- Nagle, N. & Lemke, P. (1989). Microalgal fuel production processes: Analysis of lipid extraction and conversion methods. Paper presented at the Aquatic Species Program, annual Review Meeting, Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, Estados Unidos. Mayo 3 al 4, 1989.
- Nakamura, T., Senior, C. L., Olaizola, M., Bridges, T., Flores, S., Sombardier, L., et al. (2005). Recovery and sequestration of CO₂ from stationary combustion systems by photosynthesis of microalgae. Reporte Final: Contrato No. DE-FC26-00NT40934. US Department of Energy; p220.
- Nelson, R. G., & Schrock, M. D. (1994). Energetics and Economics of Producing Biodiesel from Beef Tallow Look Positive. Industrial Uses of Agricultural Materials Situation and Outlook Report - Outlook Report No. (IUS-3) 52 pp., June 1993. Publicación: United States Department of Agriculture. Economic Research Service.
- Nuñez, B., Casals, M. S., Duverges, M. D., Figueroa, V. E., Andreadis, A. M., Pigretti, E., Zarabozo, M. V. (2007). Agroalimentos y Globalización: El desarrollo Humano en América Latina. Buenos Aires, Argentina. Editorial: EDIAR Sociedad Anónima Editora, Comercial, Industrial y Financiera.
- Peterson, C. L., & Reece, D. (1994). Toxicology, Biodegradability and Environmental Benefits of Biodiesel. Moscow, Idaho, Estados Unidos. Department of Agricultural Engineering, University of Idaho.
- Peterson, C. L., & Moller, G. (2004). Biodegradability, BOD₅, COD and Toxicity of Biodiesel Fuels. Moscow, Idaho, Estados Unidos. Department of Food Science and Toxicology, University of Idaho. Obtenido en junio del 2011 de: www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/BiodieselEd/publication/04.pdf

- Poelman, E., De Pauw, N., & Jeurissen, B. (1997). Potential of electrolytic flocculation for recovery of microalgae. Publicación: Resources, conservation and Recycling, 19: p1-10.
- Richmond, A. & Gobbelaar, J. U. (1986). Factors affecting the output rate of spirulina platensis with reference to mass cultivation. Publicación: Biomass, 10: p253-264.
- Richmond, A. (1987). The challenge confronting industrial microagriculture: High photosynthetic efficiency in large-scale reactors. Publicación: Hydrobiology (The Hague), 151: p117-121.
- Richmond, A., (2000). Microalgal biotechnology at the turn of the millennium: A personal view. Publicación: Journal of applied phycology, 12: p441-451.
- Rosero, J. (2010). Caracterización del sector de la palma aceitera en Ecuador. Zamorano, Honduras. (Inédito). Tomado en marzo 21, 2011 de zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2010/T2983.pdf
- Ryther, R. H., Carlson, R. D., Pendoley, P. D., & Jensen, P. R. (1987). Collection and characterization of saline microalgae from South Florida. (Task No. 4513.20, FTP No. 513). Aquatic Species Program, FY 1986. Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, Estados Unidos.
- Sánchez Pérez, J. A., Rodríguez Porcel, E. M., Casas López, J. L., Fernández Sevilla, J. M., & Chisti Y. (2006). Shear rate in stirred tank and bubble column bioreactors. Publicación: Chemical Engineering Journal 124: p1–5.
- Sánchez de Tembleque, L. J. (2009). “Promoviendo un nuevo modelo energético”, en: La Energía del Siglo XXI: Perspectivas europeas y tendencias globales, Morata, F. (Coord.), Institut Universitari d'Estudis Europeus (IUEE), p.119-142. Barcelona, España.
- Sánchez Miron, A., Ceron Garcia, M.C., Contraras Gomez, A., García Camacho, F., Molina Grima, E., & Chisti, Y. (2003). Shear stress tolerance and biochemical characterization of Phaeodactylum

tricornutum in quiasi steady state continuous culture in outdoor photobioreactors. Publicación: Biochemical engineering.

- Sánchez Miron, A., Ceron Garcia, M.C., Contraras Gomez, A., García Camacho, F., Molina Grima, E., & Chisti, Y. (1999). Comparative evaluation of compact photobioreactors for large scale monoculture of microalgae. Publicación: Journal of Biotechnology, 70: p249-270.
- Sazdanoff, N. (2006). Modeling simulation of the algae to biodiesel fuel cycle. College of engineering. Editorial: Department of Mechanical Engineering. The Ohio State University.
- Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., et al. (2008). Second generation biofuels: High-Efficiency microalgae for biodiesel production. Publicación: Bioenergy Research, 1: p20-43.
- Seri. (1987). FY1986 Aquatic Species Program Annual Report. Contrato No. DE-AC02-83CH 10093). Solar Energy Research Institute. Preparado para: US. Department of Energy (DOE).
- Setlík, I., Sust, V., & Málek, I. (1970). Dual purpose open circulation unit for large scale culture of algae in temperate zones. Basic design considerations and scheme of pilot plant. Publicación; Algological. Studies., Trebon, 1: p111-164.
- Setlík, I., Berková, E. & Kubín, S. (1969). Irradiation and temperature dependence in photosynthesis in some chlorococcal strains. In: Necas, J. & Lhotský, O, (eds.): Ann. Rep. Algolog. Lab. Trebon for 1968, p.134-138. Knihtisk, Praha.
- Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., & Roessler, P. (1998). A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae. U.S. Department of Energy. Golden, Colorado, EE.UU. Editorial: National Renewable Energy Laboratory.
- Shelef, G., Sukenik, A., & Green, M, (1984). Microalgae harvesting and processing: A Literature review. (SERI/STR-231-2396). Publicación: Technion Research and Development foundation., Haifa (Israel), 71pp.

- Simmer, J. (1979). Radiation energy, temperature and algal growth. In: Marvan, P., Pribil, S., & Lhotský, O. (eds.): Algal Assays and Monitoring Eutrophication. P.41-45. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Alemania.
- Smith, E. L. (1936). Photosynthesis in relation to light and carbon dioxide. Publicación: Proc. Natl. Acad. Sci. 22: 504-511.
- Tadros, M. G. (1986). Screening and characterizing deaginous microalgal species from southeastern United States (Subcontrato No. xk-3-03150-1). Alabama A and M University, normal, Alabama, Solar Energy Research Institute, Aquatic Species Program.
- Talling, J. F. (1957). The phytoplankton as a component of photosynthetic system. Publicación: New Phytol. 56: p133-149.
- Cox Toala, G., Astudillo, J. I., & Tobalina, C. (2009). Proyecto de Implementación de una Planta Productora de Etanol en Base a la Caña de Azúcar, en la península de Santa Elena, Provincia del Guayas. Guayaquil, Ecuador. ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1463>
- Tredici, M. R., & Zittelli, G. C. (1998). Efficiency of sunlight utilization: Tubular versus flat photobioreactors. Publicación: Biotechnology and Bioengineering 57: p187-197.
- Tredici, M. R., Carlozzi, P., Zittelli, G., & Materassi, R. (1991). A vertical alveolar panel (VAP) for outdoor mass cultivation of microalgae and cyanobacteria. Publicación: Bioresource Technology, 38: p153-159.
- Ugwu, C. U., Ogbonna, J. C., & Tanaka, H. (2003). Design of static mixers for inclined tubular photobioreactors. Publicación: Journal of Applied Phycology, 15: p217-223.
- Weyer, K. M., Bush, D. R., Darzins, A., Willson, B.B. (2009). Theoretical Maximum Algal Oil Production. Publicación: BioEnergy Research. Volumen 3, Número 2/Junio 2010. <http://www.springerlink.com/content/778667h6747540t5/fulltext.pdf>

- Zambrano, L. (2010). Estudio Técnico Económico: Autorización para ejercer la actividad camaronera en terrenos del socio Nelson Francisco Rivadeneira ubicado en el sitio Moracumbo –Parroquia Cojimies – Cantón Pedernales – Provincia de Manabí. COPROCAM, Cooperativa de Productores Camarón del Norte de Manabí. CPA, registro N.-13-20939.
- Zhang, X., Peterson, C. L., Reece, D., Moller, G., & Haws, R. I. (1995). Biodegradability of Biodiesel in the Aquatic Environment. Obtenido en junio del 2011 de: www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/mar/19950601_mar-009.pdf

ANEXOS

Anexos #1 y 2: Recomendaciones del Worldwide Fuel Charter 4ta Edición y Biodiesel Guidelines 1era Edición.

Propiedad	BIODIESEL	DIESEL		Unidad	Métodos de Prueba
	B100	Categoría 3	Categoría 4		
Contenido de Esteres	96,5 min			%m/m	EN 14103 mod; Otro: ABNT NBR 15342
Ácido linolénico éster metílico	12 máx.			%m/m	EN 14103 mod
Ácidos poliinsaturados metil éster (≥ 4 dobles enlaces)	1 máx.			%m/m	prEN 15779
Estabilidad a la oxidación: Período de inducción	10 min			hr	prEN 15751 o EN 14112 como alternativa
Número de yodo	130 max ¹			g I ₂ /100 g	EN 14111
Metanol	0,2 máx.			%m/m	EN 14110; JIS K2536; Otro ABNT NBR 15343
Glicéridos:					
Mono-glicérido	0,8 máx.			%m/m	EN 14105; ASTM D6584; Otro: ABNT NBR 15342
Di-glicéridos	0,2 máx.			%m/m	EN 14105; ASTM D6584; Otro: ABNT NBR 15343
Tri-glicéridos	0,2 máx.			%m/m	EN 14105; ASTM D6584; Otro: ABNT NBR 15344
Glicerina (glicerol):					
Glicerina libre	0,02 máx.			%m/m	EN 14105/14106; ASTM D6584; Otro: ABNT NBR 15341
Glicerina total	0,25 máx.			%m/m	EN 14105; ASTM D6584; Otro: ABNT NBR 15344
Número total de ácido	0,5 máx.	0,08 máx.	0,08 máx.	mg KOH/g	ISO 6618; ASTM D664, D974; JIS K2501; Otro: ABNT NBR 14448
Densidad (Diesel a 15 °C)	Aprox 900	820 min, 840 máx.	820 min, 840 máx.	kg/m ³	EN ISO 3675; ASTM D4052; JIS K2249; Otro: EN ISO 12185, ABNT NBR 7148/14065
La viscosidad Cinemática a 40 °C	2 - 5 ²	2 min, 4 máx.	2 min, 4 máx.	mm ² /s	EN ISO 3104; ASTM D445; JIS K2283; Otro: ABNT NBR 10441
Punto de inflamación	100 min	55 min	55 min	°C	ISO 3679; ASTM D93
Número de cetano	51 min	53 min	55 min		ISO 5165; ASTM D613; JIS K2280

Contenido de Agua	500 máx.	200 máx.	200 máx.	mg/kg (ppm)	EN 12937
Agua y sedimentos	0,05 máx.			%v/v	ASTM D2709
Contaminación total	24 máx.	10 máx.	10 máx.	mg/kg (ppm)	EN 12662; ASTM D2276, D5452, D6217
Contenido de ceniza	0,001 máx.	0,01 máx.	0,001 máx.	%m/m	ISO 6245; ASTM D482; JIS K2272
Cenizas sulfatadas	0,005 máx.			%m/m	ISO 3987; ASTM D874; Otro: ABNT NBR 984
Residuo de carbono: Ramsbottom, el residuo de destilación con un 100%	0,05 máx.	0,2 máx.	0,2 máx.	%m/m	ASTM D4530
Corrosión: ferrosos	Oxidación por luz máx.	Oxidación por luz máx.	Oxidación por luz máx.	Valoración	ASTM D665 Procedimiento A
Azufre	10 máx.	50 máx.	10 máx.	ppm (mg/kg)	EN 20846/20884; ASTM D5453/D2622; JIS K3541-1, -2, -6 or -7
Fósforo	4 máx.			mg/kg (ppm)	EN 14107; ASTM D4951, D32331
Metales alcalinos (Na + K)	5 máx.			mg/kg (ppm)	EN 14108/14109, EN 14538
Metales alcalinos (Ca + Mg)	5 máx.			mg/kg (ppm)	EN 14538
Metales traza	Sin adición				ASTM D7111
Contenido de Aromáticos Totales		20 máx.	15 máx.	%m/m	ASTM D5186; JIS EN 12916
Lubricidad a 60 °C		400 máx.	400 máx.	micrón	ISO 12156-1.3; ASTM D6079; Otro: CEC F-06-A
Contenido de FAME (Ácidos Grasos Metil Esteres)		5 máx.	0	%v/v	Otro EN 14078
<p>¹ Este límite puede excluir innecesariamente ciertas materias primas. Para algunas tecnologías de motores puede ser necesario un límite más estricto.</p> <p>² Para una temperatura igual o inferior a -20 ° C, la viscosidad debe ser igual o inferior a 48 mm² / s para evitar cargas potencialmente peligrosas en el sistema de la bomba de inyección de combustible.</p> <p>ABNT NBR: Asociación Brasileira de Normas Técnicas; ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales; EN: Norma Europea; ISO: Organización Internacional de Normalización</p> <p>JIS: Normas Industriales Japonesas; prEN: Norma europea provisional; mod: Modificada</p>					

Especificaciones y recomendaciones de estándares para combustibles Diesel No.2., y Biodiesel B100.

Fuente: WWFC Fourth Edition, Sept 2006. Biodiesel Guidelines First Edition, March 2009. Elaboración: Autor.

Anexo #3: Encuesta

- 1) ¿Cuál es la antigüedad de su vehículo? (1 respuesta)
 - a) 1 año o menos
 - b) Entre 2 y 5 años
 - c) Entre 6 y 10 años
 - d) 11 años o más

- 2) ¿Cuanto combustible en promedio consume cada semana? (1 respuesta)
 - a) 25 galones o menos
 - b) Entre 26 y 45 galones
 - c) Entre 46 y 65 galones
 - d) 66 galones o más

- 3) ¿Si tuviera la oportunidad de usar un combustible diferente en su vehículo, al mismo precio que su combustible normal, que ventajas adicionales preferiría que tenga? (1 respuesta)
 - a) Darle más potencia al vehículo, mayor octanaje
 - b) Producir menos contaminación, menos azufre liberado en el ambiente
 - c) Preservar mejor el vehículo, menor suciedad en los inyectores
 - d) Que su fabricación sea gran fuente de trabajo para el sector rural

- 4) ¿Conoce usted que es el BIODIESEL? (1 respuesta)
 - a) SÍ
 - b) NO

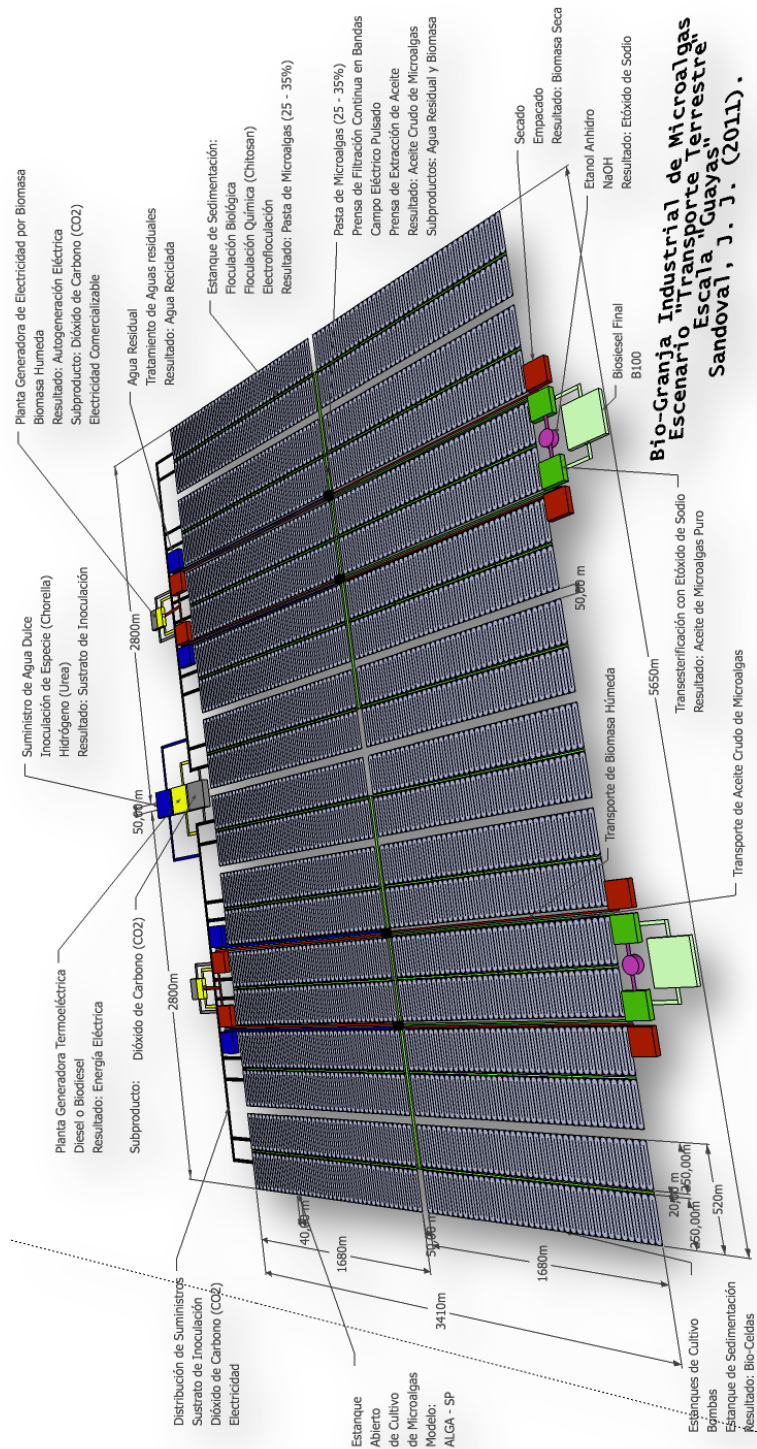
- 5) Si su respuesta anterior fue “SÍ”, ignore esta pregunta y vaya a la siguiente. Si su respuesta fue “NO”, elija una forma en la que le gustaría informarse sobre el tema del Biodiesel. (1 respuesta)
 - a) Folletos disponibles en las estaciones gasolineras
 - b) Por medio de la prensa escrita. Reportaje publicado solo una (1) vez
 - c) Prefiere no informarse del tema

- 6) Si el Biodiesel estuviera disponible en las estaciones gasolineras, ¿de qué forma preferiría utilizarlo? (1 respuesta)
 - a) Directamente. Sin mezclarlo con diesel normal.
 - b) Mezcla proporcional. Mezclando mitad diesel mitad biodiesel
 - c) Combinado. Agregando solo pequeñas cantidades de biodiesel
 - d) No lo utilizaría. Preferiría no cambiar el diesel normal por biodiesel

- 7) En una escala del 1 al 5, siendo 1 el valor más bajo que demuestra un mínimo interés y siendo 5 el máximo, ¿Qué tanto le gustaría que se empiece a comercializar un combustible alternativo como el Biodiesel?
 - a) _____ (del 1 al 5)
 - b) No le interesa en absoluto

- 8) Si tuviera que realizar un ligero ajuste a su vehículo (cambio de 3 a 4 mangueras del sistema de combustible y uno que otro ajuste de bajo costo), ¿Estaría dispuesto a hacerlo para recibir el biodiesel sin que se le presente ningún problema futuro? (1 respuesta)
 - a) SÍ
 - b) NO

Anexo #4: Diseño Gráfico de la cadena productiva de microalgas marinas para el escenario "Transporte Terrestre". Escala "Guayas".



Anexo #5: Datos correspondientes a los gráficos incluidos en la investigación.

Gráfico #1: Composición de la Matriz Energética para el año 2007. Oferta y Demanda Nacional y Externa.

OFERTA NACIONAL	Millones de BEP	%
CRUDO	195,96	92%
GAS NATURAL	8,52	4%
DERIVADOS DE HIDROCARB	4,047	2%
BIOMASA TRADICIONAL	0,213	0%
ELECTRICIDAD	4,26	2%
TOTAL	213	100%

DEMANDA NACIONAL	Millones de BEP	%
DERIVADOS DE HIDROCARB	53,6	80%
ELECTRICIDAD	8,04	12%
BIOMASA TRADICIONAL	4,02	6%
NO ENERG'ETICOS	1,34	2%
TOTAL	67	100%

OFERTA INTERNACIONAL	Millones de BEP	%
DERIVADOS DE HIDROCARB	20,02	91%
ELECTRICIDAD	0,88	4%
OTROS	1,1	5%
TOTAL	22	100%

DEMANDA INTERNACIONAL	Millones de BEP	%
CRUDO	135	90%
DERIVADOS DE BAJO V.A	13,5	9%
ACEITE VEGETAL	1,5	1%
TOTAL	150	100%

Gráfico #2: Matriz Energética para el año 2007. Oferta-Demanda. Nacional y Externa. Por tipo de fuentes.

OFERTA NACIONAL	Millones de BEP	%
RENOVABLE	4,473	2%
NO RENOVABLE	208,527	98%
TOTAL	213	100%

DEMANDA NACIONAL	Millones de BEP	%
RENOVABLE	4,02	6%
NO RENOVABLE	62,98	94%
TOTAL	67	100%

OFERTA INTERNACIONAL	Millones de BEP	%
RENOVABLE	0	0%
NO RENOVABLE	22	100%
TOTAL	22	100%

DEMANDA INTERNACIONAL	Millones de BEP	%
RENOVABLE	1,5	1%
NO RENOVABLE	148,5	99%
TOTAL	150	100%

Gráfico #3: Cobertura de las exportaciones al financiamiento de derivados importados 2009 y 2010.

	2009	2010
Otros Ingresos Petroleros	457,77	562,09
Exportación de Crudo y Derivados Bajo V.A.	3.787,42	4.870,84
Venta Interna de Derivados	1.291,29	1.316,60
Financiamiento Importación de Derivados	2.583,22	3.322,24

Gráfico #4: Oferta de electricidad según su procedencia.

	2008	2009
Hidráulica	11293,33	9222,44
Eólica	2,68	3,2
Solar	0,03	0,01
Térmica	7312,48	9126,87
Interconexión	500,16	1120,43

Gráfico #5: Generación térmica por fuente de combustión. Contraste en el periodo de crisis eléctrica.

	2008	2009
Fuel Oil	653368,8384	771114,9256
Diesel 2	417113,8919	686627,8178
Nafta	23082,46134	28935,02813
Gas Natural	358244,2135	403263,7925
Residuo	101545,8173	128617,734
Crudo	187226,4326	193647,3902
Bagazo de caña	180177,5052	152171,733
GLP	17561,544	15524,73238

Gráfico #6: Demanda Energética Sectorial en el año 2007.

DEMANDA NACIONAL	Millones de BEP	%
Transporte	34840000	52%
Industrial	14070000	21%
Residencial	12730000	19%
Comercial, sector público	2680000	4%
Otros	1340000	2%
No energéticos	1340000	2%
Total	67000000	100%

Gráfico #7: Oferta de electricidad según su procedencia.

	Costo Importación	Ingreso Venta Interna	Diferencia Ingreso y Costo
2005	685.685	272.909	-318.289
2006	1.003.639	415.250	-499.944
2007	1.082.355	475.378	-606.977
2008	1.415.583	468.079	-947.504
2009	1.101.887	537.311	-564.577
2010	1.846.373	781.121	-1.065.251

Gráfico #8: Precios promediados WTI del barril de petróleo.

	Dólares por barril
2000	24,86
2001	19,14
2002	21,71
2003	25,78
2004	29,98
2005	41,09
2006	51,10
2007	59,67
2008	83,36
2009	52,79
2010	71,78

Gráfico #9: Comportamiento de la producción nacional de petróleo desde el año 2000 al 2010.

Miles de Barriles							
ene-00	11.939	oct-02	12.039	jul-05	17.053	abr-08	15.305
feb-00	11.407	nov-02	11.827	ago-05	14.824	may-08	15.473
mar-00	12.002	dic-02	12.069	sep-05	16.252	jun-08	14.843
abr-00	11.794	ene-03	12.189	oct-05	16.573	jul-08	15.447
may-00	12.475	feb-03	10.772	nov-05	16.063	ago-08	15.612
jun-00	11.190	mar-03	12.020	dic-05	17.221	sep-08	14.957
jul-00	12.431	abr-03	11.544	ene-06	17.153	oct-08	15.403
ago-00	12.898	may-03	10.248	feb-06	15.439	nov-08	15.050
sep-00	12.616	jun-03	10.972	mar-06	16.385	dic-08	15.737
oct-00	13.060	jul-03	12.434	abr-06	16.389	ene-09	15.615
nov-00	12.397	ago-03	13.126	may-06	16.960	feb-09	13.949
dic-00	11.970	sep-03	14.544	jun-06	16.073	mar-09	15.414
ene-01	12.892	oct-03	15.316	jul-06	16.829	abr-09	14.855
feb-01	11.352	nov-03	14.903	ago-06	16.877	may-09	15.070
mar-01	13.058	dic-03	15.471	sep-06	16.090	jun-09	14.745
abr-01	12.557	ene-04	15.731	oct-06	16.213	jul-09	14.979
may-01	12.881	feb-04	15.162	nov-06	15.452	ago-09	14.776
jun-01	11.193	mar-04	15.207	dic-06	16.088	sep-09	14.256
jul-01	12.492	abr-04	15.991	ene-07	16.030	oct-09	14.699
ago-01	12.620	may-04	16.401	feb-07	14.203	nov-09	14.308
sep-01	11.986	jun-04	16.127	mar-07	14.945	dic-09	14.562
oct-01	12.355	jul-04	16.498	abr-07	15.062	ene-10	14.341
nov-01	11.964	ago-04	16.473	may-07	15.862	feb-10	13.131
dic-01	12.119	sep-04	15.798	jun-07	15.436	mar-10	14.855
ene-02	12.117	oct-04	16.405	jul-07	15.796	abr-10	14.311
feb-02	10.598	nov-04	16.031	ago-07	15.776	may-10	14.860
mar-02	11.983	dic-04	16.692	sep-07	15.506	jun-10	14.805
abr-02	11.827	ene-05	16.526	oct-07	15.931	jul-10	15.163
may-02	12.257	feb-05	15.043	nov-07	15.541	ago-10	15.053
jun-02	11.894	mar-05	16.395	dic-07	16.483	sep-10	14.713
jul-02	12.272	abr-05	15.674	ene-08	16.103	oct-10	15.425
ago-02	12.090	may-05	16.298	feb-08	15.051	nov-10	15.238
sep-02	12.003	jun-05	16.246	mar-08	15.762	dic-10	15.479

Gráfico #10: Comportamiento mensual de la producción nacional de petróleo desde el año 2008 al 2010.

	2008	2009	2010	Promedios
Enero	16.103	15.615	14.341	15.353
Febrero	15.051	13.949	13.131	14.044
Marzo	15.762	15.414	14.855	15.344
Abril	15.305	14.855	14.311	14.824
Mayo	15.473	15.070	14.860	15.134
Junio	14.843	14.745	14.805	14.798
Julio	15.447	14.979	15.163	15.196
Agosto	15.612	14.776	15.053	15.147
Septiembre	14.957	14.256	14.713	14.642
Octubre	15.403	14.699	15.425	15.176
Noviembre	15.050	14.308	15.238	14.865
Diciembre	15.737	14.562	15.479	15.260
Mensual	15.395	14.769	14.781	14.982
Anual	184.743	177.228	177.374	179.782

Gráfico #11: Estructura de la oferta nacional de hidrocarburos mensual del 2000 al 2010.

	Crudo Exportable	Refinam. Otros Derivados	Refinam. Diesel No.2
ene-00	8.731	2.519	689
feb-00	8.177	2.537	693
mar-00	8.752	2.554	696
abr-00	8.521	2.572	700
may-00	9.181	2.590	704
jun-00	7.873	2.609	708
jul-00	9.092	2.627	712
ago-00	9.536	2.646	716
sep-00	9.230	2.666	720
oct-00	9.652	2.684	724
nov-00	8.966	2.704	728
dic-00	8.516	2.723	732
ene-01	8.999	2.664	1.230
feb-01	8.244	1.838	1.270
mar-01	8.788	2.979	1.291

abr-01	8.594	2.826	1.137
may-01	8.911	2.797	1.172
jun-01	7.172	2.732	1.288
jul-01	8.508	2.813	1.171
ago-01	8.417	3.041	1.162
sep-01	7.880	3.445	662
oct-01	7.404	3.891	1.060
nov-01	7.136	3.599	1.228
dic-01	7.366	3.610	1.144
ene-02	7.545	3.532	1.039
feb-02	6.437	2.980	1.181
mar-02	7.506	3.296	1.181
abr-02	7.564	3.306	956
may-02	8.021	3.121	1.115
jun-02	7.743	2.934	1.218
jul-02	7.893	3.503	875
ago-02	7.732	3.401	957
sep-02	7.236	3.616	1.151
oct-02	6.979	4.098	962
nov-02	7.529	3.228	1.070
dic-02	7.378	3.682	1.008
ene-03	7.686	3.540	962
feb-03	6.425	3.599	748
mar-03	7.655	3.438	927
abr-03	7.230	3.357	956
may-03	5.828	3.351	1.068
jun-03	6.839	3.087	1.046
jul-03	8.078	3.551	805
ago-03	8.806	3.099	1.221
sep-03	10.006	3.716	823
oct-03	10.621	3.780	915
nov-03	10.218	3.709	976
dic-03	10.702	3.551	1.218
ene-04	11.134	3.538	1.059
feb-04	10.484	3.738	940
mar-04	10.508	3.656	1.043
abr-04	11.340	3.685	967
may-04	11.910	3.304	1.188
jun-04	11.802	3.209	1.115
jul-04	11.855	3.727	915
ago-04	11.867	3.612	994
sep-04	11.015	3.700	1.083

oct-04	11.130	4.107	1.168
nov-04	11.038	3.934	1.060
dic-04	11.625	4.002	1.065
ene-05	11.284	4.068	1.174
feb-05	10.449	3.726	868
mar-05	11.538	3.590	1.267
abr-05	11.081	3.466	1.128
may-05	11.209	4.003	1.086
jun-05	11.326	3.789	1.131
jul-05	12.140	3.861	1.053
ago-05	9.383	4.372	1.069
sep-05	10.828	4.261	1.163
oct-05	10.893	4.736	943
nov-05	10.752	4.301	1.011
dic-05	11.358	4.801	1.062
ene-06	11.819	4.316	1.019
feb-06	10.710	4.016	714
mar-06	11.073	4.444	868
abr-06	11.190	4.222	977
may-06	11.586	4.328	1.047
jun-06	10.942	4.017	1.114
jul-06	11.356	4.334	1.139
ago-06	10.987	4.696	1.193
sep-06	10.288	4.747	1.054
oct-06	10.382	4.794	1.037
nov-06	9.552	4.774	1.125
dic-06	10.183	4.857	1.049
ene-07	10.294	4.771	964
feb-07	8.715	4.504	984
mar-07	9.400	4.463	1.082
abr-07	9.863	4.124	1.075
may-07	10.555	4.839	468
jun-07	10.369	4.219	847
jul-07	10.195	4.551	1.050
ago-07	10.160	4.384	1.231
sep-07	10.050	4.405	1.052
oct-07	10.086	4.693	1.153
nov-07	9.931	4.801	810
dic-07	10.805	4.553	1.125
ene-08	10.458	4.576	1.070
feb-08	9.848	4.335	868
mar-08	10.414	4.151	1.197
abr-08	9.827	4.660	817

may-08	9.763	4.676	1.035
jun-08	9.009	4.788	1.046
jul-08	9.495	5.020	932
ago-08	9.681	4.857	1.074
sep-08	8.900	4.964	1.093
oct-08	9.181	5.157	1.065
nov-08	9.332	4.703	1.015
dic-08	9.600	5.010	1.127
ene-09	9.559	4.912	1.144
feb-09	8.681	4.360	909
mar-09	9.300	5.008	1.107
abr-09	8.723	5.014	1.118
may-09	9.089	4.810	1.171
jun-09	8.456	5.471	817
jul-09	8.813	5.127	1.038
ago-09	8.562	5.119	1.096
sep-09	7.804	5.326	1.126
oct-09	7.924	5.640	1.135
nov-09	7.282	5.804	1.223
dic-09	7.421	6.118	1.023
ene-10	7.507	5.667	1.167
feb-10	7.037	5.318	777
mar-10	7.973	6.240	642
abr-10	7.989	5.648	674
may-10	8.248	5.846	767
jun-10	8.425	5.176	1.203
jul-10	8.653	5.546	964
ago-10	8.750	5.319	984
sep-10	7.768	6.099	846
oct-10	8.082	6.358	985
nov-10	8.501	5.693	1.045
dic-10	8.593	5.877	1.009

Gráfico #12: Estructura del refinamiento de crudo entre el 2004 y el 2010.

% Refinamiento del Crudo					
ene-04	29%	may-06	32%	sep-08	40%
feb-04	31%	jun-06	32%	oct-08	40%
mar-04	31%	jul-06	33%	nov-08	38%
abr-04	29%	ago-06	35%	dic-08	39%
may-04	27%	sep-06	36%	ene-09	39%
jun-04	27%	oct-06	36%	feb-09	38%

jul-04	28%	nov-06	38%	mar-09	40%
ago-04	28%	dic-06	37%	abr-09	41%
sep-04	30%	ene-07	36%	may-09	40%
oct-04	32%	feb-07	39%	jun-09	43%
nov-04	31%	mar-07	37%	jul-09	41%
dic-04	30%	abr-07	35%	ago-09	42%
ene-05	32%	may-07	33%	sep-09	45%
feb-05	31%	jun-07	33%	oct-09	46%
mar-05	30%	jul-07	35%	nov-09	49%
abr-05	29%	ago-07	36%	dic-09	49%
may-05	31%	sep-07	35%	ene-10	48%
jun-05	30%	oct-07	37%	feb-10	46%
jul-05	29%	nov-07	36%	mar-10	46%
ago-05	37%	dic-07	34%	abr-10	44%
sep-05	33%	ene-08	35%	may-10	44%
oct-05	34%	feb-08	35%	jun-10	43%
nov-05	33%	mar-08	34%	jul-10	43%
dic-05	34%	abr-08	36%	ago-10	42%
ene-06	31%	may-08	37%	sep-10	47%
feb-06	31%	jun-08	39%	oct-10	48%
mar-06	32%	jul-08	39%	nov-10	44%
abr-06	32%	ago-08	38%	dic-10	44%

Gráfico #13: Estructura de refinamiento de Diesel No.2 frente al total de derivados producidos.

% Diesel entre los derivados					
ene-04	23%	may-06	19%	sep-08	18%
feb-04	20%	jun-06	22%	oct-08	17%
mar-04	22%	jul-06	21%	nov-08	18%
abr-04	21%	ago-06	20%	dic-08	18%
may-04	26%	sep-06	18%	ene-09	19%
jun-04	26%	oct-06	18%	feb-09	17%
jul-04	20%	nov-06	19%	mar-09	18%
ago-04	22%	dic-06	18%	abr-09	18%
sep-04	23%	ene-07	17%	may-09	20%
oct-04	22%	feb-07	18%	jun-09	13%
nov-04	21%	mar-07	20%	jul-09	17%
dic-04	21%	abr-07	21%	ago-09	18%
ene-05	22%	may-07	9%	sep-09	17%

feb-05	19%	jun-07	17%	oct-09	17%
mar-05	26%	jul-07	19%	nov-09	17%
abr-05	25%	ago-07	22%	dic-09	14%
may-05	21%	sep-07	19%	ene-10	17%
jun-05	23%	oct-07	20%	feb-10	13%
jul-05	21%	nov-07	14%	mar-10	9%
ago-05	20%	dic-07	20%	abr-10	11%
sep-05	21%	ene-08	19%	may-10	12%
oct-05	17%	feb-08	17%	jun-10	19%
nov-05	19%	mar-08	22%	jul-10	15%
dic-05	18%	abr-08	15%	ago-10	16%
ene-06	19%	may-08	18%	sep-10	12%
feb-06	15%	jun-08	18%	oct-10	13%
mar-06	16%	jul-08	16%	nov-10	16%
abr-06	19%	ago-08	18%	dic-10	15%

Gráfico #14: Estructura de la oferta nacional de hidrocarburos para el año 2010.

	Oferta Nacional	Demanda Nacional
2000	8.521	14.365
2001	13.815	17.175
2002	12.714	17.460
2003	11.665	17.515
2004	12.596	19.195
2005	12.953	21.154
2006	12.334	23.483
2007	11.840	22.912
2008	12.339	23.570
2009	12.907	24.457
2010	11.064	29.954

Gráfico #15: Escenario Actual de la Oferta Nacional de Combustible para motores Diesel al 2010.

	Diesel de Producción Nacional	Diesel Importado
2000	8.521	5.710
2001	13.815	4.304
2002	12.714	4.733
2003	11.665	5.839
2004	12.596	5.865
2005	12.953	8.123
2006	12.334	10.178
2007	11.840	11.845
2008	12.339	11.160
2009	12.907	13.706
2010	11.064	19.620

Gráfico #16: Demanda de Diesel No.2 proyectada al año 2025. Y **Gráfico #17:** Oferta de Diesel No.2 proyectada al año 2025.

Mes-Año	Producción Nacional de Petróleo (Brls crudo)	Consumo Nacional de Refinados (Brls)	Consumo Nacional de Diesel No.2 (Brls Diesel)	Refinamiento de Crudo a Diesel No.2 (Brls Diesel)	Importación de Diesel No.2 (Brls Diesel)
ene-00	11.939	3.208	1.159	689	463
feb-00	11.407	3.230	1.166	693	465
mar-00	12.002	3.250	1.172	696	467
abr-00	11.794	3.273	1.179	700	470
may-00	12.475	3.295	1.186	704	472
jun-00	11.190	3.317	1.193	708	475
jul-00	12.431	3.339	1.200	712	477
ago-00	12.898	3.362	1.207	716	479
sep-00	12.616	3.385	1.215	720	482
oct-00	13.060	3.408	1.222	724	484
nov-00	12.397	3.431	1.229	728	487
dic-00	11.970	3.454	1.236	732	489
ene-01	12.892	3.894	1.195	1.230	210
feb-01	11.352	3.108	1.084	1.270	209
mar-01	13.058	4.270	1.513	1.291	210
abr-01	12.557	3.963	1.282	1.137	205
may-01	12.881	3.970	1.323	1.172	211

jun-01	11.193	4.020	1.300	1.288	212
jul-01	12.492	3.984	1.349	1.171	210
ago-01	12.620	4.202	1.440	1.162	198
sep-01	11.986	4.106	1.475	662	631
oct-01	12.355	4.950	1.713	1.060	760
nov-01	11.964	4.827	1.863	1.228	594
dic-01	12.119	4.753	1.638	1.144	654
ene-02	12.117	4.571	1.556	1.039	200
feb-02	10.598	4.161	1.343	1.181	219
mar-02	11.983	4.477	1.521	1.181	205
abr-02	11.827	4.263	1.410	956	432
may-02	12.257	4.237	1.383	1.115	220
jun-02	11.894	4.151	1.435	1.218	234
jul-02	12.272	4.378	1.430	875	438
ago-02	12.090	4.358	1.429	957	239
sep-02	12.003	4.767	1.502	1.151	677
oct-02	12.039	5.060	1.698	962	679
nov-02	11.827	4.298	1.362	1.070	666
dic-02	12.069	4.691	1.390	1.008	523
ene-03	12.189	4.502	1.448	962	379
feb-03	10.772	4.347	1.348	748	248
mar-03	12.020	4.365	1.422	927	960
abr-03	11.544	4.314	1.414	956	356
may-03	10.248	4.419	1.430	1.068	424
jun-03	10.972	4.133	1.384	1.046	390
jul-03	12.434	4.356	1.496	805	430
ago-03	13.126	4.320	1.450	1.221	464
sep-03	14.544	4.539	1.483	823	454
oct-03	15.316	4.695	1.616	915	568
nov-03	14.903	4.685	1.526	976	615
dic-03	15.471	4.769	1.498	1.218	550
ene-04	15.731	4.597	1.535	1.059	321
feb-04	15.162	4.678	1.592	940	631
mar-04	15.207	4.698	1.542	1.043	627
abr-04	15.991	4.651	1.510	967	218
may-04	16.401	4.491	1.475	1.188	325
jun-04	16.127	4.324	1.477	1.115	431
jul-04	16.498	4.642	1.584	915	651
ago-04	16.473	4.606	1.546	994	338
sep-04	15.798	4.783	1.699	1.083	443
oct-04	16.405	5.275	1.840	1.168	686
nov-04	16.031	4.993	1.673	1.060	466

dic-04	16.692	5.067	1.721	1.065	728
ene-05	16.526	5.242	1.778	1.174	430
feb-05	15.043	4.594	1.487	868	220
mar-05	16.395	4.857	1.618	1.267	1.190
abr-05	15.674	4.594	1.560	1.128	250
may-05	16.298	5.089	1.668	1.086	459
jun-05	16.246	4.920	1.675	1.131	478
jul-05	17.053	4.913	1.703	1.053	484
ago-05	14.824	5.441	1.807	1.069	700
sep-05	16.252	5.424	1.847	1.163	754
oct-05	16.573	5.680	2.009	943	992
nov-05	16.063	5.311	1.885	1.011	1.228
dic-05	17.221	5.863	2.115	1.062	936
ene-06	17.153	5.335	1.857	1.019	954
feb-06	15.439	4.729	1.607	714	957
mar-06	16.385	5.312	1.793	868	496
abr-06	16.389	5.199	1.769	977	689
may-06	16.960	5.374	1.950	1.047	1.000
jun-06	16.073	5.130	1.865	1.114	225
jul-06	16.829	5.473	1.986	1.139	1.027
ago-06	16.877	5.889	2.108	1.193	489
sep-06	16.090	5.801	2.128	1.054	1.135
oct-06	16.213	5.831	2.234	1.037	955
nov-06	15.452	5.899	2.151	1.125	978
dic-06	16.088	5.905	2.034	1.049	1.276
ene-07	16.030	5.736	2.007	964	721
feb-07	14.203	5.488	2.006	984	943
mar-07	14.945	5.545	2.076	1.082	871
abr-07	15.062	5.199	1.830	1.075	945
may-07	15.862	5.307	1.758	468	943
jun-07	15.436	5.066	1.770	847	1.166
jul-07	15.796	5.601	1.893	1.050	1.147
ago-07	15.776	5.616	1.933	1.231	877
sep-07	15.506	5.456	1.945	1.052	1.140
oct-07	15.931	5.846	1.980	1.153	1.128
nov-07	15.541	5.611	1.920	810	953
dic-07	16.483	5.679	1.794	1.125	1.010
ene-08	16.103	5.646	1.822	1.070	927
feb-08	15.051	5.204	1.641	868	479
mar-08	15.762	5.348	1.783	1.197	715
abr-08	15.305	5.477	1.819	817	475
may-08	15.473	5.710	1.948	1.035	712
jun-08	14.843	5.834	1.966	1.046	1.229

jul-08	15.447	5.952	2.038	932	1.186
ago-08	15.612	5.931	2.077	1.074	1.191
sep-08	14.957	6.057	2.155	1.093	1.133
oct-08	15.403	6.222	2.149	1.065	936
nov-08	15.050	5.718	2.025	1.015	1.240
dic-08	15.737	6.137	2.147	1.127	936
ene-09	15.615	6.056	2.035	1.144	938
feb-09	13.949	5.268	1.758	909	890
mar-09	15.414	6.114	2.062	1.107	915
abr-09	14.855	6.132	2.089	1.118	659
may-09	15.070	5.981	990	1.171	948
jun-09	14.745	6.288	945	817	954
jul-09	14.979	6.165	2.074	1.038	946
ago-09	14.776	6.214	2.140	1.096	1.414
sep-09	14.256	6.452	2.299	1.126	1.198
oct-09	14.699	6.776	2.494	1.135	1.196
nov-09	14.308	7.026	2.714	1.223	1.665
dic-09	14.562	7.141	2.860	1.023	1.983
ene-10	14.341	6.834	2.584	1.167	1.710
feb-10	13.131	6.094	2.232	777	1.213
mar-10	14.855	6.883	2.726	642	1.425
abr-10	14.311	6.322	2.538	674	1.736
may-10	14.860	6.612	2.555	767	2.178
jun-10	14.805	6.380	2.357	1.203	1.507
jul-10	15.163	6.510	2.379	964	1.624
ago-10	15.053	6.303	2.348	984	1.450
sep-10	14.713	6.945	2.713	846	1.470
oct-10	15.425	7.343	2.767	985	1.892
nov-10	15.238	6.737	2.432	1.045	1.933
dic-10	15.479	6.887	2.323	1.009	1.482
ene-11	15.163	6.725	2.352	1.042	1.310
feb-11	15.174	6.750	2.361	1.042	1.319
mar-11	15.185	6.772	2.369	1.043	1.327
abr-11	15.196	6.797	2.379	1.043	1.335
may-11	15.208	6.821	2.387	1.044	1.344
jun-11	15.219	6.846	2.397	1.044	1.352
jul-11	15.230	6.870	2.406	1.045	1.361
ago-11	15.242	6.895	2.415	1.045	1.369
sep-11	15.254	6.920	2.424	1.046	1.378
oct-11	15.265	6.945	2.433	1.047	1.386
nov-11	15.276	6.970	2.442	1.047	1.395

dic-11	15.288	6.994	2.451	1.048	1.403
ene-12	15.299	7.019	2.460	1.048	1.412
feb-12	15.311	7.044	2.469	1.049	1.421
mar-12	15.322	7.067	2.478	1.049	1.429
abr-12	15.333	7.092	2.487	1.050	1.437
may-12	15.344	7.116	2.496	1.050	1.446
jun-12	15.356	7.141	2.505	1.051	1.454
jul-12	15.367	7.165	2.514	1.051	1.463
ago-12	15.379	7.190	2.523	1.052	1.471
sep-12	15.390	7.215	2.532	1.053	1.480
oct-12	15.402	7.239	2.541	1.053	1.488
nov-12	15.413	7.264	2.550	1.054	1.497
dic-12	15.424	7.289	2.559	1.054	1.505
ene-13	15.436	7.314	2.569	1.055	1.514
feb-13	15.448	7.339	2.578	1.055	1.523
mar-13	15.458	7.361	2.586	1.056	1.530
abr-13	15.470	7.386	2.595	1.056	1.539
may-13	15.481	7.410	2.604	1.057	1.547
jun-13	15.493	7.435	2.613	1.057	1.556
jul-13	15.504	7.459	2.622	1.058	1.564
ago-13	15.515	7.484	2.631	1.058	1.573
sep-13	15.527	7.509	2.641	1.059	1.582
oct-13	15.538	7.534	2.649	1.060	1.590
nov-13	15.550	7.559	2.659	1.060	1.599
dic-13	15.561	7.583	2.668	1.061	1.607
ene-14	15.573	7.608	2.677	1.061	1.616
feb-14	15.584	7.633	2.686	1.062	1.624
mar-14	15.595	7.655	2.694	1.062	1.632
abr-14	15.606	7.680	2.703	1.063	1.641
may-14	15.617	7.704	2.712	1.063	1.649
jun-14	15.629	7.729	2.722	1.064	1.658
jul-14	15.640	7.754	2.730	1.064	1.666
ago-14	15.652	7.778	2.740	1.065	1.675
sep-14	15.663	7.803	2.749	1.066	1.683
oct-14	15.675	7.828	2.758	1.066	1.692
nov-14	15.686	7.853	2.767	1.067	1.700
dic-14	15.697	7.877	2.776	1.067	1.709
ene-15	15.709	7.902	2.785	1.068	1.717
feb-15	15.721	7.927	2.794	1.068	1.726
mar-15	15.731	7.949	2.802	1.069	1.734
abr-15	15.743	7.974	2.812	1.069	1.742
may-15	15.754	7.998	2.821	1.070	1.751
jun-15	15.766	8.023	2.830	1.070	1.759

jul-15	15.777	8.048	2.839	1.071	1.768
ago-15	15.788	8.073	2.848	1.071	1.776
sep-15	15.800	8.098	2.857	1.072	1.785
oct-15	15.811	8.122	2.866	1.073	1.793
nov-15	15.823	8.147	2.875	1.073	1.802
dic-15	15.834	8.171	2.884	1.074	1.810
ene-16	15.846	8.196	2.893	1.074	1.819
feb-16	15.857	8.221	2.902	1.075	1.828
mar-16	15.868	8.244	2.911	1.075	1.836
abr-16	15.880	8.269	2.920	1.076	1.844
may-16	15.891	8.293	2.929	1.076	1.853
jun-16	15.902	8.318	2.938	1.077	1.861
jul-16	15.914	8.342	2.947	1.077	1.870
ago-16	15.925	8.367	2.956	1.078	1.878
sep-16	15.937	8.392	2.965	1.079	1.887
oct-16	15.948	8.417	2.974	1.079	1.895
nov-16	15.960	8.442	2.984	1.080	1.904
dic-16	15.971	8.466	2.992	1.080	1.912
ene-17	15.982	8.491	3.002	1.081	1.921
feb-17	15.994	8.516	3.011	1.081	1.930
mar-17	16.005	8.538	3.019	1.082	1.937
abr-17	16.016	8.563	3.028	1.082	1.946
may-17	16.027	8.587	3.037	1.083	1.954
jun-17	16.039	8.612	3.046	1.083	1.963
jul-17	16.050	8.637	3.055	1.084	1.971
ago-17	16.062	8.662	3.064	1.084	1.980
sep-17	16.073	8.687	3.074	1.085	1.989
oct-17	16.085	8.711	3.083	1.086	1.997
nov-17	16.096	8.736	3.092	1.086	2.006
dic-17	16.107	8.760	3.101	1.087	2.014
ene-18	16.119	8.785	3.110	1.087	2.023
feb-18	16.131	8.810	3.119	1.088	2.031
mar-18	16.141	8.832	3.127	1.088	2.039
abr-18	16.153	8.857	3.136	1.089	2.048
may-18	16.164	8.882	3.145	1.089	2.056
jun-18	16.175	8.907	3.155	1.090	2.065
jul-18	16.187	8.931	3.163	1.090	2.073
ago-18	16.198	8.956	3.173	1.091	2.082
sep-18	16.210	8.981	3.182	1.092	2.090
oct-18	16.221	9.005	3.191	1.092	2.099
nov-18	16.233	9.030	3.200	1.093	2.107
dic-18	16.244	9.054	3.209	1.093	2.116
ene-19	16.255	9.079	3.218	1.094	2.124
feb-19	16.267	9.104	3.227	1.094	2.133
mar-19	16.278	9.126	3.235	1.095	2.141

abr-19	16.289	9.151	3.245	1.095	2.149
may-19	16.300	9.176	3.254	1.096	2.158
jun-19	16.312	9.201	3.263	1.096	2.166
jul-19	16.323	9.225	3.272	1.097	2.175
ago-19	16.335	9.250	3.281	1.097	2.183
sep-19	16.346	9.275	3.290	1.098	2.192
oct-19	16.358	9.299	3.299	1.099	2.200
nov-19	16.369	9.324	3.308	1.099	2.209
dic-19	16.380	9.348	3.317	1.100	2.217
ene-20	16.392	9.373	3.326	1.100	2.226
feb-20	16.404	9.398	3.335	1.101	2.235
mar-20	16.414	9.421	3.344	1.101	2.243
abr-20	16.426	9.446	3.353	1.102	2.251
may-20	16.437	9.471	3.362	1.102	2.260
jun-20	16.449	9.495	3.371	1.103	2.268
jul-20	16.460	9.520	3.380	1.103	2.277
ago-20	16.472	9.545	3.389	1.104	2.285
sep-20	16.483	9.570	3.398	1.105	2.294
oct-20	16.494	9.594	3.407	1.105	2.302
nov-20	16.506	9.619	3.417	1.106	2.311
dic-20	16.517	9.643	3.425	1.106	2.319
ene-21	16.529	9.668	3.435	1.107	2.328
feb-21	16.540	9.693	3.444	1.107	2.337
mar-21	16.551	9.715	3.452	1.108	2.344
abr-21	16.563	9.740	3.461	1.108	2.353
may-21	16.574	9.765	3.470	1.109	2.361
jun-21	16.585	9.790	3.479	1.109	2.370
jul-21	16.597	9.814	3.488	1.110	2.378
ago-21	16.608	9.839	3.497	1.110	2.387
sep-21	16.620	9.864	3.507	1.111	2.396
oct-21	16.631	9.888	3.516	1.112	2.404
nov-21	16.643	9.913	3.525	1.112	2.413
dic-21	16.654	9.937	3.534	1.113	2.421
ene-22	16.665	9.962	3.543	1.113	2.430
feb-22	16.677	9.987	3.552	1.114	2.438
mar-22	16.687	10.010	3.560	1.114	2.446
abr-22	16.699	10.035	3.569	1.115	2.455
may-22	16.710	10.059	3.578	1.115	2.463
jun-22	16.722	10.084	3.588	1.116	2.472
jul-22	16.733	10.108	3.596	1.116	2.480
ago-22	16.745	10.133	3.606	1.117	2.489
sep-22	16.756	10.158	3.615	1.118	2.497
oct-22	16.767	10.182	3.624	1.118	2.506
nov-22	16.779	10.207	3.633	1.119	2.514
dic-22	16.790	10.231	3.642	1.119	2.523

ene-23	16.802	10.256	3.651	1.120	2.531
feb-23	16.813	10.281	3.660	1.120	2.540
mar-23	16.824	10.304	3.668	1.121	2.548
abr-23	16.836	10.329	3.678	1.121	2.556
may-23	16.847	10.353	3.687	1.122	2.565
jun-23	16.858	10.378	3.696	1.122	2.573
jul-23	16.870	10.402	3.705	1.123	2.582
ago-23	16.881	10.427	3.714	1.123	2.590
sep-23	16.893	10.452	3.723	1.124	2.599
oct-23	16.904	10.476	3.732	1.125	2.607
nov-23	16.916	10.501	3.741	1.125	2.616
dic-23	16.927	10.525	3.750	1.126	2.624
ene-24	16.938	10.550	3.759	1.126	2.633
feb-24	16.950	10.575	3.768	1.127	2.642
mar-24	16.961	10.599	3.777	1.127	2.650
abr-24	16.972	10.624	3.786	1.128	2.658
may-24	16.984	10.648	3.795	1.128	2.667
jun-24	16.995	10.673	3.804	1.129	2.675
jul-24	17.006	10.697	3.813	1.129	2.684
ago-24	17.018	10.722	3.822	1.130	2.692
sep-24	17.030	10.747	3.831	1.131	2.701
oct-24	17.041	10.771	3.840	1.131	2.709
nov-24	17.052	10.796	3.850	1.132	2.718
dic-24	17.064	10.820	3.858	1.132	2.726
ene-25	17.075	10.845	3.868	1.133	2.735
feb-25	17.087	10.870	3.877	1.133	2.744
mar-25	17.097	10.893	3.885	1.134	2.751
abr-25	17.109	10.918	3.894	1.134	2.760
may-25	17.120	10.942	3.903	1.135	2.768
jun-25	17.132	10.967	3.912	1.135	2.777
jul-25	17.143	10.991	3.921	1.136	2.785
ago-25	17.155	11.016	3.930	1.136	2.794
sep-25	17.166	11.041	3.940	1.137	2.803
oct-25	17.177	11.065	3.949	1.138	2.811
nov-25	17.189	11.090	3.958	1.138	2.820
dic-25	17.200	11.114	3.967	1.139	2.828

Gráfico #18: Oferta Proyectada de Biodiesel al año 2025. Y **Gráfico #19:** Diseño del “Escenario Base” Propuesto como proyección de la Oferta Nacional de Combustible para motores Diesel al año 2025.

Mes-Año	Prod. Nac. Petro	Cons. Nac. Deriv	Cons. Nac. Diesel	Prod. Nac. Diesel	Imp. Diesel	Mezcla	Prod. Nac. Biodiesel
2000	146.180	39.952	14.365	8.521	5.710	0	0
2001	147.468	50.048	17.175	13.815	4.304	0	0
2002	142.976	53.411	17.460	12.714	4.733	0	0
2003	153.539	53.444	17.515	11.665	5.839	0	0
2004	192.517	56.806	19.195	12.596	5.865	0	0
2005	194.169	61.927	21.154	12.953	8.123	0	0
2006	195.948	65.878	23.483	12.334	10.178	0	0
2007	186.570	66.148	22.912	11.840	11.845	0	0
2008	184.743	69.235	23.570	12.339	11.160	0	0
2009	177.228	75.614	24.457	12.907	13.706	0	0
2010	177.374	79.850	29.954	11.064	19.620	0	0
2011	182.700	82.305	28.815	12.536	16.279	0	0
2012	184.341	85.842	30.116	12.614	17.502	0	0
2013	185.980	89.373	31.415	12.692	18.723	0	1.571
2014	187.618	92.902	32.713	12.770	19.943	0	1.636
2015	189.256	96.431	34.011	12.848	21.164	0	1.701
2016	190.898	99.968	35.313	35.313	0	0	3.531
2017	192.537	103.499	36.611	36.611	0	0	7.322
2018	194.175	107.028	37.910	37.910	0	0	11.373
2019	195.813	110.557	39.208	39.208	0	0	15.683
2020	197.455	114.094	40.509	40.509	0	0	20.254
2021	199.093	117.625	41.808	41.808	0	0	25.085
2022	200.731	121.154	43.106	43.106	0	0	30.174
2023	202.369	124.683	44.404	44.404	0	0	35.523
2024	204.011	128.220	45.705	45.705	0	0	41.135
2025	205.650	131.751	47.004	47.004	0	0	47.004

Gráfico #20: Precios de Importación y Comercialización Interna de Diesel
No.2 proyectados al 2025.

Mensual	Precio Importación (dólares por barril)	Precio Venta Interna (dólares por barril)	Mensual	Precio Importación (dólares por barril)	Precio Venta Interna (dólares por barril)
ene-00	68,40	55,49	ene-13	104,57	54,91
feb-00	68,32	55,49	feb-13	104,89	54,90
mar-00	68,25	55,48	mar-13	105,17	54,90
abr-00	68,18	55,48	abr-13	105,48	54,90
may-00	68,11	55,48	may-13	105,78	54,89
jun-00	68,03	55,47	jun-13	106,09	54,89
jul-00	67,96	55,47	jul-13	106,39	54,89
ago-00	67,88	55,46	ago-13	106,70	54,88
sep-00	67,81	55,46	sep-13	107,01	54,88
oct-00	67,74	55,46	oct-13	107,31	54,88
nov-00	67,66	55,45	nov-13	107,62	54,87
dic-00	67,59	55,45	dic-13	107,92	54,87
ene-01	67,52	55,45	ene-14	108,23	54,86
feb-01	67,44	55,44	feb-14	108,54	54,86
mar-01	67,37	55,44	mar-14	108,82	54,86
abr-01	67,30	55,43	abr-14	109,13	54,85
may-01	67,23	55,43	may-14	109,43	54,85
jun-01	67,16	55,43	jun-14	109,75	54,85
jul-01	67,08	55,42	jul-14	110,05	54,84
ago-01	67,01	55,42	ago-14	110,36	54,84
sep-01	66,94	55,42	sep-14	110,67	54,83
oct-01	66,86	55,41	oct-14	110,97	54,83
nov-01	66,79	55,41	nov-14	111,28	54,83
dic-01	66,72	55,40	dic-14	111,58	54,82
ene-02	66,65	55,40	ene-15	111,89	54,82
feb-02	66,57	55,40	feb-15	112,20	54,82
mar-02	66,51	55,39	mar-15	112,48	54,81
abr-02	66,43	55,39	abr-15	112,79	54,81
may-02	66,36	55,39	may-15	113,09	54,80
jun-02	66,29	55,38	jun-15	113,40	54,80
jul-02	66,22	55,38	jul-15	113,70	54,80
ago-02	66,15	55,37	ago-15	114,01	54,79
sep-02	66,07	55,37	sep-15	114,32	54,79
oct-02	66,00	55,37	oct-15	114,63	54,79
nov-02	65,93	55,36	nov-15	114,94	54,78
dic-02	65,86	55,36	dic-15	115,24	54,78

ene-03	65,79	55,36	ene-16	115,55	54,77
feb-03	65,72	55,35	feb-16	115,86	54,77
mar-03	65,65	55,35	mar-16	116,15	54,77
abr-03	65,58	55,34	abr-16	116,46	54,76
may-03	65,51	55,34	may-16	116,76	54,76
jun-03	65,44	55,34	jun-16	117,07	54,76
jul-03	65,37	55,33	jul-16	117,37	54,75
ago-03	65,29	55,33	ago-16	117,68	54,75
sep-03	65,22	55,33	sep-16	117,99	54,74
oct-03	65,15	55,32	oct-16	118,29	54,74
nov-03	65,08	55,32	nov-16	118,60	54,74
dic-03	65,01	55,32	dic-16	118,90	54,73
ene-04	64,94	55,31	ene-17	119,22	54,73
feb-04	64,87	55,31	feb-17	119,53	54,73
mar-04	64,80	55,30	mar-17	119,81	54,72
abr-04	64,73	55,30	abr-17	120,12	54,72
may-04	64,66	55,30	may-17	120,42	54,72
jun-04	64,59	55,29	jun-17	120,73	54,71
jul-04	64,52	55,29	jul-17	121,03	54,71
ago-04	64,45	55,29	ago-17	121,34	54,70
sep-04	64,38	55,28	sep-17	121,65	54,70
oct-04	64,31	55,28	oct-17	121,95	54,70
nov-04	64,24	55,27	nov-17	122,26	54,69
dic-04	64,17	55,27	dic-17	122,56	54,69
ene-05	64,10	55,27	ene-18	122,87	54,69
feb-05	64,03	55,26	feb-18	123,18	54,68
mar-05	63,97	55,26	mar-18	123,46	54,68
abr-05	63,90	55,26	abr-18	123,77	54,67
may-05	63,83	55,25	may-18	124,08	54,67
jun-05	63,76	55,25	jun-18	124,39	54,67
jul-05	63,69	55,24	jul-18	124,69	54,66
ago-05	63,62	55,24	ago-18	125,00	54,66
sep-05	63,55	55,24	sep-18	125,31	54,66
oct-05	63,48	55,23	oct-18	125,61	54,65
nov-05	63,41	55,23	nov-18	125,92	54,65
dic-05	63,34	55,23	dic-18	126,22	54,64
ene-06	63,27	55,22	ene-19	126,53	54,64
feb-06	63,20	55,22	feb-19	126,84	54,64
mar-06	63,14	55,21	mar-19	127,12	54,63
abr-06	63,07	55,21	abr-19	127,43	54,63
may-06	63,01	55,21	may-19	127,73	54,63
jun-06	62,94	55,20	jun-19	128,04	54,62
jul-06	62,87	55,20	jul-19	128,34	54,62
ago-06	62,80	55,20	ago-19	128,65	54,61
sep-06	62,73	55,19	sep-19	128,97	54,61

oct-06	62,66	55,19	oct-19	129,27	54,61
nov-06	62,59	55,18	nov-19	129,58	54,60
dic-06	62,53	55,18	dic-19	129,88	54,60
ene-07	71,00	55,10	ene-20	130,19	54,60
feb-07	73,00	55,10	feb-20	130,50	54,59
mar-07	76,40	55,10	mar-20	130,79	54,59
abr-07	80,70	55,10	abr-20	131,10	54,58
may-07	84,20	55,10	may-20	131,40	54,58
jun-07	90,50	55,20	jun-20	131,71	54,58
jul-07	94,00	55,10	jul-20	132,01	54,57
ago-07	93,80	55,10	ago-20	132,32	54,57
sep-07	97,50	55,10	sep-20	132,63	54,57
oct-07	99,50	55,10	oct-20	132,93	54,56
nov-07	113,90	55,10	nov-20	133,24	54,56
dic-07	111,60	55,10	dic-20	133,55	54,55
ene-08	111,20	55,10	ene-21	133,86	54,55
feb-08	119,80	55,10	feb-21	134,17	54,55
mar-08	127,50	55,20	mar-21	134,45	54,54
abr-08	134,40	55,10	abr-21	134,76	54,54
may-08	149,00	55,20	may-21	135,06	54,54
jun-08	166,30	55,20	jun-21	135,37	54,53
jul-08	137,60	55,20	jul-21	135,67	54,53
ago-08	144,50	55,20	ago-21	135,98	54,53
sep-08	131,90	55,30	sep-21	136,29	54,52
oct-08	127,90	55,20	oct-21	136,59	54,52
nov-08	86,00	55,10	nov-21	136,90	54,51
dic-08	83,90	55,10	dic-21	137,20	54,51
ene-09	67,20	55,10	ene-22	137,51	54,51
feb-09	66,60	55,10	feb-22	137,82	54,50
mar-09	67,90	55,10	mar-22	138,10	54,50
abr-09	66,40	55,10	abr-22	138,42	54,50
may-09	76,50	55,10	may-22	138,72	54,49
jun-09	68,10	55,10	jun-22	139,03	54,49
jul-09	78,20	55,10	jul-22	139,33	54,48
ago-09	81,10	55,10	ago-22	139,64	54,48
sep-09	82,70	55,10	sep-22	139,95	54,48
oct-09	98,20	55,10	oct-22	140,25	54,47
nov-09	90,40	55,10	nov-22	140,56	54,47
dic-09	90,90	55,10	dic-22	140,86	54,47
ene-10	92,50	55,10	ene-23	141,17	54,46
feb-10	91,80	55,10	feb-23	141,48	54,46
mar-10	72,20	55,20	mar-23	141,76	54,45
abr-10	90,30	55,20	abr-23	142,07	54,45
may-10	97,90	55,10	may-23	142,37	54,45
jun-10	93,20	55,10	jun-23	142,68	54,44

jul-10	93,30	55,20	jul-23	142,98	54,44
ago-10	93,10	53,30	ago-23	143,30	54,44
sep-10	92,10	55,20	sep-23	143,61	54,43
oct-10	99,20	55,10	oct-23	143,91	54,43
nov-10	102,80	55,10	nov-23	144,22	54,42
dic-10	104,70	55,10	dic-23	144,52	54,42
ene-11	97,25	55,00	ene-24	144,83	54,42
feb-11	97,56	54,99	feb-24	145,14	54,41
mar-11	97,84	54,99	mar-24	145,43	54,41
abr-11	98,15	54,99	abr-24	145,74	54,41
may-11	98,45	54,98	may-24	146,04	54,40
jun-11	98,76	54,98	jun-24	146,35	54,40
jul-11	99,06	54,98	jul-24	146,65	54,39
ago-11	99,37	54,97	ago-24	146,96	54,39
sep-11	99,68	54,97	sep-24	147,27	54,39
oct-11	99,98	54,96	oct-24	147,57	54,38
nov-11	100,30	54,96	nov-24	147,89	54,38
dic-11	100,60	54,96	dic-24	148,19	54,38
ene-12	100,91	54,95	ene-25	148,50	54,37
feb-12	101,22	54,95	feb-25	148,81	54,37
mar-12	101,51	54,95	mar-25	149,09	54,36
abr-12	101,82	54,94	abr-25	149,40	54,36
may-12	102,12	54,94	may-25	149,70	54,36
jun-12	102,43	54,93	jun-25	150,01	54,35
jul-12	102,73	54,93	jul-25	150,31	54,35
ago-12	103,04	54,93	ago-25	150,62	54,35
sep-12	103,35	54,92	sep-25	150,93	54,34
oct-12	103,65	54,92	oct-25	151,23	54,34
nov-12	103,96	54,92	nov-25	151,54	54,33
dic-12	104,26	54,91	dic-25	151,84	54,33

Gráfico #21: Demanda de Diesel No.2 del Sector Transporte Terrestre Nacional. Periodo 2000 al 2010.

Años / Sectores	Transporte Terrestre	Resto de Sectores	Demanda Total de Diesel No.2
2000	7.126	8.203	15.328
2001	7.903	9.272	17.175
2002	8.681	8.779	17.460
2003	9.458	8.057	17.515
2004	10.236	8.960	19.195
2005	11.200	9.954	21.154
2006	12.275	11.208	23.483
2007	12.345	10.567	22.912
2008	12.735	10.835	23.570
2009	13.148	11.309	24.457
2010	16.041	13.913	29.954

Gráfico #22: Parque Automotriz al cierre del año 2009.

	2009
Vehículos Otros combustibles	804.824
Vehículos Diesel Otras Provincias	56.929
Vehículos Diesel Guayas	25.549
Vehículos Diesel Pichincha	18.349

Gráfico #23: Vehículos que consumen Diesel por Provincias para el año 2009.

	2009
Otras Provincias	27.424
Guayas	25.549
Pichincha	18.349
Azuay	7.088
Manabí	6.394
Tunguragua	5.077
Los Rios	4.912
El Oro	4.745
Esmeraldas	1.289

Gráfico #24: Consumo de Diesel en el Sector Transporte Terrestre por Provincias para el año 2009.

	Demanda Diesel Transporte
Guayas	4.449.200
Otras Provincias	3.107.098
Pichincha	1.077.167
Sucumbíos	1.062.120
Manabí	919.754
El Oro	713.158
Los Rios	583.727
Sto. Domingo de	452.117
Azuay	441.265
Esmeraldas	341.931
Total País	13.147.536

Gráfico #25: Demanda Proyectada de Diesel No.2 del Sector Transporte Terrestre Nacional al 2025.

Años / Sectores	Transporte Terrestre	Resto de Sectores	Demanda Total de Diesel No.2
2000	7.126	8.203	15.328
2001	7.903	9.272	17.175
2002	8.681	8.779	17.460
2003	9.458	8.057	17.515
2004	10.236	8.960	19.195
2005	11.200	9.954	21.154
2006	12.275	11.208	23.483
2007	12.345	10.567	22.912
2008	12.735	10.835	23.570
2009	13.148	11.309	24.457
2010	16.041	13.913	29.954
2011	15.679	13.095	28.774
2012	16.456	13.608	30.065
2013	17.234	14.119	31.353
2014	18.011	14.629	32.641
2015	18.789	15.139	33.928
2016	19.567	15.653	35.219
2017	20.344	16.163	36.508
2018	21.122	16.674	37.795
2019	21.899	17.184	39.083

2020	22.677	17.697	40.374
2021	23.454	18.208	41.662
2022	24.232	18.718	42.950
2023	25.009	19.228	44.238
2024	25.787	19.741	45.528
2025	26.565	20.252	46.817

Gráfico #26: Escenario Transporte Base Propuesto como proyección de la Oferta Nacional de Combustible para motores Diesel al año 2025 en el sector transporte terrestre del Ecuador.

	Otros Sectores	Demanda Diesel Sect Transporte	Diesel de Producción Nacional	Diesel Importado	Mezcla	Biodiesel de Producción Nacional
2000	7.239	7.126	3.563	3.563	0%	0
2001	9.272	7.903	3.952	3.952	0%	0
2002	8.779	8.681	4.340	4.340	0%	0
2003	8.057	9.458	4.729	4.729	0%	0
2004	8.960	10.236	5.118	5.118	0%	0
2005	9.954	11.200	5.600	5.600	0%	0
2006	11.208	12.275	6.138	6.138	0%	0
2007	10.567	12.345	6.172	6.172	0%	0
2008	10.835	12.735	6.367	6.367	0%	0
2009	11.309	13.148	6.574	6.574	0%	0
2010	13.913	16.041	8.021	8.021	0%	0
2011	13.136	15.679	7.839	7.839	0%	0
2012	13.660	16.456	8.228	8.228	0%	0
2013	14.181	17.234	8.617	7.755	5%	862
2014	14.702	18.011	9.006	8.105	5%	901
2015	15.222	18.789	9.394	8.455	5%	939
2016	15.746	19.567	17.610	0	10%	1.957
2017	16.267	20.344	16.275	0	20%	4.069
2018	16.788	21.122	14.785	0	30%	6.337
2019	17.309	21.899	13.140	0	40%	8.760
2020	17.832	22.677	11.338	0	50%	11.338
2021	18.353	23.454	9.382	0	60%	14.073
2022	18.874	24.232	7.270	0	70%	16.962
2023	19.395	25.009	5.002	0	80%	20.008
2024	19.918	25.787	2.579	0	90%	23.208
2025	20.439	26.565	0	0	100%	26.565

Gráfico #27: Uso de Suelos a Nivel Nacional. Comparación entre datos del 2000 y del 2009.

	NACIONAL	
	2000	2009
Cultivos Permanentes	1.363.400	1.349.258
Cultivos Transitorios y Barbecho	1.231.675	1.028.621
Descanso	381.304	170.776
Pastos Cultivados	3.357.167	3.561.947
Pastos Naturales	1.129.701	1.423.943
Páramos	600.264	498.436
Montes y Bosques	3.881.140	3.548.735
Otros Usos	411.180	232.598
TOTAL	12.355.831	11.814.314

Gráfico #28: Rendimiento del Cultivo de Palma Africana en Ecuador por superficie cultivada. 1998-2009.

	Superf. Cultivada (has acum)	Superf Cosech (has acum)	Prod. Fruta (Tm/a)	Fruto	Prod. Aceite (Tm/a)	Aceite	Rendim. Aceite (L/ha/a)
1998	123.417	103.670	992.474	9,57	198.495	1,91	2.081
1999	139.552	117.224	1.336.232	11,40	267.246	2,28	2.478
2000	153.623	153.623	1.110.975	7,23	222.195	1,45	1.572
2001	176.193	153.623	1.120.975	6,69	224.195	1,46	1.586
2002	190.138	153.623	1.193.992	7,75	238.798	1,55	1.690
2003	197.786	153.623	1.309.661	8,53	261.932	1,71	1.853
2004	202.515	153.623	1.395.760	9,09	279.152	1,82	1.975
2005	207.285	176.193	1.596.691	9,06	319.338	1,81	1.970
2006	-	190.138	1.760.602	8,99	352.120	1,85	2.013
2007	-	197.786	1.981.507	10,02	396.301	2,00	2.178
2008	-	202.515	2.091.896	10,33	418.379	2,07	2.246
2009	232.497	195.297	2.226.775	11,40	445.355	2,28	2.479
Promedio	180.334	162.578	1.509.795	9	301.959	2	2.010

Gráfico #29: Exportación de Aceite Crudo de Palma Aceitera desde el 2006 al 2009.

	2006	2007	2008	2009
Miles USD\$ FOB	46.685	109.324	146.176	141.292
Tm/a	148.081	185.024	208.705	218.109

Gráfico #30: Clasificación del Cultivo de Caña de Azúcar por tipo de uso para el año 2009.

	2009
Azúcar	109.307
Etanol	2.340
Otros Usos	41.957

Gráfico #31: Escenario Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para el cultivo de palma aceitera para suplir la demanda de biodiesel. **Gráfico #32:** Escenario Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para el cultivo de caña de azúcar para suplir la transesterificación del aceite de palma aceitera para elaborar biodiesel. Y **Gráfico #33:** Escenario Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para elaborar biodiesel.

	Cultivo de Caña de Azúcar	Cultivo de Palma Africana
2013	6,64	216,06
2014	6,91	224,94
2015	7,18	233,81
2016	14,91	485,41
2017	30,91	1.006,34
2018	48,01	1.562,75
2019	66,19	2.154,66
2020	85,47	2.782,27
2021	105,84	3.445,27
2022	127,29	4.143,72
2023	149,84	4.877,67
2024	173,49	5.647,49
2025	198,22	6.452,55

Gráfico #34: Escenario Transporte Base – Proyección de una expansión de la frontera agrícola para elaborar biodiesel.

	Cultivo de Caña de Azúcar	Cultivo de Palma Africana
2013	3,65	118,76
2014	3,81	124,12
2015	3,98	129,48
2016	8,28	269,68
2017	17,23	560,79
2018	26,83	873,33
2019	37,09	1.207,31
2020	48,01	1.562,72
2021	59,58	1.939,57
2022	71,82	2.337,85
2023	84,71	2.757,56
2024	98,26	3.198,71
2025	112,47	3.661,29

Gráfico #35: Horas de radiación solar directa sobre Guayaquil 2000 - 2008

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008
Ene	103	103	104	60	132	141	64	30
Feb	70	71	44	71	70	53	89	54
Mar	98	96	74	97	98	85	105	88
Abr	195	113	82	139	90	94	114	151
May	106	61	85	106	89	130	61	102
Jun	90	107	120	105	117	106	74	66
Jul	89	95	97	122	104	122	132	52
Ago	136	93	155	100	187	150	127	69
Sep	115	148	126	159	123	167	151	78
Oct	135	110	84	104	113	77	76	95
Nov	110	101	92	95	116	95	101	136
Dic	104	94	68	99	178	114	114	122

Gráfico #36: Promedio referencial de horas de radiación solar global sobre Guayaquil. Y **Gráfico #37:** Irradiación Solar Global promedio mensual - Guayas.

	Irradiación	Horas
Ene	3750	8
Feb	4050	6
Mar	4650	8
Abr	4350	10
May	4350	8
Jun	4200	8
Jul	4050	8
Ago	4650	10
Sep	4800	11
Oct	4500	8
Nov	4650	9
Dic	4500	9

Gráfico #38: Temperatura promedio mensual del aire a la sombra en periodos de luz y oscuridad– Guayaquil

	En Luz	En Oscuridad
Ene	28,80	22,60
Feb	30,60	22,70
Mar	31,20	23,50
Abr	32,40	23,70
May	30,90	22,10
Jun	30,00	21,60
Jul	29,70	21,80
Ago	30,30	21,60
Sep	30,60	21,50
Oct	30,60	20,90
Nov	31,50	21,50
Dic	32,30	22,60

Gráfico #39: Simulación del modelo de productividad de microalgas “Alga-SP” Escenario Guayaquil.

	SP₂₄
Ene	24,40
Feb	18,91
Mar	18,91
Abr	27,53
May	39,93
Jun	27,08
Jul	29,01
Ago	38,48
Sep	42,68
Oct	29,35
Nov	33,78
Dic	35,05

Gráfico #40: Requerimiento de expansión de la frontera agrícola nacional para satisfacer el escenario Base.

	ALGAS	PIÑÓN	PALMA
5%	0,14%	1,42%	2,24%
5%	0,15%	1,47%	2,34%
5%	0,15%	1,53%	2,43%
10%	0,32%	3,18%	5,04%
20%	0,66%	6,59%	10,45%
30%	1,02%	10,24%	16,23%
40%	1,41%	14,12%	22,38%
50%	1,82%	18,23%	28,89%
60%	2,25%	22,58%	35,78%
70%	2,71%	27,15%	43,03%
80%	3,19%	31,96%	50,65%
90%	3,69%	37,01%	58,65%
100%	4,22%	42,28%	67,01%

Gráfico #41: Requerimiento de expansión de la frontera agrícola nacional para satisfacer el escenario Transporte Base.

	ALGAS	PIÑON	PALMA
5%	0,08%	0,78%	1,23%
5%	0,08%	0,81%	1,29%
5%	0,08%	0,85%	1,34%
10%	0,18%	1,77%	2,80%
20%	0,37%	3,67%	5,82%
30%	0,57%	5,72%	9,07%
40%	0,79%	7,91%	12,54%
50%	1,02%	10,24%	16,23%
60%	1,27%	12,71%	20,14%
70%	1,53%	15,32%	24,28%
80%	1,80%	18,07%	28,64%
90%	2,09%	20,96%	33,22%
100%	2,39%	23,99%	38,02%

Gráfico #42: Emisiones y Captura de CO2 en el escenario Transporte Base Completo.

	EMISION	EMISION - CAPTURA
2013	7.311	6.500
2014	7.640	6.793
2015	7.970	7.086
2016	8.300	6.459
2017	8.630	4.802
2018	8.960	2.998
2019	9.290	1.048
2020	9.619	-1.048
2021	9.949	-3.291
2022	10.279	-5.680
2023	10.609	-8.215
2024	10.939	-10.897
2025	11.269	-13.724

Gráfico #43: Escenario Transporte Base – Escala Guayas. Proyectado al año 2025.

	Miles de Barriles						
	Demanda de Diesel No.2	Mezcla % Biodiesel	Oferta de Diesel No.2. Nacional	Demanda Insatisfecha	Oferta de Biodiesel de Microalgas	Oferta de Diesel No.2 Importado	Exportación de Diesel No.2
2000	6.608	0	3.304	3.304	0	3.304	0
2001	6.726	0	3.363	3.363	0	3.363	0
2002	6.845	0	3.422	3.422	0	3.422	0
2003	6.963	0	3.482	3.482	0	3.482	0
2004	7.082	0	3.541	3.541	0	3.541	0
2005	6.935	0	3.467	3.467	0	3.467	0
2006	8.077	0	4.038	4.038	0	4.038	0
2007	7.281	0	3.641	3.641	0	3.641	0
2008	6.657	0	3.329	3.329	0	3.329	0
2009	8.237	0	4.119	4.119	0	4.119	0
2010	9.247	0	4.624	4.624	0	4.624	0
2011	8.758	0	4.379	4.379	0	4.379	0
2012	9.020	0	4.510	4.510	0	4.510	0
2013	9.270	0	4.635	4.635	232	4.403	0
2014	9.508	0	4.754	4.754	238	4.516	0
2015	9.736	0	4.868	4.868	243	4.625	0
2016	9.953	0	8.958	0	995	0	995
2017	10.158	0	8.127	0	2.032	0	2.032
2018	10.352	0	7.246	0	3.106	0	3.106
2019	10.535	0	6.321	0	4.214	0	4.214
2020	10.707	1	5.353	0	5.353	0	5.353
2021	10.867	1	4.347	0	6.520	0	6.520
2022	11.016	1	3.305	0	7.711	0	7.711
2023	11.154	1	2.231	0	8.923	0	8.923
2024	11.281	1	1.128	0	10.153	0	10.153
2025	11.397	1	0	0	11.397	0	11.397

Gráfico #44: Pregunta 1. Antigüedad el parque automotor Diesel.

1 año o menos	153
Entre 2 y 5 años	164
Entre 6 y 10 años	71
11 años o más	12

Gráfico #45: Pregunta 2. Consumo promedio semanal de Diesel No.2.

25 galones o menos	52
Entre 26 galones y 45 galones	117
Entre 46 y 65 galones	138
66 galones o más	93

Gráfico #46: Pregunta 3. Preferencias de valor agregado para el combustible.

Mayor potencia y octanaje	209
Menos contaminación	51
Menos daño al vehículo	122
Beneficios sociales en la fabricación	18

Gráfico #47: Pregunta 4. Poseedores de conocimiento general del biodiesel

Sí	184
No	216

Gráfico #48: Pregunta 5. Orientación de una potencial campaña de información sobre biodiesel

Folletos en gasolineras	88
Prensa escrita. 1 Reportaje en los diarios	265
Prefieren no informarse del tema	47

Gráfico #49: Pregunta 6. Forma y nivel de aceptación del Biodiesel

Directamente sin mezcla - Alta aceptación	62
Mezcla 50/50 - Media aceptación	138
Pequeña proporción - Baja aceptación	166
No lo utilizaría - Rechazo	34

Gráfico #50: Pregunta 7. Nivel de interés en la comercialización del biodiesel

1. Mínimo Interés	32
2. Potencial de interés	16
3. Nivel medio de interés	189
4. Alto nivel de interés	121
5. Muy alto nivel de interés	42

Gráfico #51: Pregunta 8. Disposición a someter su vehículo a modificaciones para el biodiesel

Sí	227
No	173