



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

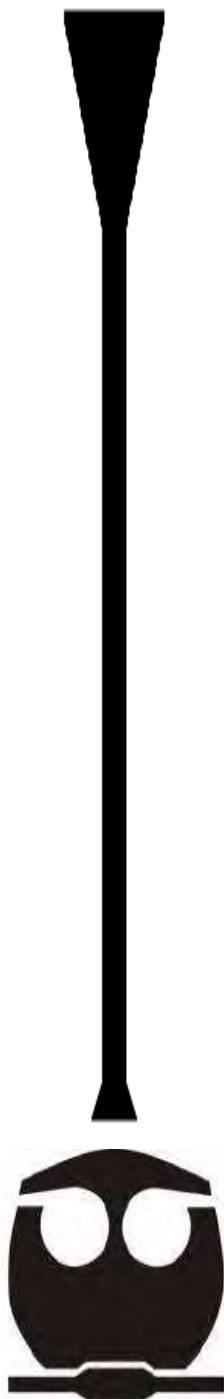
**FACTIBILIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL
A PARTIR DE COLZA POR CULTIVO HIDROPÓNICO**

TESIS

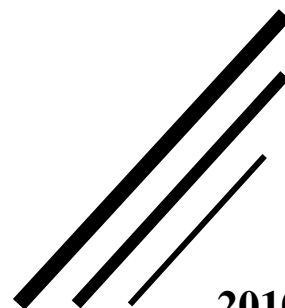
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

LÓPEZ JAIMES YAZMIN NAYELI



MÉXICO, D.F.



2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: Isaías Alejandro Anaya Durand

VOCAL: Profesor: José Agustín Texta Mena

SECRETARIO: Profesora: Alejandra Castro González

SUPLENTE 1: Profesor: Gerardo Reyes Aldasoro

SUPLENTE 2: Profesor: Alfonso Durán Moreno

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: Posgrado de Ingeniería, Facultad de Ingeniería CU-UNAM.

ASESORA DEL TEMA: Dra. Alejandra Castro González

SUSTENTANTE: Yazmin Nayeli López Jaimes

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi mamá y hermanos por todo su apoyo durante el desarrollo de éste proyecto.

Agradezco a la máxima casa de estudios UNAM por ofrecerme lo mejor en educación, por brindarme vastos conocimientos y por su ejemplo de autonomía.

Agradezco al Físico Antonio González de la Facultad de Ciencias, por todo su apoyo y tiempo dedicado en el desarrollo de éste documento. Realmente no tengo como agradecer tanta amabilidad y sobre todo tantos conocimientos adquiridos.

Agradezco a la Doctora Alejandra Castro por el tiempo dedicado y por la experiencia. Con toda sinceridad agradezco me haya ayudado con mi proyecto, todas sus aportaciones fueron de gran ayuda.

Agradezco al Ingeniero Alejandro Anaya por sus significativas aportaciones en la mejora de éste trabajo.

Agradezco a los profesores Agustín Texta y Gerardo Reyes por su amabilidad y tiempo.

Agradezco a Aime y Alonso por apoyarme tanto durante el desarrollo de éste proyecto.

DEDICATORIAS

Este proyecto, como se lo dije Abue en su lecho de muerte, es dedicado a usted. Gracias por ser una segunda mamá para mí, gracias por estar conmigo durante 25 años y gracias por brindarme tanto cariño e historia. La quiero y la extraño mucho.

A mi hermosa mamy, Epifania Jaimes Mendoza, a quien le debo gran parte de la felicidad que existe en mi vida, mi educación como persona, y su gran ejemplo de lucha y perseverancia.

A mis hermanas Yaneth, Diana y Yesica, quienes han sido un gran ejemplo y apoyo cada una en diferentes etapas de mi vida.

A mis hermanos Saúl, Miguel e Israel, quienes han sido la base de mi perspectiva hacia el género masculino y me han enseñado un sinfín de cosas.

A mi guapo y simpático amor: Alonso Alvarez, quien ha completado mi vida y ahora es parte importante de la misma.

A mis amigos y amigas, con quienes he compartido momentos inolvidables y únicos. Mis hermanitos de la secu: Consuelo (Chaos), Isaac, Xóchitl, Roberto y Hugo. Mis mejores amigos del CCH: Erika (Kory) y Mau. Mis amigos de la Fac. de Química: Yadira, Toñito, Omarji, Charly, Marilú, Ulises, Fercho, Normita, Narmy, Lupita, Liliana, Ernesto, Mijo Ivan, y mi hermosa amiga Aime. Mis amigos de la Fac. de Ingeniería: Miguel, Hugo, Hiram (bueno del poli) y Güero. Y a mi amigo Marco del área nuclear del posgrado de ingeniería.

A todas las personas mencionadas agradezco todos esos buenos y malos momentos juntos, saben que pueden contar conmigo siempre, los quiero mucho.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	VI
NOMENCLATURA.....	XI
RESUMEN.....	XII
CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO II: BIODIÉSEL.....	3
2.1 BIODIÉSEL.....	3
2.2 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL BIODIÉSEL.....	4
2.3 PROCESO PARA LA GENERACIÓN DE BIODIÉSEL.....	7
2.3.1 Materia prima con potencial para la producción de biodiésel.....	7
2.3.1.1 Grasas y aceites animales.....	7
2.3.1.2 Algas marinas.....	7
2.3.1.3 <i>Jatropha</i>	10
2.3.1.3.1 Características de la <i>Jatropha Curcas</i>	12
2.3.1.3.2 Estrategias para la promoción de la <i>Jatropha Curcas</i>	14
2.3.1.3.3 Manejo de la <i>Jatropha Curcas</i>	17
2.3.1.3.4 <i>Jatropha Curcas</i> como recurso energético.....	20
2.3.1.3.5 Mercado para los productos de la <i>Jatropha Curcas</i>	21
2.3.1.3.6 Usos no combustibles de la <i>Jatropha Curcas</i>	25
2.3.1.3.7 Costos y beneficios de la producción de <i>Jatropha Curcas</i>	26
2.3.1.3.8 Terreno necesario para los cultivos energéticos.....	27
2.3.1.3.9 Un mejor comercio con los países en vías de desarrollo.....	27
2.3.1.3.10 El nuevo petróleo crudo.....	28
2.3.1.4 Colza.....	29
2.3.1.4.1 Producción global, áreas bajo cultivo y rendimiento.....	30

2.3.1.4.2 Composición del aceite de colza y de canola	31
2.3.1.4.3 Germinación y surgimiento de la plántula	31
2.3.1.4.4 Crecimiento juvenil	32
2.3.1.4.5 Floración.....	32
2.3.1.4.6 Cosecha	33
2.3.1.4.7 Semillas por vaina	33
2.3.1.4.8 Condiciones de manejo del cultivo de Canola en México	35
2.3.1.4.9 Importancia mundial y nacional	35
2.3.1.5 Otros	37
2.3.1.5.1 Soya.....	37
2.3.1.5.2 Girasol	39
2.3.1.5.3 Palma.....	40
2.3.1.5.4 <i>Cynara Cardunculus</i>	40
2.4 CALIDAD DEL BIODIÉSEL.....	41
2.4.1 Pirólisis.....	41
2.4.2 Microemulsión	42
2.4.3 Transesterificación	42
2.5 LAS MEZCLAS Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MOTOR	45
2.6 OBTENCIÓN A ESCALA LABORATORIO	46
2.7 OBTENCIÓN: PLANTA PILOTO	48
2.7.1 Materiales.....	49
2.7.2 Método Analítico	49
2.7.2.1 Cromatografía de gases líquidos.....	49
2.7.2.2 Análisis convencional.....	50
2.7.2.3 Resultados y discusión.....	50
2.7.3 Proceso y equipo para la planta piloto	50
2.7.3.1 Producción del biodiésel y su caracterización.....	50
2.7.3.2 Remoción del alcohol	52
2.7.3.3 Purificación de la glicerina	52
2.7.3.4 Lavado de los metilésteres.....	52
2.7.3.5 Pureza y rendimiento del biodiésel.....	52
2.7.3.6 Balance de materia del proceso	53
2.7.3.7 Control de calidad del biodiésel	53
2.7.3.8 Almacenamiento.....	54
2.8 ACEITES COMESTIBLES VS ACEITES COMBUSTIBLES.....	55

CAPÍTULO III: HIDROPONÍA	61
3.1 DEFINICIÓN.....	61
3.2 BREVE HISTORIA DE LA HIDROPONÍA	61
3.3 ELEMENTOS BÁSICOS Y TÉCNICAS DE CULTIVO	63
3.4 CONTENEDORES.....	65
3.5 SUSTRATOS.....	66
3.5.1 Agrolita o perlita	66
3.5.2 Arena	66
3.5.3 Lana de roca	66
3.5.4 Grava	67
3.5.5 Turba	67
3.5.6 Fibra de coco	67
3.5.7 Tezontle.....	67
3.5.8 Silicato de Aluminio (Vermiculita).....	67
3.6 RIEGO	68
3.6.1 Solución nutritiva.....	68
3.6.1.1 Características del agua	69
3.6.1.2 Sales necesarias	70
3.6.1.3 pH	71
3.6.2 Tipos de riego.....	72
3.6.2.1 Manual.....	72
3.6.2.2 Riego localizado o por goteo.....	73
3.6.2.3 Riego por aspersión y microaspersión.....	73
3.6.2.4 Riego por subirrigación	74
3.7 PLAGAS Y ENFERMEDADES	74
3.7.1 Plagas	74
3.7.1.1 Mosca blanca	74
3.7.1.2 Trips.....	75
3.7.1.3 Araña roja	75
3.7.1.4 Pulgón.....	76
3.7.1.5 Orugas.....	77
3.7.1.6 Minador de hoja.....	77
3.7.2 Enfermedades.....	78
3.8 COSTOS	79
3.9 USO EN MÉXICO	80
3.10 USO EN OTROS PAÍSES.....	80

3.11 APLICACIONES PARA BIOCOMBUSTIBLES.....	80
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	81
4.1 HIDROPONÍA.....	81
4.1.1 Germinación.....	81
4.1.2 Desarrollo de la plántula en almácigo.....	82
4.1.3 Trasplante a sustrato definitivo.....	85
4.2 CULTIVO DE COLZA.....	88
4.3 CASO DE ESTUDIO.....	90
4.4 TRANSPORTE UNIVERSITARIO.....	91
CAPÍTULO V: FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.....	95
5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	95
5.1.1 Ubicación.....	95
5.1.2 Operación y mantenimiento.....	97
5.1.2.1 Cultivo hidropónico.....	97
5.1.2.2 Producción de biodiésel.....	100
5.1.3 Recolección y almacenamiento de las semillas.....	101
5.1.4 Extracción del aceite.....	102
5.1.5 Conversión del aceite a biodiésel.....	102
5.1.6 Almacenamiento del biodiésel.....	106
5.1.7 Uso.....	106
5.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	113
5.2.1 Costos del proyecto.....	113
5.2.1.1 Hidroponía.....	113
5.2.2.2 Proceso de producción.....	116
5.2.2 Valor Presente Neto (VPN).....	118
5.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	120
5.3 FACTIBILIDAD AMBIENTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	122
5.3.1 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la producción de biodiésel a partir de colza.....	122

5.3.1.1 Fotosíntesis	122
5.3.1.2 Fijación de carbón por la planta de colza	125
5.3.1.3 Procesamiento.....	126
5.3.1.4 Combustión.....	127
5.3.1.5 Reducción del CO ₂ por el uso de biodiésel	128
5.3.1.5.1 El CO ₂ cuando el diésel se reemplaza por biodiésel	129
5.3.1.5.2 Factores que afectan la sustitución de diésel por biodiésel	130
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN.....	133
CAPÍTULO VII: ALTERNATIVA DE FACTIBILIDAD	135
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES	140
REFERENCIAS	141
ANEXO 1	158
A. Algunos códigos y normas utilizados en el proceso y uso del biodiésel	158
B. Proveedores para cultivos hidropónicos.....	159
C. Proveedores de equipo para la producción de biodiésel	161
ANEXO 2	162
A. Plano planta-azotea del edificio B del posgrado de ingeniería de la UNAM	162
B. DFP para el proceso de producción de biodiésel	163

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros generales de calidad para el biodiésel	5
Tabla 2.2 Variación del poder calorífico y de densidad de algunas mezclas de biodiésel con respecto al petrodiesel	6
Tabla 2.3 Costos de producción de biodiésel a partir de aceite de desecho de cocina y Sebo de res	8
Tabla 2.4 Condiciones requeridas para la plantación de <i>Jatropha Curcas</i>	13
Tabla 2.5 Usos finales potenciales de los combustibles provenientes de la <i>Jatropha Curcas</i> , más otros posibles usos	22
Tabla 2.6 Valores energéticos de varios combustibles a partir de la <i>Jatropha Curcas</i>	23
Tabla 2.7 Costos de producción de aceite de <i>Jatropha</i> y precio de los productos en competencia	24
Tabla 2.8 Precio de aceites minerales, sebo y aceite vegetal	26
Tabla 2.9 Producción mundial de los principales cultivos oleaginosos	31
Tabla 2.10 Relación entre la longitud de la vaina y el rendimiento de los componentes de la colza oleaginosa ...	34
Tabla 2.11 Algunas características de los ácidos grasos utilizados para la producción de biodiésel	44
Tabla 2.12 Comparación entre ácidos grasos antes y después del experimento	44
Tabla 2.13 Catalizadores estudiados en el laboratorio	45
Tabla 2.14 Control de calidad para el aceite y biodiésel de <i>Brassica Carinata</i>	51
Tabla 2.15 Balance de materia del proceso	53
Tabla 2.16 Estatus actual de las investigaciones y argumentos sobre la competencia por el uso del suelo	58
Tabla 3.1 Minerales requeridos para la solución nutritiva <i>Hidrociencias</i>	71
Tabla 4.1 Mini manual para la siembra hidropónica de colza.....	89
Tabla 4.2. Datos de operación del Pumabús.....	93
Tabla 4.3. Datos químicos y energéticos del diésel.....	93
Tabla 4.4. Datos del biodiésel de colza	93

Tabla 4.5 Recorrido del autobús por día y consumo de diésel	94
Tabla 4.6. Especificaciones energéticas del diésel y el gasto económico por su uso.....	94
Tabla 4.7 Litros requeridos de biodiésel para un Pumabús, así como las hectáreas a sembrar.....	94
Tabla 4.8. Requerimientos para varias mezclas diésel-biodiésel	94
Tabla 5.1 Plan de trabajo para el cultivo de la colza	98
Tabla 5.2 Organización de los periodos de siembra por lote.....	99
Tabla 5.3 Algunas tecnologías utilizadas para la producción de biodiésel en algunas partes del mundo	100
Tabla 5.4 Biodiésel requerido dependiendo del número de autobuses.....	101
Tabla 5.5 Materia prima utilizada en los procesos de extracción y transesterificación del aceite	103
Tabla 5.6 Balance de materia para una producción de 387.18 kg/mes	104
Tabla 5.7 Capacidad de los equipos principales en el proceso de transesterificación.....	104
Tabla 5.8 Características del motor	109
Tabla 5.9 Factores y niveles del diseño experimental	109
Tabla 5.10 Resumen de la factibilidad técnica del proyecto	112
Tabla 5.11 Criterios tomados para la evaluación económica del proyecto	113
Tabla 5.12 Costos fijos en el proceso de siembra hidropónica	114
Tabla 5.13 Costos variables en el proceso de siembra hidropónica	115
Tabla 5.14 Costos fijos del proceso de transesterificación de biodiésel	117
Tabla 5.15 Costos variables del procesos de transesterificación del biodiésel	117
Tabla 5.16 Parámetros para la evaluación del VPN	119
Tabla 5.17 Flujos de efectivo y flujo de caja por la implementación del proyecto.....	120
Tabla 5.18 Resumen de la factibilidad económica del proyecto	121
Tabla 5.19 Poder calorífico superior y contenido de carbono	126
Tabla 5.20 Estimación del carbono fijado en promedio del cultivo de colza, cuando la producción es de 2.2 toneladas por hectárea	126

Tabla 5.21 Formula hipotética para los metil y etil ésteres de los aceites de colza y canola.....	128
Tabla 5.22 Resultados de las pruebas de emisiones del biodiésel.....	129
Tabla 5.23 Energía utilizada por las refinerías de varias regiones de EU-proyección 1985.....	132
Tabla 6.1 Características y factores disyuntivos entre diferentes proyectos para la producción de biodiésel.....	134
Tabla 7.1 Costos fijos por la siembra hidropónica en agua.....	136
Tabla 7.2 Costos variables por la siembra hidropónica en agua.....	137
Tabla 7.3 Costos fijos por la producción de biodiésel.....	137
Tabla 7.4 Costos variables por la producción de biodiésel.....	137
Tabla 7.5 Flujos de efectivo para el proyecto alternativo.....	138
Tabla 7.6 Resumen de la factibilidad económica del proyecto alternativo.....	139

FIGURAS

Fig. 2.1 Representación molecular de los triglicéridos constituidos de cadenas de ácidos grasos saturados.....	4
Fig. 2.2 Perfil de los ácidos grasos contenidos en aceites y grasas.....	6
Fig. 2.3 Diseño del estanque para el cultivo de las algas.....	9
Fig. 2.4 Diseño pensado para utilizar el CO ₂ proveniente de las fábricas en el sistema de producción de biodiésel a partir de algas.....	11
Fig. 2.5 Características morfológicas de la <i>Jatropha Curcas</i>	12
Fig. 2.6 Relación botánica entre las especies más importantes mostradas por el triangulo de Nagaharu (1935).....	30
Fig. 2.7 Flor de la <i>Cynara Cardunculus</i>	41
Fig. 2.8. Muestra la reacción de transesterificación de un triglicérido. R1, R2 y R3 pueden ser cualquier ácido graso.....	43
Fig. 2.9 Biodiésel obtenido después del proceso de transesterificación.....	49
Fig. 2.10 Diagrama de flujo del proceso de transesterificación.....	51

Fig. 3.1 Ejemplo de la técnica de película nutriente para la siembra de lechuga	65
Fig. 3.2 Proporción de los nutrientes en una planta típica.....	70
Fig. 3.3 Bandas de absorción por pH para varios elementos.....	72
Fig.4.1 Colocación de las semillas en la caja de petrificados para su germinación	82
Fig. 4.2 Perforación de la base de los contenedores	82
Fig. 4.3 Fracción de toalla de cocina	83
Fig. 4.4 Armado del contenedor	83
Fig. 4.5 Contenedor terminado.....	83
Fig. 4.6 Llenado del contenedor con sustrato.....	83
Fig. 4.7 Preparación del sustrato	83
Fig. 4.8 Sistema listo para la siembra.....	83
Fig. 4.9 Perforación del soporte.....	84
Fig. 4.10 Plántula trasplantada	84
Fig. 4.11 Cotiledones sobre la superficie	84
Fig. 4.12 Invernadero en construcción	85
Fig. 4.13 Sistema de aireación.....	85
Fig. 4.14 Plántulas después de 15 días	85
Fig. 4.15 Plántulas listas para el trasplante.....	85
Fig. 4.16 Plántulas antes del trasplante	86
Fig. 4.17 Plántulas trasplantadas	86
Fig. 4.18 Bolsas colocadas sobre un soporte por encima del suelo.....	86
Fig. 4.19 Floración de la colza	86
Fig. 4.20 Plantas en crecimiento.....	86
Fig. 4.21 Etapa de cosecha	87

Fig. 4.22 Planta atacada por pájaros	87
Fig. 4.23 Vainas semi-maduras	87
Fig. 4.24 Sistema de cultivo por bancadas dobles. Vista lateral y acomodo de las dos filas en el experimento.....	88
Fig.4.25 Charolas especiales para la siembra en almácigo.....	90
Fig. 4.26 Red de transporte interno en Ciudad Universitaria	92
Fig. 4.27 Ruta 6 de la Red del transporte universitario en CU.....	93
Fig. 5.1 Ubicación de los edificios propuestos para el cultivo hidropónico en Ciudad Universitaria	95
Fig. 5.2 Vista aérea de la Facultad de Química: Edificios A, B, C y el Laboratorio de IQ	96
Fig. 5.3 Vista aérea del Posgrado de Ingeniería: Edificios A y B	96
Fig. 5.4 Edificio B del posgrado de ingeniería con la distribución del área propuesta para la siembra hidropónica	97
Fig. 5.5 Vista frontal del extractor.....	102
Fig. 5.6 Vista perfilada del extractor	102
Fig. 5.7 Diagrama de flujo del proceso de producción de biodiésel a partir de colza.....	103
Fig. 5.8 Reactor de tanque agitado	105
Fig. 5.9 Vista frontal de los tanques de los tanques de almacenamiento	105
Fig. 5.10 Vista posterior de los tanques de los tanques de almacenamiento	105
Fig. 5.11 Diagrama del sistema de combustión de un motor diésel.....	107
Fig. 5.12 Esquema del banco de ensayos	108
Fig. 5.13 Llenado del tanque de almacenamiento del biodiésel en el autobús.....	111
Fig. 5.14 Tendencia en aumento del precio del diésel.....	118
Fig. 5.15 Ciclo del carbono	123
Fig. 5.16 Ciclo teórico de carbono para la colza	130
Fig. 7.1 Tótems de plástico donde se almacena el biodiésel	135
Fig. 7.2 Ejemplo de un sistema de raíz flotante.....	139

NOMENCLATURA

ACV	Análisis de Ciclo de Vida	pH	Potencial de hidrógeno
C	Carbono	PP	Polipropileno
CX:Y:		P	Fósforo
Ca	Calcio	PPN	Producción Primaria Neta
CO	Monóxido de carbono	Ps	Poliésterol
CO ₂	Dióxido de carbono	Pu	Poliuretano
CU	Ciudad Universitaria	PVC	Policloruro de vinilo
cSt	Centi Stokes	REE	Rapeseed etil éster (etil éster de colza)
DFP	Diagrama de flujo del proceso	RME	Rapeseed metil éster (metil éster de colza)
D1 Oils plc	Compañía británica	SNR	Solución nutritiva recirculante
EU	Estados Unidos	USDOE	United States Department of Energy
FQ	Facultad de Química	X	Número de carbonos
ha	Hectárea	Y	Número de dobles enlaces en la cadena
INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias			
kg	Kilogramo		
K	Potasio		
L	Litro		
meq	Miliequivalentes		
m	Metro		
Mg	Magnesio		
mS	Milisiemens		
N	Nitrógeno		
NFT	Técnica de película nutriente		
NGS	Sistema de nuevo crecimiento		
NO _x	Óxidos de nitrógeno		
Np	Unidad de medición de la velocidad de un impulsor		
PCs	Poder calorífico superior		
PE	Polietileno		
ppm	partes por millón		

RESUMEN

El presente trabajo comprende un estudio técnico, económico y ambiental por la implementación del cultivo hidropónico del cultivo oleaginoso conocido como colza, sobre los techos de CU. Que en un primer alcance contempla los edificios A, B y C de la Facultad de Química y los edificios A y B del posgrado de Ingeniería. Con el propósito de fomentar el uso del biodiésel en los pumabuses del circuito universitario de la ruta 6.

De la suma del espacio disponible en los cinco edificios propuestos se obtiene un área estimada de 0.34 ha con las cuales se producirán 4,536 L de biodiésel anualmente, esta producción abastece la demanda de dos pumabuses en una mezcla B5. Dichas hectáreas se acondicionarán de tal forma que solo uno de los edificios sea el principal y el único donde se lleve a cabo el germinado de las semillas, por lo cual solo en ese edificio se colocará un invernadero, el almacén general y el almacén de semillas, además de la malla anti pájaros que será colocada solo en el área de trasplante. De igual manera los edificios restantes serán acondicionados para funcionar como áreas de trasplante.

El procesamiento de las semillas para la producción del biodiésel se realizará, utilizando un extractor sólido-líquido, un reactor de tanque agitado y dos tanques de almacenamiento que se encuentran en el laboratorio de Ingeniería química de la Facultad de Química, equipos que no tienen ningún fin en la actualidad y que son útiles para la producción de biodiésel. El uso del biodiésel mezclado al 5 % no requiere de cambios en las partes del motor, estos se tomarán en cuenta cuando la proporción del biocombustible sea mayor al 15 % en la mezcla, en cuyos casos se recomienda cambiar las partes del motor en caucho por materiales de elastómeros especiales como el vitón.

Como indicadores de la factibilidad económica del proyecto se calculan el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Tomando como horizonte del proyecto 20 años, con una tasa de descuento del 12 %. Dentro del análisis financiero para que un inversionista se interese en el proyecto el VPN debe mostrarse mayor a cero, así como la TIR se prefiere un poco mayor a la tasa de descuento. Para este proyecto el valor de -77 millones del VPN indica que no es factible la inversión y aún más el no encontrarse un valor de la TIR al ser extremadamente alto solo indica la necesidad de disminuir los costos de inversión. Con éste fin, se propone la incorporación de un método de siembra alternativo donde solo se utilice solución nutritiva como sustrato. Este plan hace que los indicadores financieros cambien a $VPN = 275,707$ y $TIR = 15.2\%$, respectivamente. Lo cual finalmente hace del proyecto una inversión interesante.

En la factibilidad ambiental, se expone un análisis del ciclo de vida de la colza que han realizado una serie de científicos británicos y estadounidenses. En el cual se analiza el ciclo de vida del biodiésel a partir de colza. Así, se concluye que la reducción por el cambio es de 3.11 kg de CO_2 por cada kilogramo de diésel remplazado por biodiésel, por lo que aplicado al proyecto se vería una reducción de aproximadamente 7,225 kg de CO_2 anualmente con tan solo el remplazo del 5 % de combustible por pumabús.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

A través de los años, la energía se ha situado en el primer lugar de todas las necesidades que a la humanidad le atañen, esto se puede comprobar volteando hacia cualquier parte, pues todas las cosas que hoy tenemos, sin dudarlos han pasado por algún proceso que implica el uso de energía, pero ¿de dónde tanta energía? Con la aparición de los recursos energéticos fósiles, se pensó que la búsqueda de tanto tiempo había terminado, pues su contenido energético, con respecto a los recursos anteriormente utilizados, es mucho mayor. Estos recursos se creían inagotables, más ahora se sabe que no es así, y su derroche ha sido lamentable y no solo en el aspecto de agotamiento.

Uno de los gases con efecto invernadero, protagonista del cambio climático, es el dióxido de carbono. Este compuesto conformado por carbono y oxígeno, millones de años atrás tuvo su origen en la atmósfera terrestre, que con los años, a través de los procesos fotosintéticos en los seres vivos, se convirtió en carbono y así éste último se resguardó en los cuerpos fósiles ancestrales, los cuales a través de la interacción con los microorganismos y componentes del suelo fueron convirtiéndose en lo que hoy conocemos como petróleo.

Hoy en día de acuerdo al desarrollo científico se ha propuesto la meta de, si no revertir éstos daños, por lo menos frenarlos. Mundialmente el primer plan que se ha planteado es el Protocolo de Kyoto, con el cual se espera una buena disminución de emisiones de los gases con efecto invernadero, a partir del compromiso firmado por varios países. En los últimos años se han puesto a prueba otros recursos energéticos llamados renovables tales como la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biocombustibles, entre otros. Que nos permitan seguir avanzando, disfrutando de las comodidades que trae la energía, sin seguir mal gastando nuestros recursos no renovables, sin causar más daños a la naturaleza y sobre todo sin causarnos daños a nosotros mismos.

Con respecto a los llamados biocombustibles, se han suscitado ciertos desbalances a nivel mundial por la incorporación de los cultivos energéticos en las áreas agrícolas. Se habla de controversias a nivel mundial por la existencia de una competencia entre la siembra de cultivos alimenticios y energéticos, dejando en claro que estos últimos cultivos están poniendo en riesgo la seguridad alimenticia.

Uno de los biocombustibles más conocidos e incorporados en el ámbito del transporte, es el biodiésel, el cual puede ser obtenido a partir de grasas o aceites, ya sean animales o vegetales. Cuando hablamos de su obtención a partir de los aceites vegetales, también hablamos de la seguridad alimenticia, de un proceso tanto para la obtención de la materia prima como del producto a utilizar y además de los beneficios (ambientales, sociales y económicos) que trae consigo la implementación del uso de un biocombustible de dicha índole.

En Ciudad Universitaria se cuenta con un sistema de transporte interno llamado pumabús, el cual trabaja por medio de combustible diésel (combustible fósil obtenido del procesamiento del petróleo), el cual se pretende remplazar por biodiésel, o por lo menos mezclar. Ahora bien, la Ciudad Universitaria también cuenta con una amplia infraestructura en edificios, los cuales cuentan con azoteas que simplemente funcionan como techos. En la facultad de Ciencias de la UNAM llevan a cabo la siembra de cultivos alimenticios por el método de siembra conocido como hidroponía, sobre el techo de la cafetería, con lo cual se abastece ésta última además de que se enseña a la población estudiantil los múltiples beneficios que pueden obtenerse a partir de ese tipo de siembra.

Los cultivos hidropónicos se caracterizan porque pueden ser sembrados en sustratos distintos a la tierra, y por que los nutrientes, que los cultivos agrícolas obtienen de ésta última, se les proporcionan a partir de una solución nutritiva que se fábrica a partir de la disolución en agua, de ciertos compuestos que contienen en su estructura a los nutrientes que el cultivo requiere. La generación de una solución nutritiva con lleva la ventaja de abastecer al cultivo con la cantidad necesaria de nutrientes sin necesidad de desperdiciar.

En éste estudio se llevará a cabo el desarrollo del plan de trabajo para la producción hidropónica del cultivo conocido como colza, de éste ultimo se pretenden obtener las semillas que serán la materia prima para la obtención del biodiésel. En la parte del procesamiento se pretende implementar una planta piloto de biodiésel que pueda ser ubicada en el Laboratorio de Ingeniería Química, en la Facultad de Química; con el propósito además de fortalecer la enseñanza para los alumnos que hacen uso de dicho laboratorio.

1.2 OBJETIVOS

- Estudiar la factibilidad del uso de la hidroponía en el cultivo de colza en un edificio, para la producción de biodiésel, y la utilización de éste último en el transporte de ciudad universitaria.
- Proponer el uso de los techos de Ciudad Universitaria para la siembra hidropónica, con el fin de hacer frente al cambio climático global en el área urbana.
- Conocer acerca del biodiésel como alternativa energética renovable y además sustentable.

CAPÍTULO II: BIODIÉSEL

2.1 BIODIÉSEL

Los biocombustibles son combustibles orgánicos primarios y/o secundarios derivados de la biomasa. Estos pueden ser sólidos, gaseosos o líquidos (FAO, 2001).

La ASTM lo define como “ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y que se emplean en los motores de ignición de compresión (motores diésel) o en calderas de calefacción”. Es un combustible obtenido de fuentes renovables, de propiedades similares a las del diésel obtenido de la refinación del petróleo. Está compuesto principalmente de ésteres de metilo y ácidos grasos (González, 2008).

Actualmente es producido y utilizado en toda Europa y ha ido ganando popularidad mundial como energía renovable debido a sus muchas ventajas, pues con el consumo de biodiésel se reduce el nivel de emisiones de CO₂, de sulfuros, el humo visible y los gases nocivos. Además funciona normalmente en motores diésel sin modificar que pueden operar con biodiésel puro o mezclado con el petrodiésel (diésel de petróleo), consiguiendo así reducciones substanciales en las emisiones. Como su punto de inflamación es superior al del diésel de petróleo, su manipulación y el almacenamiento son más seguros. La Tabla 2.1 contiene algunas de las propiedades más importantes que estandarizan la calidad del biodiésel para que pueda ser utilizado en un motor diésel convencional.

Uno de los principales beneficios del biodiésel es su bajo contenido de azufre y que, debido a la presencia de oxígeno en su composición química, su combustión es más completa, reduciendo la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, entre otros contaminantes (Larosa, 2003; Ballesteros, 2003).

Por otro lado, durante su proceso de producción se produce un subproducto altamente valorado, como es el caso de la glicerina, la cual luego de su purificación puede ser utilizada, en múltiples usos, en la industria farmacéutica y cosmética, donde cuenta con una gran demanda (Castro y col., 2006).

En Europa se emplea principalmente aceite de colza, mientras que en Estados Unidos se emplea principalmente aceite de soya. No obstante el biodiésel puede elaborarse a partir de una amplia variedad de materia prima y son más de 350 especies de plantas oleaginosas y miles de subespecies. Estas incluyen aceite de maíz, semilla de algodón, aceite de ricino, aceite de palma, aceite de coco, jojoba, girasol, entre otras fuentes que son factibles para la producción de biodiésel, como el aceite usado para cocinar (puede ser el sobrante de los restaurantes) y grasas animales (Díaz, 2006).

2.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BIODIÉSEL

Los componentes básicos de los aceites y grasas son los triglicéridos, los cuales provienen tanto de ácidos grasos saturados como insaturados. Dependiendo de las características y del origen (animal, vegetal y los tipos de estos últimos) de los triglicéridos se obtendrá un biodiésel con unas cualidades u otras (Figura 2.1).

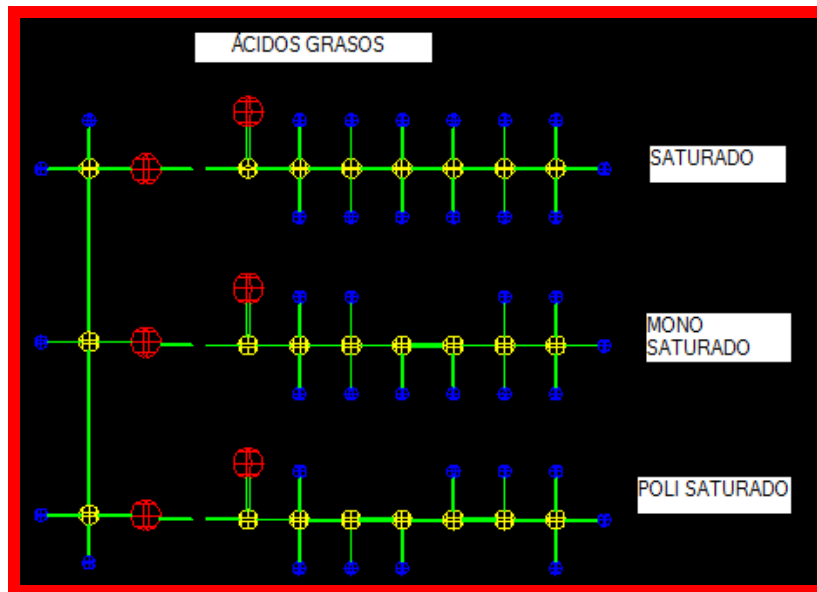


Fig. 2.1 Representación molecular de los triglicéridos constituidos de cadenas de ácidos grasos saturados (SENER, 2006).

Las principales propiedades del biodiésel, que son determinadas por la estructura de sus ésteres grasos, incluyen el enfriamiento del fluido, número de cetano, estabilidad a la oxidación, índice de yodo y la viscosidad (Tabla 2.1). Algunos de los principales parámetros, de acuerdo al tema de calidad, son las propiedades de enfriamiento del fluido. Para la medición de las propiedades de enfriamiento del fluido en el caso del diésel se utilizan: Punto de nube (CP, Cloud Point), punto de taponamiento de filtros (CFPP, Cold Filter Plugging Point) y Punto de derramamiento (PP, Pour Point).

Una de las propiedades químicas que se relaciona directamente con la composición de ácidos grasos de la materia prima es el número de cetano, el cual sirve como indicador de la calidad de ignición. Un alto número de cetano contribuye a una mejor ignición aún a bajas temperaturas y a una baja emisión de ruido. También está relacionado con la reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x). En general, el número de cetano (de grasas o aceites) disminuye con el incremento de la saturación de la cadena y aumenta proporcionalmente con la longitud de la misma (EnAu, 2003).

La estabilidad ante la oxidación es influenciada por parámetros tales como la presencia de aire, calor o luz, la influencia de los componentes estructurales de los ésteres grasos es aún mayor. Esta estabilidad depende del grado de saturación de la materia prima utilizada. El índice de yodo

es un indicador de la saturación del combustible, lo cual ha sido vinculado con la formación de depósitos en el motor y problemas en el almacenamiento del combustible. Un biodiésel con alto índice de iodo tiende a polimerizarse y formar depósitos sobre la boquilla del inyector, ranura de los anillos del pistón. Se ha encontrado que el índice de iodo se correlaciona con la viscosidad y el número de cetano, los cuales decrecen con el incremento en el número de saturación (Zhang, 2003).

Tabla 2.1 Parámetros generales de calidad para el biodiésel (Meher y col., 2006)

Parámetros	Unidades	Austria	República Checa	Francia	Alemania	Italia	EEUUA
Densidad (15°C)	g/cm ³	0.85-0.89	0.87-0.89	0.87-0.89	0.875-0.890	0.86-0.90	0.86-0.90
Viscosidad (40°C)	cSt	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	1.9-6.0
Punto de inflamación	°C	100	110	100	110	100	130
CFPP*	°C	0-5	0-5	-	0-10/-20	-	-
No. Cetano	-	≥49	≥48	≥49	≥49	-	≥47
No. Neutralización	mg KOH/g	≤0.8	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.8
Residuo carbónico	%	0.05	0.05	-	0.05	-	0.05

*CFPP (Cold filter plugging point): Punto de taponamiento de filtros

La viscosidad se correlaciona con el índice de iodo. Una de las principales razones por lo que se tenga que procesar el aceite o grasa antes de ser utilizada como combustible en motores diésel, es reducir la viscosidad, por medio de ello se mejora la fluidez del biodiésel. Además la viscosidad es un indicador de la polimerización del combustible, y aumenta en función de la degradación térmica u oxidante (SENER, 2006).

En resumen, las propiedades del biodiésel son fuertemente influenciadas por las propiedades de la materia prima que se elija. En general, el número de cetano, punto de fusión y la viscosidad de los ésteres grasos incrementan proporcionalmente con la longitud de la cadena de los ácidos grasos que constituyen los triglicéridos. Aun más, la materia prima ideal con respecto a sus características de combustión, estabilidad a la oxidación y el comportamiento del fluido en frío consiste solo de cada uno de los ácidos grasos monosaturados. En la Figura 2.2 se compara la composición en ácidos grasos para diferentes materias primas en la producción de biodiésel.

Hay que tener en cuenta que el biodiésel se puede usar puro o mezclado con el diésel. Esto hace que las propiedades cambien conforme se vayan igualando o diferenciando en función del porcentaje utilizado. Cuando se usa puro se denomina B100 y cuando participa en una mezcla, por ejemplo, 20/80 (biodiésel/diésel) se denomina B20. Pero esto no significa que no se puedan usar en otras proporciones. De hecho en Francia y en otros países usan el B2, B5, etc.

La densidad promedio del B100 es de 0.880 g/cm³ y un galón de B100 equivale a 91.34% del valor correspondiente al diésel, así se puede observar la relación entre la densidad del combustible resultante y su poder calorífico con respecto a la variación de la proporción biodiésel-petrodiésel (Ryan y col., 1984). En la Tabla 2.2 se muestra la variación en el poder

calorífico del combustible cuando se trata de la mezcla biodiésel-diésel comparado con el poder calorífico que se obtiene con el uso del diésel al 100 %.

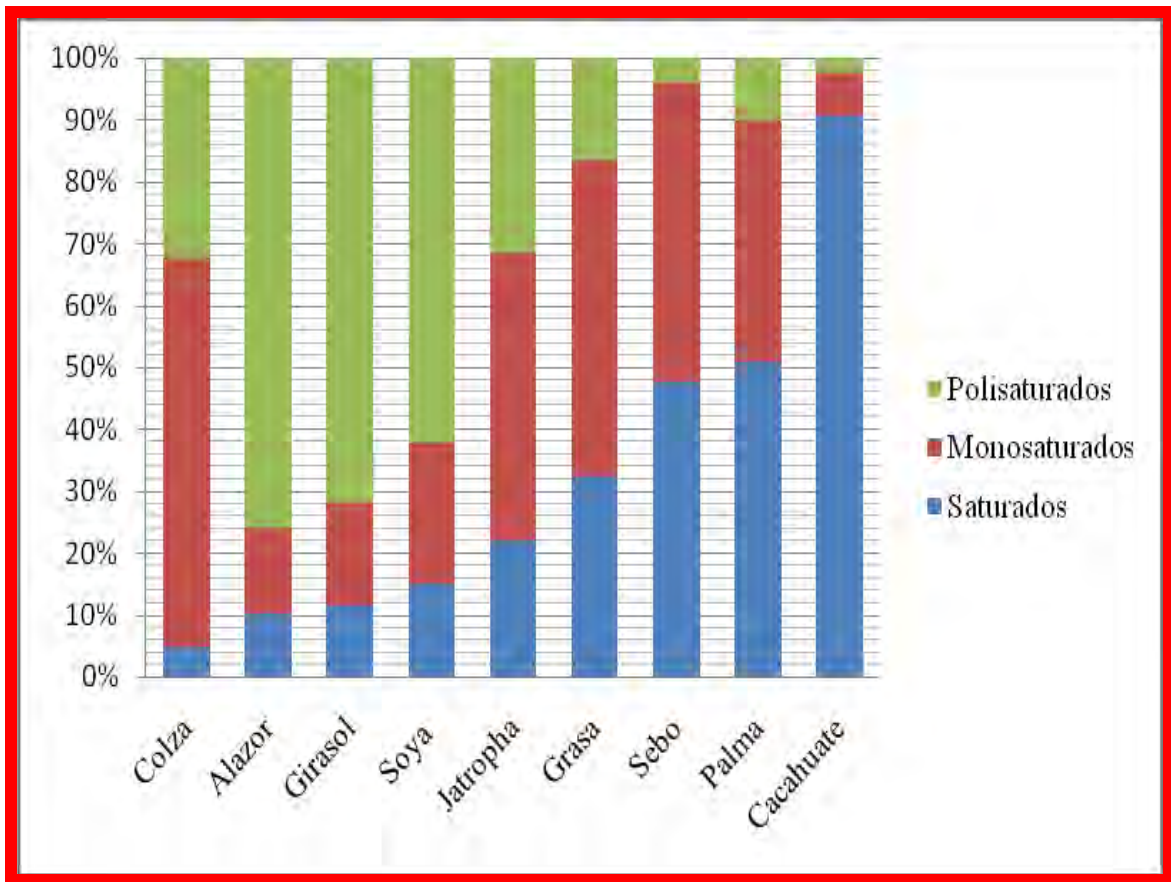


Fig. 2.2 Perfil de los ácidos grasos contenidos en aceites y grasas (Tyson y McCormick, 2006)

Kinast (2003) llevó a cabo una serie de pruebas de laboratorio con diferentes materias primas (grasas animales, aceites vegetales) utilizadas para la producción de biodiésel, así como con petrodiesel y sus mezclas. Con el objetivo de determinar si la variación del biodiésel en la mezcla tiene efectos significativos sobre las propiedades del combustible que se obtiene. Estas pruebas mostraron que la mezcla B20 cumple con mayor satisfacción con las normas ASTM para el biodiésel obtenido utilizando aceites vegetales, grasa, manteca y sebo como materia prima (Kinast, 2003).

Tabla 2.2 Variación del poder calorífico y de densidad de algunas mezclas de biodiésel con respecto al petrodiesel (Ryan y col., 1984).

Combustible	Densidad (g/cm ³)	Btu/galón (promedio)	Diferencia con respecto al petrodiesel
Petrodiésel	0.850	129,500	--
B100	0.880	118,296	8.65%
B20	0.856	127,259	1.73%
B2	0.851	129,276	0.17%

2.3. PROCESO PARA LA GENERACIÓN DE BIODIÉSEL

2.3.1 Materia prima con potencial para la producción de biodiésel

2.3.1.1 Grasas y aceites animales

Las grasas animales como el sebo de vaca, la grasa porcina y la grasa de pollo, son recursos que pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de biodiésel. Esta alternativa es cada vez más viable debido al bajo costo de este tipo de grasas (en comparación con las grasas vegetales) las cuales eran utilizadas solo para la producción de alimentos animales, por lo cual muchas empresas comienzan a buscar alianzas, para la producción a gran escala de biodiésel de origen animal. Algunos estudios han demostrado que el biodiésel obtenido a partir de este tipo de grasas es de consistencia más sólida que el producido a partir del aceite vegetal, por lo que de ser utilizado, necesitaría un sistema de calentamiento que lo mantenga líquido. En la Tabla 2.3 se enlistan los costos de los requerimientos básicos cuando se quiere utilizar como materia prima sebo de res o aceite de cocina.

A partir de los 15 °C comienza a formar sólidos que impiden su eficiente comportamiento, pero esto se soluciona agregando un 20% de diésel de origen fósil, o trabajando con sistemas de calentamiento. De esta forma mejora su comportamiento en frío y puede ser utilizado a temperaturas más bajas (González, 2008).

2.3.1.2 Algas marinas

Organismos fotosintéticos contenidos en las plantas, algas y algunas bacterias fotosintéticas usan la energía del Sol combinada con el agua, para obtener CO₂ y de ello la llamada biomasa. Mientras otros elementos del Programa de Biocombustibles tienen como recurso plantas terrestres para la producción de combustibles, el ASP (Aquatic Species Program) consideró organismos fotosintéticos que crecen en ambientes acuáticos, que incluyen macroalgas, microalgas y especies en vías de desarrollo. Las macroalgas mejor conocidas como algas marinas tienen un rápido crecimiento, así como las plantas de agua dulce que pueden crecer considerablemente (arriba de los 60m de longitud). Las especies en vías de desarrollo son plantas que crecen parcialmente sumergidas en pantanos y ciénagas. Y las microalgas, como su nombre lo dice, son microscópicos organismos fotosintéticos (Sheehan y col., 1998). Estas últimas están en la mira de los investigadores, pues se ha encontrado que generalmente producen en mayor cantidad los tipos de aceites naturales necesarios para la obtención de biodiésel. El tamaño limitado de la comunidad científica involucrada, también lo hace un trabajo más difícil y a veces lento, en comparación al progreso que se tiene en el estudio de otros organismos. Así entonces el estudio de las microalgas representa un área de gran riesgo y grandes ganancias.

Los tipos de microalgas son:

- Diatómicas (*Bacillariophyceae*). Estas algas dominan el *Phytoplankton* de los océanos, aunque son también encontradas en agua dulce y salubre. Aproximadamente se conocen 100 000 especies existentes. Contienen silicio polimerizado en las paredes de sus células. Todas las células guardan carbón en gran variedad de formas (como aceites naturales o como un polímero de carbohidratos conocidos como *Chyrsolaminarin*).
- Algas verdes (*Chlorophyceae*). Éstas también son muy abundantes, especialmente en agua dulce (cualquiera que tenga una pileta o piscina, está familiarizado con esta clase de algas). Estas pueden presentarse como unicelulares o en colonias. Las algas verdes son los progenitores evolucionados de las plantas modernas. El principal componente almacenado por las algas verdes es el almidón, aunque los aceites pueden ser producidos bajo condiciones seguras.
- Algas verde-azules (*Cyanophyceae*). Este tipo de alga juega un papel muy importante en la fijación del nitrógeno proveniente de la atmósfera. Hay aproximadamente 2,000 especies conocidas que se han encontrado en una gran variedad de hábitats.
- Algas doradas (*Chrysophyceae*). Este grupo de algas es similar a las diatómicas en su pigmentación y su composición bioquímica, aunque éstas tienen sistemas de pigmentación más complejos, y pueden parecer amarillas, cafés o naranjas. Se conocen aproximadamente 1,000 especies existentes, principalmente en sistemas de agua dulce. Las algas doradas producen aceites naturales y carbohidratos como componentes almacenados (Sheehan y col., 1998).

Tabla 2.3 Costos de producción de biodiésel a partir de aceite de desecho de cocina y Sebo de res (WMRC, desconocido)

Requerimientos	Unidades	Aceite de cocina	Sebo
Costo del aceite	£/t aceite	220.00	150.00
Rendimiento de la esterificación	%	87.00	80.00
Costo neto del aceite	£/t éster	252.87	187.50
Costos para bajar el contenido de glicerol	£/t éster	226.47	161.10
	\$/L éster	19.97	14.21
Costos del capital	\$/L éster	5.14	5.14
Costos de operación	\$/L éster	7.32	7.32
Costo del biodiésel	\$/L éster	32.43	26.67

Las microalgas son la forma más primitiva de las plantas. Su mecanismo de fotosíntesis es similar al de las plantas altas, aunque las microalgas son más eficientes conversores de la energía solar dada su estructura celular simple. Además sus células crecen en suspensión acuosa por lo que tienen un mayor acceso al agua, CO₂ y otros nutrientes. Por estas razones, las microalgas tienen la capacidad de producir 30 veces la cantidad de aceite producido por unidad de área de tierra de los cultivos de semillas oleaginosas. En la Fig. 2.3 se muestra el diseño del tanque de cultivo para las microalgas.

La idea de producir gas metano a partir de las algas fue propuesta a principios de los 50' (Meier, 1955). Estas tempranas investigaciones visualizaron un proceso en el cual el agua de desecho podría ser usada como un medio y recurso de nutrientes para la producción de algas. El concepto encontró una nueva vida con la crisis energética de los 70'. Esta aproximación tuvo el beneficio de satisfacer múltiples necesidades tanto energéticas como medioambientales.

Los cultivos de algas se basarían en el uso de abiertos y poco profundos estanques, en los cuales algunos recursos de CO₂ podrían ser burbujeados dentro de los estanques y capturados por las algas.

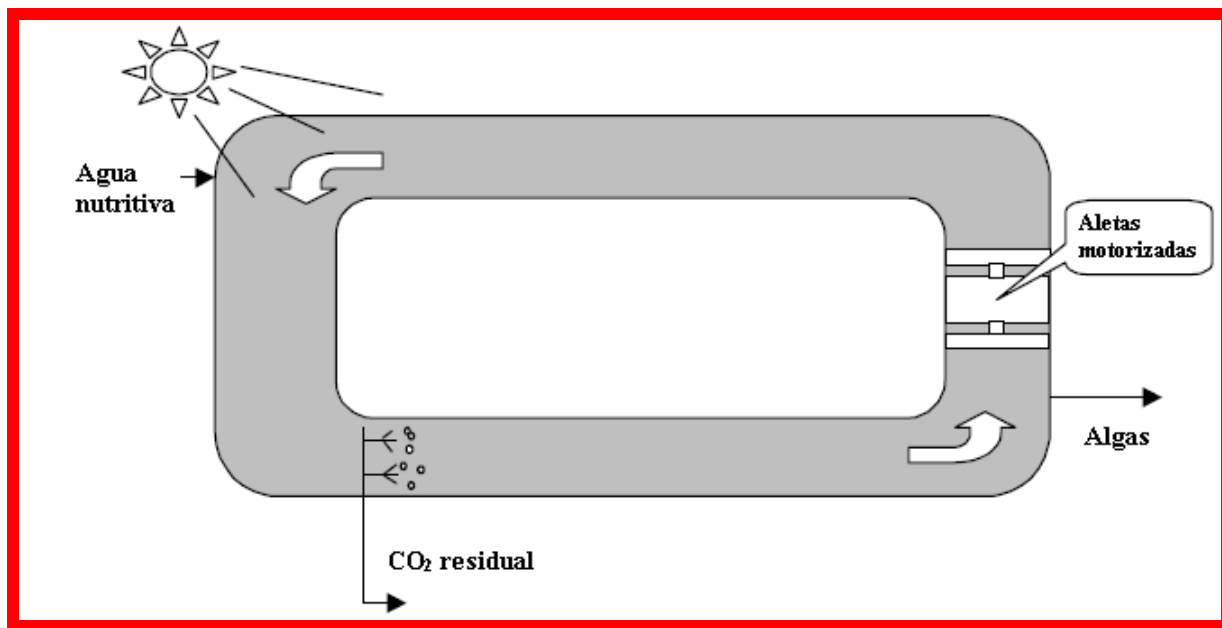


Fig. 2.3 Diseño del estanque para el cultivo de las algas (Sheehan y col., 1998).

Los estanques son diseñados como “pista de carreras”, en la cual, las algas, agua y nutrientes circulan alrededor. Una rueda hidráulica de paletas provee el flujo. De este modo las algas se mantienen suspendidas en el agua, así las algas circulan sobre la superficie con regular frecuencia. Los estanques se mantienen a poca profundidad por la necesidad de mantener las algas expuestas a la luz del Sol y el límite de profundidad a la cual la luz del Sol puede penetrar el estanque de agua. Los estanques están siendo operados continuamente, esto significa que tanto el agua como los nutrientes se alimentan continuamente al estanque, mientras el contenido de algas en el agua es removido hacia la otra salida. Algunos tipos de sistemas de cosecha son requeridos para la remoción de las algas, los cuales contienen cantidades sustanciales de aceite natural.

El tamaño de los estanques es medido en términos de área superficial crítica (por la capacidad de captura de la luz del Sol). Su productividad es medida en términos de biomasa producida por día, por unidad de área disponible. Incluso a niveles de productividad que extenderían los límites de

una extensa investigación y el desarrollo del programa. Tales sistemas requerirán grandes extensiones de tierra (Peterson, 1986).

Las plantas industriales que emiten CO₂ a partir de la combustión de carbón son un foco de atención para esta investigación, dado que el CO₂ emitido a la atmósfera serviría como materia prima en el proceso de la captación de este por las algas en el sistema de estanques tratado anteriormente. Así entonces se completaría el proceso para la producción del biocombustible, además de que se estaría ayudando a la disminución de emisiones de uno de los gases con efecto invernadero con mayor influencia afectiva (Fig. 2.4).

Por otro lado, se sabe que los japoneses han implementado nueva tecnología de mayor eficiencia, como son, fibras ópticas basadas en sistemas de reactores que podrían reducir drásticamente la cantidad de área superficial requerida para la producción de algas. El problema de éste último caso es que el costo de la producción lo hace de menor factibilidad que el sistema abierto de estanques.

Producción del combustible:

El ASP consideró tres principales opciones para la producción de combustibles:

- Producción de gas metano vía biológica o gasificación térmica
- Producción de etanol vía fermentación
- Producción de biodiésel

Una cuarta opción es la combustión directa de la biomasa de las algas para la producción de vapor o electricidad. El concepto de biomasa de algas como un combustible a partir de los humos emitidos por las plantas industriales fue evaluado bajo un programa apartado fundado por DOE.

Las especies de algas estudiadas en este programa, pueden producir arriba del 60% de su peso corporal en forma de triacylgliceroles (consisten de tres cadenas largas de ácidos grasos unidas a una columna de glicerol) (Sheehan y col., 1998).

2.3.1.3 *Jatropha*

Dentro de la gran diversidad de la flora mexicana, existen especies cuyo potencial productivo es alto y que pueden ser fuente de nutrimentos para la alimentación humana o animal. Sin embargo estos recursos están infrautilizados, como es el caso de la *Jatropha Curcas*. Arbusto o árbol de amplia distribución, resistente a sequías, heladas y plagas, que puede crecer en suelos relativamente erosionados y en terrenos agrícolas marginados, sin competir con los cultivos tradicionales (Ostoa, 1997; Makkar y col., 1997). Esta planta pertenece a la familia *Euphorbiaceae* y en algunos países asiáticos tiene múltiples usos, considerándose de importancia económica, y desde el punto de vista alimenticio se podría considerar como una fuente alternativa

de proteína y grasa ya que el contenido en la almendra de estos nutrientes reportado es de 27-32 % y 58-60 %, respectivamente (Aregheore y Bekker, 2003).

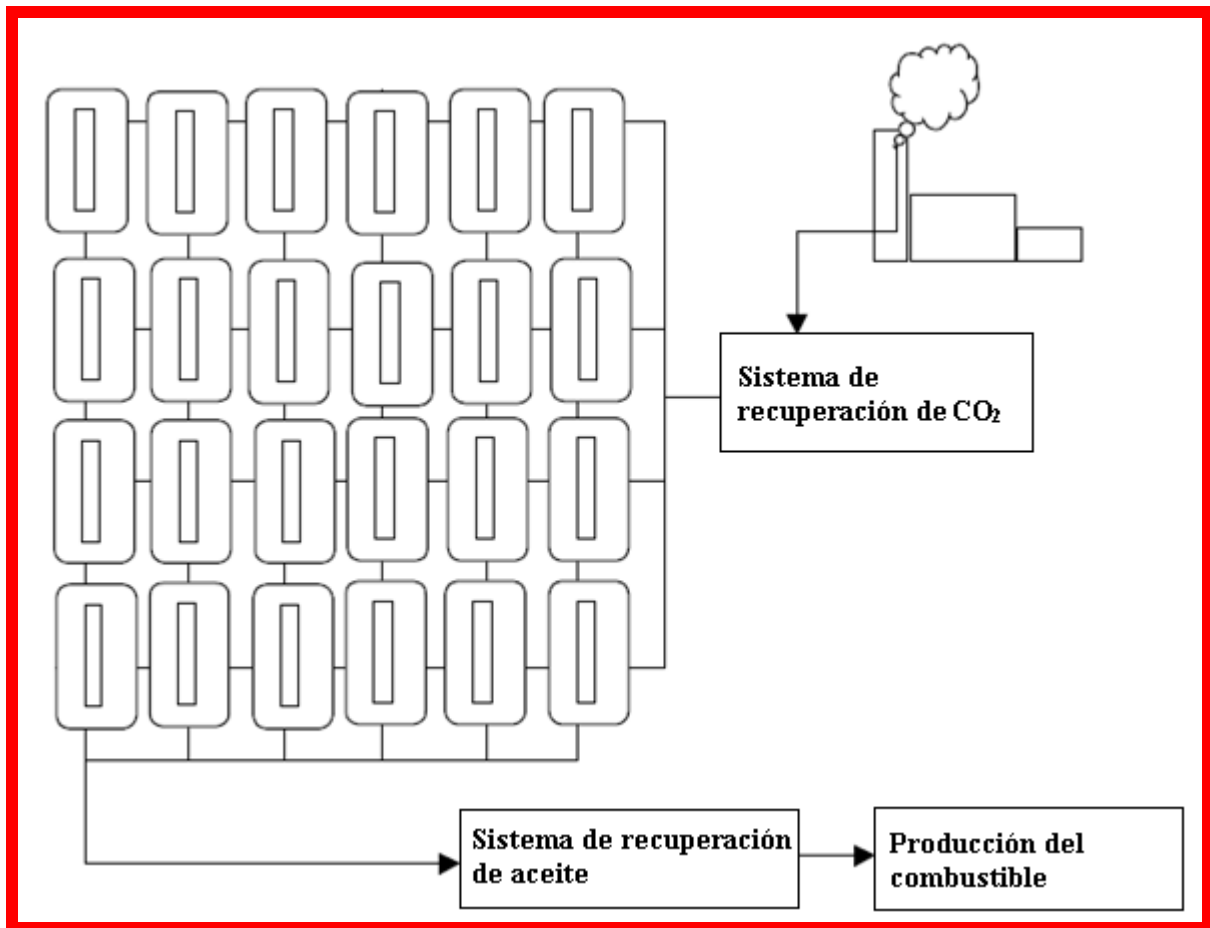


Fig. 2.4 Diseño pensado para utilizar el CO₂ proveniente de las fábricas en el sistema de producción de biodiésel a partir de algas (Sheehan y col., 1998).

Linnaeus en 1753 fue el primero en nombrar a esta planta como *Jatropha Curcas L.*, de acuerdo con la nomenclatura binomial de “*Species Plantarum*” la cual hasta la actualidad sigue usándose. El nombre del género *Jatropha* deriva del griego *iatros* (doctor) y *trophe* (comida), el cual implica usos medicinales (Heller, 1996).

La familia *Euphorbiaceae* comprende aproximadamente 8000 especies y 321 géneros. El género *Jatropha* pertenece a la tribu *Joannesieae* de *Crotonoideae* en la familia *Euphorbiaceae* y contiene aproximadamente 170 especies conocidas. En la Figura 2.5 se pueden observar algunas características morfológicas de la *Jatropha Curcas*, la cual se cree es la especie más antigua del género *Jatropha* (Heller, 1996).

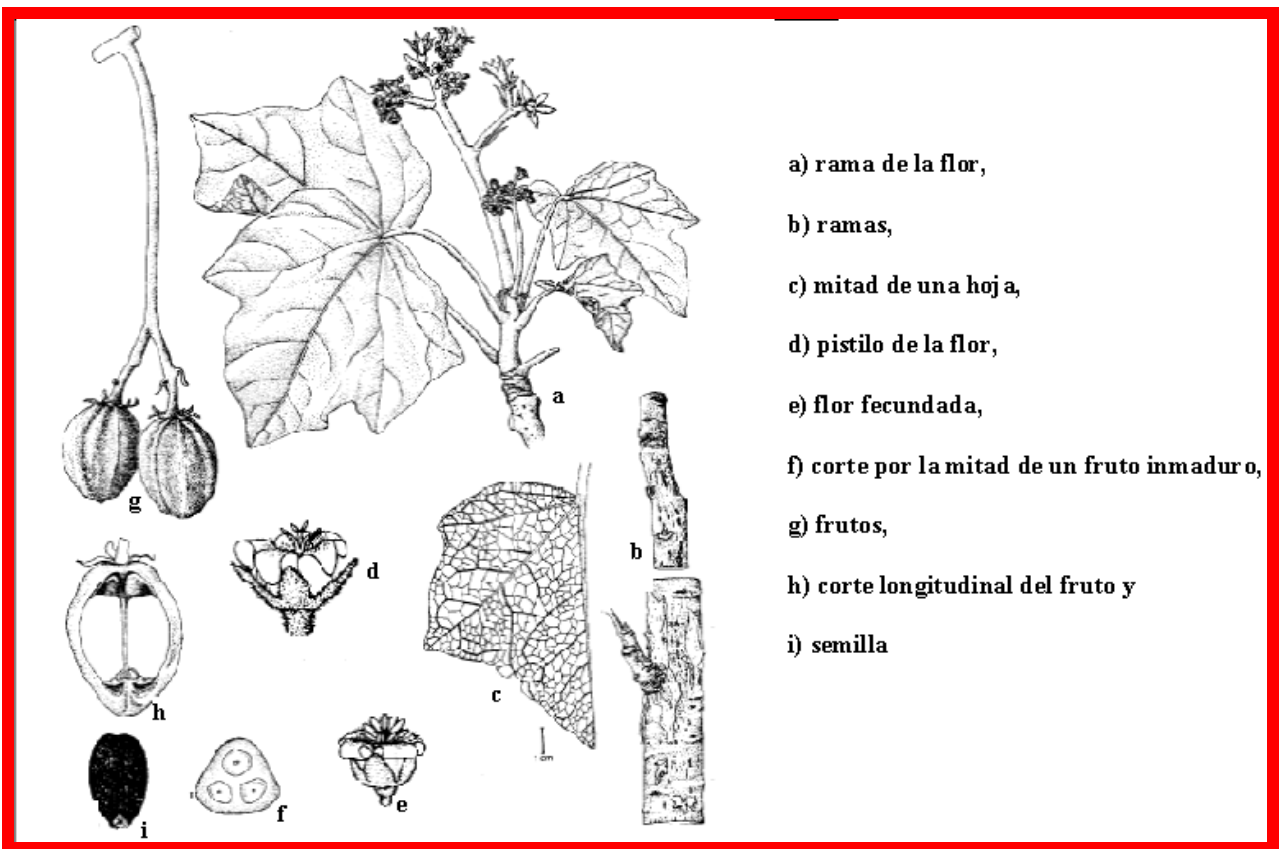


Fig. 2.5 Características morfológicas de la *Jatropha Curcas* (Heller, 1996).

2.3.1.3.1 Características de la *Jatropha Curcas*

Sus características son:

- 1) Altura: 4 a 8 metros,
- 2) Vida productiva: 45 a 50 años,
- 3) Tallos: erguido y ramas gruesas,
- 4) Madera del árbol: ligera,
- 5) Hojas verdes: 6 a 15 cm largo y ancho,
- 6) Fruto oval 30 mm (longitud aproximada),
- 7) Cada fruto contiene de 2 a 3 semillas,
- 8) Semillas de color negro: Longitud de 17 a 20 mm. Ancho 10 a 12 mm,
- 9) Semillas un kilo: 1700 aproximadamente,
- 10) Aceite de semillas: 30 a 40 %,
- 11) Las ramas contienen un látex blanquizco,
- 12) Cinco raíces en semilla germinada,
- 13) Una raíz central y cuatro pivotantes,
- 14) Se defolia (caída de hojas) en sequía e invierno su desarrollo queda latente,
- 15) No soporta bajas temperaturas (bajo cero) prolongadas y
- 16) Principales aceites: oleico y linoleico.

Se localiza en climas tropicales y semitropicales, originaria de América central y México fue trasladada a otros lugares del mundo durante épocas de la colonia y donde le fueron encontrados diversos usos (Félix, 2008).

En la India, su cultivo había estado en manos de pequeños productores y hoy en día se preparan para sembrar hasta 40 millones de hectáreas con *Jatropha*.

British Petroleum tiene un proyecto experimental para producir biodiésel a partir de una plantación de 100 mil hectáreas en Indonesia y Daimler-Chrysler experimenta con tres automóviles Mercedes movidos exclusivamente con diésel de *Jatropha*. Chrysler se encuentra en la búsqueda de una variedad de *Jatropha* que pueda soportar un poco el frío y así poder sembrar en Madagascar de 10 a 20 millones de hectáreas. Si esto se logra significa que en siete años serían capaces de producir todo el combustible que Madagascar necesita, además de remesas suficientes de carburante para ser exportadas.

En México el INIFAP desarrolla un programa de investigación para generar conocimientos y desarrollar tecnología de producción de materia prima para la elaboración de biodiésel a partir de diferentes especies y particularmente con *Jatropha Curcas*.

El primer objetivo de su trabajo fue identificar y cuantificar las áreas con características de altitud, precipitación, temperatura y pendiente adecuadas para el establecimiento de plantaciones de piñón en México. En la Tabla 2.4 se pueden observar algunas consideraciones necesarias para la plantación de *Jatropha Curcas* (Félix, 2008).

Tabla 2.4 Condiciones requeridas para la plantación de *Jatropha Curcas* (SEMARNAT, 2000)

Clima y Suelo en condiciones naturales				Crecimiento óptimo	Factores limitantes
Pluviometría	300-1800 mm	Suelos	Tolera suelos infértiles	En bajas elevaciones, por debajo de los 1000 msnm en áreas secas o húmedas, en planicies o colinas, con precipitaciones de 600a 1200 mm y con temperaturas de 18-28 °C con suelos livianos y bien drenados	Suelos pesados
Estación seca	3-6 meses				
Altitud	0-1500 msnm	Textura	Media a liviana		
Temperatura máxima media en el mes más cálido	34 °C	Drenaje	Bueno		
Temperatura media anual	18-28 °C	Pendiente	Plana a ondulada		

Los resultados de la zonificación agroecológica muestran que existen más de 6 millones de hectáreas con potencial alto y medio para el establecimiento de plantaciones de piñón, de las

cuales alrededor de 2.6 millones de hectáreas son de alto potencial, con un altitud de 0 a 1,000 msnm, temperaturas entre 18 y 28 ° C y una precipitación pluvial entre 600 y 1,200 mm anuales.

Los estados de la República Mexicana que registraron mayor superficie óptima para el cultivo de piñón fueron Sinaloa con 557,641 ha, Tamaulipas con 317,690 ha, Guerrero con 282,158 ha, Chiapas con 230,273 ha y Michoacán con una superficie de 197, 288 ha.

En los últimos años en México, se han venido realizando plantaciones piloto de varios genotipos de *Jatropha Curcas* para evaluar su capacidad de producción y encontrar las más adecuadas para cada región del país con alto potencial (Félix, 2008).

2.3.1.3.2 Estrategias para la promoción de la *Jatropha Curcas*

La *Jatropha* está creciendo ampliamente en México, Nicaragua, Tailandia y en algunas partes de la India. Ahora está comenzando a promoverse en el sur de África, Brasil, Malí y Nepal. Hay varios gobiernos, organizaciones internacionales y cuerpos nacionales promoviendo la plantación y uso de la *Jatropha Curcas* y de otros aceites de diferentes plantas. Esto incluye al Banco Mundial, al Instituto Internacional de Investigaciones sobre la Genética de las Plantas, programas de asistencia técnica austriacos y alemanes, la fundación Rockefeller, Tecnología Internacional Apropriada, el Grupo de Desarrollo de Tecnología Intermedia, la red de usuarios de la Biomasa (BUN) y la Asociación de productores de aceite de plantas de Zimbabwe (ZBN, 1996).

Los dos principales objetivos de estas iniciativas son, el uso del aceite de las plantas y sus productos para un desarrollo rural sostenible económica y ambientalmente además para desarrollar áreas rurales autosuficientes en el abastecimiento de energía, especialmente de combustibles líquidos. Donde posiblemente, ésto se está logrando sin sustituir otros cultivos agrícolas o compitiendo por la tierra que tiene una alta oportunidad en otras aplicaciones. La *Jatropha C.* fue elegida como una de las principales especies de plantas oleaginosas, especialmente por Brasil, Nepal y Zimbabwe. Las áreas en estos tres países en las que ya fueron creciendo tales especies, fueron elegidas como los sitios para la demostración de la utilización del aceite de la planta con la tecnología apropiada (Gubitz, 1997). En orden para lograr los objetivos propuestos fueron formulados varias metas. Estas metas se resumen como sigue:

- Promover el uso del aceite extraído de las plantas como combustible en motores móviles o estacionarios para el bombeo de agua (irrigación), molienda de grano, transporte y generación de energía.
- Fomentar el uso del aceite extraído como una opción energética renovable rentable, para cocinar, alumbrar y calentar.
- Reducción de la pobreza, especialmente dirigido a las mujeres por la simulación de las actividades económicas en áreas rurales usando los productos de tales plantas para la manufactura de jabones, medicinas, lubricantes, químicos, fertilizantes e insecticidas.

- Mejorar el ambiente a partir de la regeneración de la tierra, control de la erosión, realzando la fertilidad del suelo, un mejor microclima y mitigación de los gases que promueven el efecto invernadero.

La implementación exitosa de estas metas podría conducir a:

- ✓ Mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en áreas rurales
- ✓ Una reducción en el consumo de leña como combustible y con ello la reducción de los residuos en las áreas rurales
- ✓ Un incremento en el producto interno bruto doméstico
- ✓ Reducción en los gastos de importación de combustibles para el consumo rural
- ✓ Decremento en el ritmo de deforestación
- ✓ Un uso más productivo de la tierra
- ✓ Mayores opciones para la disminución de las emisiones de dióxido de carbono
- ✓ El establecimiento de cadenas de tecnologías descentralizadas basadas en el uso del aceite de las plantas
- ✓ La promoción del desarrollo de nuevas tecnologías

Mientras los objetivos generales sean plausibles y sean la intención de la mayoría de los gobiernos y agencias donadoras, las metas para conseguir estos objetivos pueden ser contradictorias. Varias agencias están promoviendo el aceite de *Jatropha* como un recurso energético con la disminución de otros usos y otros productos de las plantas, sin un análisis económico completo del crecimiento y producción del aceite, la técnica apropiada y los costos de los combustibles sustitutos. Usando el aceite para la obtención de energía potencial o para cocinar puede llevar a ser competitivos a los agricultores y productores favoreciendo al fin su uso y fortaleciendo la rentabilidad del mercado para el aceite y/o otros productos. Así, promoviendo el aceite para estos usos se puede disuadir una economía en crecimiento, entorpeciendo la mejora de la calidad de vida y retrasando el alivio de la pobreza (Heller, 1996).

El aceite extraído a partir de la *Jatropha* es un producto de importancia desde la planta, pero es solo uno de un gran número de productos. También mucho énfasis parece haber sido puesto en el uso de este aceite para la obtención de potencia. Existen aún muchos problemas con el uso del aceite de *Jatropha* en los motores diésel (mantenimiento del motor, por ejemplo) y es muy dudoso que el aceite vegetal pueda competir con el combustible diésel convencional en su precio actual, incluso si se les agregara un impuesto por el carbón a los combustibles fósiles. Así entonces, actualmente hay técnicas contrastantes y factores económicos en contra del uso de la *Jatropha* y del aceite extraído de otras plantas para la obtención en potencia. Esto podría ser completamente considerado y comparado con los usos alternativos del aceite de preferencia, que perseguir cuál puede ser una sub-óptima solución (Henning, 1996; GTZ, 1995a y 1995b).

Pronto o más tarde, dado que las reservas del aceite obtenido de los combustibles fósiles está disminuyendo y a que tal vez, con ello se agreguen impuestos a los combustibles fósiles en todo el mundo, los combustibles líquidos basados en carbón obtenidos a partir de la biomasa

comenzarán a ser universalmente competitivos. Mientras tanto, los países tienen que ganar experiencia en el crecimiento y uso de plantas versátiles tales como la *Jatropha* así que ellos estarán en una posición capitalista sobre este conocimiento cuando el aceite comience a ser competitivo con el diésel. Esto se puede lograr buscando otros usos para la planta de *Jatropha* y sus productos (Jones y Miller, 1992; NPO y EDG, 1993).

Otra de las metas citadas arriba las cuales podrían ser reexaminadas es el uso del aceite de las plantas para la cocina en el hogar en áreas rurales como sustituto de la leña. El costo de la producción del aceite es usualmente mucho más que el costo del keroseno (o de la leña). Sin embargo, las personas de las áreas rurales usan el keroseno moderadamente para el alumbrado pero raramente para cocinar. Aún así, si el aceite puede producirse a un precio comparable al del keroseno las personas que habitan en áreas rurales se muestran más reticentes a pagar por combustible para cocinar ya sea aceite vegetal, leña o keroseno. Si la leña escasea, estas personas quemar los residuos de sus cultivos y el estiércol (Openshaw, 1997).

Una de las metas propuestas en el párrafo anterior es el uso del aceite de *Jatropha* para la cocina en las áreas rurales, con la intención de detener la deforestación. Sin embargo el uso de la leña para cocinar es solo una pequeña causa entre miles de la deforestación, aunque llega a producir cierta degradación a la tierra. Lejos de ser la más grande causa de la deforestación está claro que la tierra para la agricultura está en declive por el incremento de la población. La *Jatropha* podría jugar un papel importante en la reconstrucción de la tierra, control de la erosión, protección y mejora del microclima.

La *Jatropha* puede ser utilizada en la reconstrucción de suelos erosionados y otros problemas del lugar. El arbusto de *Jatropha* puede ayudar a otros cultivos sobre todo los que necesitan resguardo contra animales, mejorando el microclima y proporcionando protección a la tierra. Podría de igual forma ser promovido como un cultivo viable sobre áreas de medio y alto potencial. Así, tales plantas podrían ser consideradas como un complemento a la agricultura de los cultivos y no como una competencia con estos. Varios cultivos comerciales pueden prestarse ellos mismos como competencia a la *Jatropha*, esto incluye el café, el mercado de la jardinería, ranchería, siembra de tabaco, etc. Tales valiosos cultivos, entonces, pueden estar creciendo sin que los animales se metan a causar desastres mientras que al mismo tiempo se pueden abrir buenos mercados a partir de los mismos arbustos.

También la *Jatropha* puede ser utilizada como sustituto de las mallas de protección y de los postes alrededor del campo y aún mejor a lo largo del borde de la carretera y vías del tren. En Malí, la principal razón para sembrar la *Jatropha* es para utilizar los arbustos como barrera. Una comparación entre los dos tipos de barreras es que la de *Jatropha* es menos costosa y dura más tiempo. Experiencias actuales deberían ser documentadas y las áreas potenciales enlistadas de acuerdo a su precipitación pluvial requerida, tipo de suelo y uso actual. La *Jatropha* no debería ser limitada a áreas con problemáticas, pero si ser usada sobre todas las áreas donde pueda ser un complemento para otros sistemas de cultivo o donde tenga ventajas significativas.

La planta de *Jatropha* es poco susceptible a plagas de insectos y hongos, y no es un receptor de muchas enfermedades que puedan afectar los cultivos agrícolas. Se reportó que en algunas áreas de Zimbabwe, el escarabajo dorado puede atacar a la *Jatropha* siendo usada como cerca en áreas de siembra de tabaco (Chimombe, 1998).

Usando la torta de semillas como fertilizante está siendo promovida como una actividad generadora de ingresos para los procesadores de aceite. Los productos a partir de la fruta (la cáscara y la torta de semillas procesada) son ricos en nitrógeno, fósforo y potasio y/o pueden ser usados como nutrientes para mejorar la calidad de suelos. Así, la torta de semillas cuando se adiciona al suelo puede incrementar su productividad agrícola. Sin embargo, la *Jatropha* no funciona como un fijador de nitrógeno y no mantiene su productividad, para ello, otros fertilizantes tendrán que ser añadidos al suelo. Se recomienda que la torta de semillas sea devuelta al suelo donde está sembrada la *Jatropha* para mantenerla fertilizada (Singh y col., 1996). Así, el agricultor puede tener su compra de regreso pero ahora en torta o si no puede comprar otros fertilizantes. Un uso más rentable para la torta podría ser como comida para animales, si no es tóxica, aunque si lo es se puede desintoxicar a bajo costo.

En resumen, cuando se promueven tales plantas como la *Jatropha Curcas*, los costos y beneficios de las varias alternativas deberían ser enlistados sin prejuicios. Las prácticas administrativas, especificando diferentes opciones deberían ser tabuladas, e investigados todos los mercados actuales y potenciales, junto con la información sobre los ingresos y gastos. Esto debería permitir a los gobiernos, donadores, etc., potenciar a los agricultores a tomar decisiones informadas. En el pasado, el fortalecimiento sobre el aceite de la planta se había encontrado como inapropiado. Sigue habiendo ideas equivocadas y huecos en los conocimientos acerca de los aspectos económicos, administrativos y de mercado para la *Jatropha* y sus productos (Openshaw, 2000).

2.3.1.3.3 Manejo de la *Jatropha Curcas*

Información parcial está disponible acerca de la silvicultura y administración de la *Jatropha Curcas*. Se sabe que la *Jatropha Curcas* se puede establecer a partir de sus semillas, plántulas y esquejes. A partir de las semillas crece una raíz principal y cuatro raíces laterales, mientras que, se ha reportado que a partir de esquejes no crece la raíz principal (Heller, 1996). La mejor época para la plantación es la de calor y antes o comenzando la época de lluvias. En el primer caso es requerido el riego de las plantas.

El espacio recomendado para los arbustos o la conservación del suelo es de 15 a 25 cm (dentro y entre hileras) en una o dos hileras y 2-3 m por 1.5-3 m para plantaciones. Así serán entre 4,000 y 6,700 plantas por kilómetro para un único arbusto y el doble de ello cuando dos hileras son plantadas. El número de árboles por hectárea plantados puede oscilar entre los 1,100 a 3,300. Están reportados espacios amplios para obtener un largo rendimiento de los frutos, menor en años recientes (Heller, 1996). Se requiere de información adicional sobre las prácticas de plantación, administración y del espacio empleado, pero ha sido producido un folleto sobre las prácticas administrativas en los estados de la India: Gujarat, Maharashtra y Rajasthan (Singh y col., 1996).

El crecimiento de las plantas depende de la fertilidad del suelo y de la precipitación, especialmente de esto último. La producción de las flores y las semillas es la respuesta a las precipitaciones pluviales y nutrientes. Un nivel pobre de nutrientes conducirá al incremento del fracaso en el crecimiento de la semilla (Gubitz, 1997). Así entonces, es importante mantener el suelo fértil. Esto es contrario a las declaraciones hechas en algunas publicaciones (Mauwa, 1995). Con una época de lluvias por año se tendrá una fructificación anual; mientras por cultivo de riego se pueden obtener arriba de tres fructificaciones por año. El rango de producción de semilla va a partir de 0.4 a arriba de las 12 ton/ha/año, después de 5 años de crecimiento (Jones y Miller, 1992). Este rango de crecimiento debe estar a partir de la baja y hasta la alta precipitación. En Malí donde la *Jatropha* es sembrada por arbusto, la productividad reportada es a partir de 0.8 a 1.0 kg de semilla por metro de valla viva (Henning, 1996) esto es equivalente entre 2.5 a 3.5 ton/ha*año. Se asume este rendimiento en toneladas de aire seco por hectárea con un promedio total de humedad en la semilla de cerca del 10% (base húmeda). Debería haber un estudio sistemático hecho sobre los rendimientos de la fruta de la *Jatropha* y sus componentes, especialmente la nuez y la leña por precipitación anual. El número de estaciones de lluvia por año y el nivel de nutrientes en el suelo, son dos variables posibles. Es necesario ordenar tal información, para dar a los agricultores y a los usuarios de los productos una idea de los rendimientos esperados y los retornos de inversión.

Cuando el nivel de nutrientes proporcionados es suficiente, el crecimiento de la planta es una función de la cantidad de agua disponible, especialmente en los trópicos. La producción primaria neta (PPN), la cual corresponde a todos los tipos de biomasa por año, de árboles caídos, desperdicios de leña y fruta, etc., los rangos están a partir de un promedio de 1 ton/ha*año (equivalentes a 1.2 ton de aire seco) con una precipitación anual de 200 mm, a un promedio de 10 ton/ha*año (11.8 ton de aire seco) con una precipitación de 1,500 mm (Lieth, 1975; Western y col., 1981).

Si la administración favorece a la producción de fruta a través de la aplicación de fertilizantes, cerca de un cuarto de la producción de PPN en la *Jatropha Curcas* puede ser en forma de leña con la mitad restante siendo fruta, pero por supuesto, esto debe probarse primero. El crecimiento de la planta, especialmente de la leña es una función de la edad y de la precipitación pluvial aún más que las prácticas administrativas. Se reportó que los árboles/arbustos de *Jatropha* viven cerca de 50 años y alcanzan alturas de hasta 5m. Como todas las plantas perennes muestran un crecimiento vigoroso en su juventud, esto conlleva gradualmente a su maduración. Se requieren buenas prácticas de silvicultura, que los arbustos estén podados o regularmente delgados. Si se dice que se han plantado 1,600 semilleros por hectárea, estos serían podados frecuentemente, hasta quedar cerca de los 400 a 500 árboles en la madurez. Para mantener una alta densidad las plantas tendrían que ser podadas anualmente y afinadas periódicamente. De forma similar, los arbustos requieren algunos cuidados extras que se tienen que hacer conforme se vayan necesitando.

La documentación acerca de la plantación de la *Jatropha* es aún muy escasa. Ya algunos sembradores deben estar practicando algunas formas para su administración. Estas prácticas

podrían ser documentadas y las mejores resaltarlas con figuras de cómo debería ser su crecimiento. El crecimiento y el rendimiento del tronco podrían ser en proporción al rendimiento del piñón. Pero algunas prácticas administrativas podrían afectar el rendimiento de los piñones y/o de los troncos.

En Zimbabwe las Investigaciones Confiables sobre Agricultura (ART, por sus siglas en inglés) a puesto bajo juicio los distintos orígenes de la *Jatropha Curcas*. Tales trabajos de investigación son de vital importancia en la determinación del origen más apropiado y del sistema de administración más óptimo para este país: Ésto debe ser fomentado. El estatus actual de este trabajo da una idea acerca del mantenimiento y del rendimiento de la *Jatropha* en Zimbabwe. Las variedades no tóxicas de la *Jatropha Curcas* provenientes de México fueron enviadas a Zimbabwe para ser plantadas (Gubitz, 1997). Tal vez la ART tenga estas variedades en sus cultivos de prueba. Si son exitosos, los piñones y/o la torta de semillas podrían ser usadas como comida para animales sin tener que desintoxicarla. Así que se tendría que hacer una comparación de costos entre el uso de la torta como comida animal o como fertilizante para la tierra.

En Zimbabwe, la torta de semillas está siendo promovida como fertilizante comercial, siendo rica en N, P y K. La torta contiene cerca de 6% de N, 3% P y 1% de K aún mejor con trazas de Ca y Mg (Lieth, 1975). Una tonelada de torta de semillas vertida al suelo, es equivalente a aplicarle 0.15 toneladas de fertilizante mineral con N, P y K [40:20:10]. La torta de semillas siendo relativamente rica en nitrógeno, implica que la *Jatropha* requiere un suelo rico en nitrógeno para obtener una buena producción de semillas. Ésto es porque la *Jatropha Curcas* no es una planta fijadora de nitrógeno. No hay reportes de la relación de las raíces con la fijación del nitrógeno rhizobium, solo si la cantidad de fósforo es escasa, la micorriza puede ser encontrada en el sistema de raíces teniendo una respuesta dicha deficiencia (Jones y Miller, 1992). Si no se aplica el nitrógeno entonces las flores podrían no crecer y la producción de semillas podría descender (Heller, 1996). En la India se recomienda en algunos folletos distribuidos, acerca de la administración de la *Jatropha*, el cerco de los cultivos y la adición de N, P y K anualmente, incluyendo la torta de semillas (Singh, 1996).

Hay muy poca información publicada acerca de los fertilizantes requeridos para la plantación de la *Jatropha*. Muchos documentos asumen que esa planta tiene bajos requerimientos de fertilizantes, pero ésto es contrario a los resultados obtenidos. El sector subsistente no puede ser capaz de correr riesgos con los fertilizantes minerales, y/o el sistema de distribución puede ser muy pobre. El crecimiento de la *Jatropha* en combinación con las plantas fijadoras de nitrógeno, especialmente árboles fijadores de nitrógeno, éstos pueden ser la más costosa solución. Hay muchos agro-silvicultivos de árboles, los cuales crecen bajo condiciones de climas variables, desde *Prosopis*, áreas de baja precipitación pluvial a *Sesbania*, y *Leucaena* con precipitaciones arriba de los 1000 mm. Investigaciones acerca de los requerimientos de pH y fertilizantes del suelo, para la *Jatropha* deben formar parte de un detallado estudio sobre la administración de la *Jatropha Curcas*. Así la promoción de esta planta versátil tendría un éxito duradero.

Información considerable sigue siendo requerida acerca de los sistemas de mantenimiento y de los nutrientes requeridos por la *Jatropha Curcas*. Los niveles de producción por precipitación y el tiempo de maduración tanto de los frutos como del tronco, especialmente del piñón no comestible, son importantes si la gente es la que se encarga de plantar y mantener la *Jatropha*, como un cultivo rentable. El uso de la *Jatropha* por si sola o en combinación con otras plantas para mejorar el ambiente o como sistema para sustentar el uso de la tierra debería ser documentado, así como la construcción de una serie de representaciones comprensibles acerca del crecimiento de la planta bajo distintos tipos de clima y diferentes condiciones administrativas (Openshaw, 2000).

2.3.1.3.4 *Jatropha Curcas* como recurso energético

El aceite obtenido de la *Jatropha Curcas* es considerado como un sustituto potencial de los actuales combustibles. El diésel es un hidrocarburo con una cantidad de 8-10 átomos de carbono por molécula pero el aceite de *Jatropha* tiene de 16-18. Así, el aceite de piñón es mucho más viscoso que el diésel y tiene una calidad de ignición baja (número de cetano). Por estas razones, el uso directo del aceite en motores no ha sido totalmente probado sobre periodos largos. En Europa, el aceite de las plantas es usualmente transesterificado (con alcohol e hidróxido) para la obtención de biodiésel con propiedades similares a las del diésel mineral. Esto reduce su viscosidad e incrementa su número de cetano. Sin embargo, ésto requiere una inversión considerable por lo que actualmente no es rentable. En Nicaragua también se han tomado en cuenta estos experimentos.

Una razón principal es que el precio del crudo ha estado cayendo en términos relativos sobre los de la década pasada. Actualmente los costos del aceite de plantas no se comparan con los del diésel, solo en excepcionales circunstancias. Por lo tanto, es mejor reexaminar el uso de los diferentes productos obtenidos de la *Jatropha* para determinar si cualquier recurso energético es rentable. Los tipos de combustibles que pueden ser obtenidos directamente de la planta de *Jatropha* son la leña, toda la fruta y partes de la fruta que se queman por separado o combinados, a saber la cáscara de los piñones y la almendra (o la semilla). Después del proceso, en el cual se requiere de energía, otros productos combustibles pueden hacerse a partir de la planta, tal como el aceite, la torta de semillas y el carbón de la leña o de la cáscara. Todos estos productos tienen diferentes valores de energía y costos de producción. La Tabla 2.5 enlista los posibles usos finales de algunos combustibles, junto con otros usos potenciales (Openshaw, 2000).

Su procesamiento incrementa el valor energético de los productos. Este es un punto muy importante que no puede ser sobre-estimado. Removiendo la cáscara de la fruta se incrementa el valor de su energía en 20%, de 21 a 25.5 MJ/kg.

Pero si se desecha la cáscara, entonces habrá una pérdida total de energía de cerca del 15%, porque toda la cáscara es solo el 70% del peso de la fruta. Puede ser que el peso ordenado por el total de piñones más la compensación de las pérdidas de energía en el desecho de la cáscara. Por ejemplo, podría ser quemado en el hogar o procesado en una fabrica o utilizado para propósitos

no energéticos tales como un condicionante del suelo. En tales casos, el valor anterior debe ser incluido en la declaración rentable. En cada situación, los mercados deberían ser explorados para todos los productos y por producto, y la línea de acción perseguida más benéfica.

En términos de pesos unitarios, las cáscaras de semillas tienen 40% más energía que el total de la fruta y el aceite casi dos veces el valor de energía. Pero sobre todo, las cáscaras tienen cerca del 35% menos energía y el aceite cerca del 70% menos energía que el total de la fruta, por las pérdidas en el proceso (Tabla 2.6). Así, mientras el valor unitario de energía es realizado, como el incremento en el grado de refinación y el combustible comienza a ser un producto mucho más versátil. La baja energía está disponible si no se encuentra un mejor uso para sus productos. Sin embargo, los ingresos netos por la venta de los diferentes productos y por producto, que debería ser la primera consideración, o los menores ingresos obtenidos más un valor impuesto a los productos no monetarios.

Por otro lado, la cocina en el hogar, mercados potenciales como el ladrillo, pescado, y tabaco procesado. Para quemar podría ser más rentable toda la fruta y la leña, más que producir aceite o carbón. El valor de la energía de la fruta es equivalente al carbón de bajo grado y de más fácil manejo, su contenido de ceniza es bajo y su ceniza podría ser vendida como un fertilizante. Un argumento similar puede ser hecho para los piñones, pero se deben considerar los costos de remoción de la pulpa (Openshaw, 2000).

2.3.1.3.5 Mercado para los productos de la *Jatropha Curcas*

Para un país donde crece la *Jatropha*, debería ser hecho un estudio por región o zona, de los mercados actuales y potenciales para los productos de *Jatropha*. Los mercados deben ser investigados así como las cantidades requeridas por cada uso final recopilado a lo largo de la investigación, con el precio de los productos sustitutos. Debe recordarse que el crecimiento y el procesamiento de los productos de la *Jatropha* son dos etapas del proceso de mercado.

Usualmente hay otros costos involucrados tales como almacenamiento, transporte y más los márgenes benéficos del mercado. Todos estos elementos deben considerarse cuando se vaya a determinar la rentabilidad y los usos.

La mayor parte de la demanda de los productos de la *Jatropha*, tales como el aceite para la manufactura de jabón depende de un constante y anual abastecimiento de materia prima vegetal. Así, regularmente aunque se demande aceite de las plantas a este mercado, tal vez muy rentable, las cantidades involucradas podrían ser más allá de la cantidad actual para los sembradores. Deberían tomarse en cuenta estudios sobre la estimación de los productos obtenidos por región. Se pueden plantear planes para conocer la demanda de industrias particulares, si se encuentra como rentable.

Los posibles usos finales para los productos de la *Jatropha Curcas* se muestran en la Tabla 2.5, la cual está dividida en los usos energéticos y no energéticos. Esta lista podría no cubrir todos los

usos y haber también usos específicos en zonas o países en particular. Solo es una guía para cuando se intenta evaluar el potencial de mercado de varios productos a partir de la *Jatropha*.

Tabla 2.5 Usos finales potenciales de los combustibles provenientes de la *Jatropha*, más otros posibles usos (Openshaw, 2000)

Tipo de combustible	Sin costo (SC) o para venta (V)	Uso final del combustible	Otros usos posibles
Pequeñas ramas	SC	Cocina en hogares rurales. Puede ser difícil su combustión a porque se mantienen verdes por largos periodos.	Material para cercar
Grandes ramas y tallos	SC y V	Cocina en hogares rurales y urbanos. Uso en el sector de servicio e industrial-graneros de tabaco, panaderías, en lugar del ladrillo, combustible para boiler, etc.	Poste de construcción, Poste para cercar y producción de carbón
Fruta completa	SC y V	Cocina en hogares rurales y urbanos. Uso en el sector de servicio e industrial-graneros de tabaco, en lugar del ladrillo, combustible para boiler, etc.	Sus cenizas se utilizan como fertilizante
Semilla completa	SC y V	Cocina en hogares rurales y urbanos. Uso en el sector de servicio e industrial-graneros de tabaco, en lugar del ladrillo, combustible para boiler, etc.	Sus cenizas se utilizan como fertilizante
Cascara externa	SC	Cocina en hogares rurales y urbanos.	Mejoramiento del suelo
Cascara interna	SC y V	Cocina en hogares rurales y urbanos. Uso en el sector de servicio e industrial-graneros de tabaco, en lugar del ladrillo, combustible para boiler, etc.	Mejoramiento del suelo y producción de carbón
Semilla sin cascara	SC y V	Cocina en hogares rurales y urbanos. Uso en el sector de servicio e industrial-graneros de tabaco, en lugar del ladrillo, combustible para boiler, etc.	Alimento para animales (Si es tratada) o como fertilizante
Carbón de leña	V	Cocina en la urbe	Bueno como acondicionador de suelos
Carbón de la cascara	V	Cocina en la urbe	Carbón activado
Aceite de la planta	V	Cocina en la urbe y alumbrado rural y urbano, uso en el sector de servicio e industrial, sustituto del diésel y el keroseno o como otro combustible alternativo	Manufactura de jabones, aceite lubricante, cosméticos, medicamentos, aceite para cocinar (desintoxicado)
Torta de semilla	SC y V	Cocina en la urbe y combustible para boiler	Fertilizante, comida para animales (Si es tratada)

Proyectos actuales de donación se han concentrado en la producción de aceite a partir de la *Jatropha* como un sustituto del combustible diésel para motores y/o como sustituto del keroseno para cocinar e iluminar. En muchos países en desarrollo, el combustible diésel tiene impuestos bajos con referencia a la gasolina o el keroseno; algunas veces hasta es subsidiado. La Tabla 2.7 demuestra que el aceite de *Jatropha* actualmente es tres veces más caro que los

combustibles fósiles. Así, como una regla general, los costos del diésel en estos días y del keroseno, no los hace atractivos, para la producción de aceite que sustituya a los combustibles provenientes del petróleo.

Tabla 2.6 Valores energéticos de varios combustibles a partir de la *Jatropha Curcas* (Openshaw, 2000).

Combustible	Contenido de ceniza (%)	Contenido de humedad (%)	Valor energético (MJ/kg)	Cascara externa*	Cascara interna*	Semilla*	Porcentaje recuperado
Leña	1	15	15.5				95-100
Fruta completa	6	8	21.2	30	24	46	95-100
Semilla completa	4	5	25.5	0	34	66	67-70
Cáscara interna	13	15	11.1	100	0	0	28-30
Cáscara externa	5	10	17.2	0	100	0	23-24
Semilla sin cáscara	3	3	29.8	0	0	100	44-46
Carbón de leña	3	5	30				15-25
Carbón de la cáscara	15	5	26.3				15-25
Aceite de la planta	<0.1	0	40.7				11-18 [23-38]
Torta de semilla	4	3	25.1				29-35 [62-77]

* Composición de la fruta en %

Solo cuando el diésel y el keroseno estén escasos, debido a la pobreza y sistemas de distribución intermitente y/o cuando ocurra el contrabando de combustibles de un país a otro, podría entonces, ser rentable la producción de aceite a partir de las plantas. También el keroseno puede que escasee porque se use como sustituto del diésel o porque su precio aumente debido al poco consumo en las áreas rurales en algún momento. En este caso puede ser rentable el uso del aceite de las plantas como combustible para la iluminación (más no para cocinar) en las áreas rurales.

Pero es improbable que estas zonas sean un mercado rentable. Estudios detallados deberían llevarse a cabo acerca de la disponibilidad y de la distribución de precios del diésel y del keroseno en las distintas localidades donde está creciendo el uso del aceite de las plantas si este aceite puede competir con los combustibles fósiles.

En Zimbabwe, se está proponiendo un proyecto donde se pretende generar electricidad con aceite proveniente de las plantas y para las bombas de agua para irrigación en otro proyecto. La factibilidad económica para estos dos proyectos muestra que no son factibles. No fue hecho un análisis alternativo con el diésel como combustible, pero ésto pudo haber sido tomado en cuenta para propósitos comparativos (Mauwa, 1995). Proyectos con baja factibilidad económica tal vez justificados sobre tierras sociales no se pueden implementar aún así que se siguen utilizando los recursos más baratos. Solo porque un producto potencial es producido en la zona no es una razón para su uso, si hay alternativas más baratas. Además el aceite de *Jatropha* y otros productos pueden tener usos más rentables, algunos de los cuales se enlistan en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Costos de producción de aceite de *Jatropha* y precio de los productos en competencia (Openshaw, 2000)

Proceso de producción	India		Zimbabwe	
	Industrial ^a	Prensado manual ^b	Prensado mecánico ^c	
Días operando por año ^d	250	250	250	
Ton de semilla/año	1000 ^e	13.75 ^f	184.2 ^g	
Ton de torta de semilla/año ^h	730	10.65	141.93	
Ton de aceite/año	270	3.1	42.32	
L de aceite/año	293500	3.375 ⁱ	46000 ⁱ	
Costos de producción/L				
Procesamiento de las semillas	4.77 ^j	5.7 ^k	5.61 ^k	
Entrega de la semilla	62.25 ^l	46.04 ^m	45.25 ^m	
Manufactura del aceite	5.87	16.44 ⁿ	14.59 ⁿ	
Costos totales	72.89	68.18	65.45	
Precio de venta de los substitutos del petróleo (centavos US/L)^o				
Keroseno	7.1	11.37	11.37	
Diésel	16.57	25.03	25.03	
Aceite vegetal/aceite de sebo	73.6	67.08	67.08	
Torta de semilla (Por litro de aceite) ^p	8.71	11.05	10.8	

^a El factor hindú es de 50 años y no hay factores de costos disponibles. Los siguientes costos se dan en dólares americanos anuales. Mano de obra (10 personas) 2,667; depreciación 1,000. Repuestos 3,500; filtros 880 (0.3 cents/L); contenedores 2,935 (1 cent/L); contingencias 10%.

^b Costos de prensado con básculas y utensilios 426 dólares. Depreciado sobre 10 años (43 dólares/año). Los siguientes costos se asumen como dólares anuales: partes de repuesto 43; filtros para el aceite vegetal 10; contenedores del aceite vegetal 34; mano de obra (1 persona) 375; contingencias 10%.

^c Costos del motor de prensado con básculas y utensilios 5,410 dólares. Depreciado sobre 7 años (773 dólares/año). Los siguientes costos se asumen como dólares anuales: partes de repuesto 541; filtros para el aceite vegetal 136; contenedores del aceite 460; mano de obra (2 personas) 750; diésel (50 L/día) y aceite lubricante 3442; contingencias 10%.

^d Se asumen 8 horas/día laborales.

^e Alimentación anual de aire seco fruta completa en toneladas 2,174 (cáscara externa 652; cáscara de la nuez 522; almendra 1000).

^f Alimentación anual de aire seco fruta completa en toneladas 29.89 (cáscara externa 8.97; cáscara de la nuez 7.17; almendra 13.75).

^g Alimentación anual de aire seco fruta completa en toneladas 400.54 (cáscara externa 120.16; cáscara de la nuez 96.13; almendra 184.25).

^h La torta puede ser vendida como fertilizante, combustible o desintoxicada como comida para animales. Los valores de venta como fertilizante en la India son de 50 dólares/tonelada de fábrica.

ⁱ Estas son cifras promedio. Es posible incrementar la producción de aceite cerca del 10%.

^j Los costos del procesamiento de la semilla por tonelada de semilla son: recolección 5 dólares; remoción de la cáscara externa 5 dólares y de la cáscara interna 4 dólares, total 14 dólares. Así el precio neto de la actividad agrícola es de 103 dólares/tonelada de semilla o 47 dólares/tonelada de fruta.

^k Se ha asumido una cifra de 14 dólares por tonelada de semilla procesada. Adicionando equipaje, transporte y comisiones, se estiman 40 dólares por tonelada de semilla incluyendo 5 dólares por la entrega a fábrica.

^l El precio por tonelada de semilla es: en la granja 117 dólares; en el almacén 141 dólares; en el mercado 187 dólares y entregado a la fábrica 197 dólares. Así el precio neto de la actividad agrícola se estima de 103 dólares/tonelada de semilla o 47 dólares/tonelada de fruta. Aparte de los costos del establecimiento y la administración, el agricultor tiene que gastar en fertilizantes cerca de 30 dólares por tonelada de semilla producida, para mantener el suelo fertilizado. Los agricultores tienen otros productos que ofrecer. Esto incluye cerca de 1.16 toneladas de leña, 520 kg de cáscara de semilla y 650 kg de cáscara de fruta por tonelada de semilla producida.

^m Se asume una cifra de 127 dólares/tonelada de semilla entregada a fábrica. El precio es de 73 dólares/tonelada de semilla cultivada, excluyendo los costos de procesamiento (87 dólares con los costos de proceso). El precio de venta de la semilla completa es de 51 dólares/tonelada, y para la fruta completa (pulpa, cáscara y semilla) es de 34 dólares/tonelada.

ⁿ Estos costos pueden bajar entre un 10% a 20% a través del incremento de la productividad y por la tarifa que pueda aceptar el comprador.

^o En Nepal el precio en centavos americanos por litro es: 15.5 keroseno y 24.4 para el diésel.

^p El ingreso total para el procesamiento es la suma de los ingresos a partir del aceite y de la torta de semilla, asumiendo un precio de venta de la torta de 35 dólares por tonelada.

2.3.1.3.6 Usos no combustibles de la *Jatropha Curcas*

La *Jatropha* es una planta con madera y por supuesto sus ramitas, ramas y tallos pueden ser utilizados para un gran número de propósitos, especialmente como combustibles, palos y postes. Desafortunadamente, las ramitas permanecen verdes por un largo tiempo y es difícil secarlas para así quemarlas. Si se utilizan como postes es posible que tiendan a brotar. Sin embargo, en algunos países se utilizan como soportes de las enredaderas tales como la planta de vainilla. Se intensifica su abundancia en respuesta a las precipitaciones pluviales y/o el riego y pueden florear tres veces por año. Las abejas polinizan estas flores, así es posible que se lleve a cabo el apareo entre las plantas de *Jatropha* del área. La fruta es normalmente tóxica a menos que se le dé un tratamiento de desintoxicación, pero hay algunas variedades que producen frutos no tóxicos. Si se puede desintoxicar de forma barata, o extraer el aceite de las variedades libres de tóxicos, podría usarse en la generación de comida para producir la torta de semillas para la alimentación de animales. El látex y el aceite extraídos de las plantas tienen propiedades medicinales, pesticidas y suelen utilizarse para el control de moluscos. Los taninos, pueden extraerse a partir de la corteza y de la cáscara de los piñones, y se utilizan para el tratamiento de la piel. Se puede producir un barniz a partir del aceite, el cual es la comida típica de los gusanos de seda.

Para esas zonas, regiones y países donde no pueden producir el aceite de palma o aceites por el estilo, el más lucrativo producto no alimenticio podría ser el aceite de las plantas. El aceite de *Jatropha* es similar al aceite de palma o al del girasol y al sebo (obtenido de los animales). Contiene ácidos grasos y uno de sus usos es como materia prima para la producción de jabón, el aceite crudo de la *Jatropha* ha sido utilizado comercialmente con este fin por décadas dentro de las pequeñas y medianas industrias.

Por ejemplo, en la India es utilizada para la gran industria Hindustan Lever. En Zimbabwe el jabón es producido por pequeñas industrias informales utilizando el aceite extraído de las plantas, en las áreas rurales, pero una industria grande está interesada en el uso del aceite de la *Jatropha* como sustituyente del sebo. Sin embargo, los requerimientos mensuales de esta industria solo es de 2,000 L de aceite. Para abastecer esta demanda se requeriría el equivalente de cerca de 20,000 hectáreas, siendo el área actual alrededor de tan solo 2,000 hectáreas, cubriendo solo el 10% de la demanda actual.

En la India, Nepal y Zimbabwe, el precio del sebo, del aceite de *Jatropha* y de otros aceites vegetales es aproximadamente 2.5 veces el precio comercial del diésel. La Tabla 2.8 nos muestra las diferencias en precios para tres combustibles en tres distintos lugares. Obviamente el comercio del aceite de *Jatropha* para la manufactura de jabón es lejano que sea más rentable en estos países, que siendo utilizado como sustituto de combustibles como el diésel y el keroseno. Ciertamente, en muchos países, el aceite podría ser vendido a precios bajos si fuese competitivo con el diésel o el keroseno.

Tabla 2.8 Precio de aceites minerales, sebo y aceite vegetal (dólares americanos/litro), (Openshaw, 2000).

Producto	India ^a	Nepal ^a	Zimbabwe ^b
Keroseno	7.1	15.3	11.37
Diésel	16.57	24.4	25.03
Aceite vegetal/grasa de sebo	73.6 ^c	80 ^d	67.08 ^e

^aPrecio en Julio de 1998.

^bPrecio en mayo de 1998.

^c Aceite de *Jatropha* ex fabricado en 1992. El precio de ex fabricación de la torta de semilla de *Jatropha* fue de 5 centavos americanos/kg. Sin embargo, para que sea competitivo de acuerdo con los fertilizantes N, P y K utilizados, hoy en día, el precio de ex fabricación ha sido cerca de 3.5 centavos americanos/kg y el precio de entrega disponible a los granjeros es de 4 centavos americanos/kg.

^d Aceite de palma.

^e Aceite de sebo.

2.3.1.3.7 Costos y beneficios de la producción de *Jatropha Curcas*

Los costos están involucrados en todas las etapas del crecimiento de la *Jatropha Curcas* y en la manufactura de sus diferentes productos. Puede ser que mucho, si no todo, cubierto el costo del establecimiento y la administración por el propósito primario en el crecimiento de la planta, tal como el control de la erosión, el restablecimiento de la tierra o como valla viva. En este, caso las podas y las frutas pueden ser tomadas en cuenta como materia vegetal libre, pero hay más costos involucrados en la manufactura y mercado de los productos.

Las diferentes operaciones deberían ser enlistadas así como los costos de cada operación. Para la *Jatropha* esto debería ser subdividido entre: El crecimiento y el mantenimiento de los cultivos; la cosecha y la manufactura de varios productos. En particular la cosecha y el uso de la fruta o sus diferentes componentes deberían ser documentados. Separando el establecimiento de los cultivos, mantenimiento, cosecha, transporte, manufactura de los productos y mercado, dentro de los diferentes componentes determinarán los diferentes costos centrales y ayudarán a determinar las mejores prácticas administrativas y la más rentable línea de productos.

Un estudio de la India muestra algunos costos e ingresos, los cuales pueden ser utilizados como ejemplo ilustrativo del ingreso y egreso involucrado en el crecimiento (a partir de la semilla) de la *Jatropha Curcas* como un cultivo frutal comercial (Singh, 1996).

El promedio anual de precipitaciones pluviales fue cerca de 1,700 mm, y se espera cumplir con la producción necesaria en 6 años. El rendimiento anticipado por hectárea, de fruta después de los 6 años es de 7.5 ton de aire seco (6.4 toneladas en horno seco) y de leña 4.0 toneladas (3.4 toneladas en horno seco). Combinados dan un rendimiento combinado de 11.5 toneladas de aire seco. Sobre el promedio, las 7.5 toneladas de fruta producirán 3.5 toneladas de semilla, 1.80 toneladas de cáscara y 2.25 de cáscara externa.

Los costos acumulados de su establecimiento y el mantenimiento son cercanos a 343 dólares/ha de los cuales la mano de obra es de 76 dólares y 255 dólares en fertilizantes con un remanente de 12 dólares para el alquiler del arado, herramientas, semillas, etc. A partir del 6 año el costo de mantenimiento es de 123 dólares/ha de los cuales 102 dólares es para fertilizantes y 21 dólares para mano de obra.

A partir de los 6 años y en adelante, los costos de mano de obra para la cosecha de 7.5 toneladas de fruta y la extracción de la semilla es de 48 dólares/ha y para cortar y preparar 4 toneladas de madera para combustibles y postes es de 20 dólares/ha, dando un total de 68 dólares/ha por cosecha. Anticipando que la cascara de la fruta se puede vender en 16 dólares/ton, la coraza en 25 dólares/ton y la semilla en 117 dólares/ton. El precio anterior para la semilla se asume, cuando el aceite extraído es utilizado para hacer jabón. Esto da un precio promedio de venta de 65 dólares/ton de fruta (aire seco) (Openshaw, 2000).

2.3.1.3.8 Terreno necesario para los cultivos energéticos

En adición a los beneficios que la *Jatropha* puede traer a los países en desarrollo a partir de la producción de biodiésel y sus productos a partir de las semillas de *Jatropha* también tiene el potencial para reestabilizar la tierra marginal, desértica y degradada y prevenir la erosión del suelo y la desertificación. En Filipinas la organización D1 Oils plc, está actualmente trabajando con una compañía minera para investigar acerca de la plantación de *Jatropha* para la reconstrucción de la tierra degradada a causa de los trabajos mineros y está también trabajando con compañías en Arabia Saudita para el restablecimiento de los suelos desérticos, a partir del cultivo de *Jatropha* utilizando irrigación con aguas residuales, que por razones religiosas, no puede ser reciclada para su uso humano o para el riego de cultivos de uso final alimenticio (Wood, 2005).

2.3.1.3.9 Un mejor comercio con los países en vías de desarrollo

Dado el inevitable incremento en la demanda de biodiésel en Estados Unidos y los límites en la capacidad del sector agrícola en el continente, se cree que hay fuertes argumentos de negocios para el abastecimiento de aceite utilizando los países en vías de desarrollo, y en particular África. Dada la demanda de alimentos por la población en crecimiento, en ningún momento surge algún sentimiento moral o económico de países como África por cambiar sus cultivos alimenticios por cultivos con fines energéticos. Sin embargo, cultivos agro-forestales que pueden producir suministros sostenibles de aceites vegetales a partir de tierra marginal, mientras simultáneamente se rehabilita y protege de la desertificación y erosión este suelo, ofrece una solución muy atractiva. Europa no conoce el crecimiento en su demanda de biodiésel a partir del cultivo de colza doméstica.

Sin embargo, el país de África podría ofrecer a Europa un abastecimiento estable de biodiésel y la materia prima de aceite vegetal para cubrir la producción local. La agricultura africana sufre frecuentemente de deterioros a expensas del subsidio agrícola en el mundo en desarrollo. Sin

embargo, la producción de cultivos energéticos, podría permitir que África y otras áreas de los países en vías de desarrollo puedan implementar la producción de nuevos cultivos que tengan un limpio y competitivo aprovechamiento (Wood, 2005).

En el lanzamiento de la Comisión por África en el año 2005, Tony Blair (primer ministro del Reino Unido) fue llamado para una nueva colaboración entre los países en desarrollo y África que va más allá de las antiguas donaciones. El principal comercio que se trató fue el de la plantación de *Jatropha* para la producción de energía que hará (en algunos años, cuando la escases de recursos fósiles llegue) que los países en vías de desarrollo lleguen al desarrollo sustentable.

2.3.1.3.10 El nuevo petróleo crudo

El biodiésel de *Jatropha* cumple completamente con los estándares de la norma europea EN 14214 para motores diésel. El número de cetanos, o calidad de combustión (equivalente al octanaje de la gasolina) es de hecho más alto que el del diésel mineral permitiendo una combustión limpia a altas temperaturas. Cuando se mezcla el biodiésel con petrodiésel la combustión se lleva a cabo más limpiamente. La buena lubricidad del biodiésel de *Jatropha* reduce el mantenimiento del motor, y su alto punto de inflamación hace seguro su manejo y transporte. Además no es tóxico y es biodegradable. Una mezcla B5 de *Jatropha* puede utilizarse en un motor diésel sin necesidad de modificaciones (Wood, 2005).

El aceite vegetal de *Jatropha* es refinado a través de un método de transesterificación donde se rompen las cadenas de los ácidos grasos en el aceite convirtiéndose en alcohol ésteres (biodiésel) y glicerina. En adición a este último producto, el cual es muy demandado en la industria cosmética. Prensando las semillas de *Jatropha* para extraer el aceite se obtiene una torta de semilla que puede ser utilizada como fertilizante orgánico o, después de un largo proceso, como comida para animales.

La *Jatropha* crece en zonas salvajes del Sahara, África, India, Sur este de Asia y China, y es frecuentemente cultivada para cercar. Sin embargo, el aceite de *Jatropha*, aunque ha sido muy utilizada por siglos como medicina casera no tiene aplicaciones industriales hasta ahora. Si la *Jatropha* es plantada en cultivos de gran escala, tendría el potencial necesario para crear una nueva industria agrícola que pueda proveer la materia prima, a bajo costo, que se requiere para la producción de biodiésel, el cual se necesita promover tanto en países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo, con el propósito de parar el cambio climático actual.

La *Jatropha* ofrece particulares ventajas como un cultivo agrícola-forestal: crece rápidamente a partir de la siembra de sus semillas o de sus tallos; toma solo dos o tres años para que lleguen a su madurez generando rendimientos económicos; y tiene una vida productiva de máximo 30 años. Bajo condiciones óptimas puede producir aceite con rendimientos arriba del 40%. Sin embargo, requiere solo cantidades mínimas de nutrientes y agua; y es capaz de crecer sobre tierras marginales, de baja calidad o degradados, incluyendo desérticas o semidesérticas. Se estima que

una plantación de 5,000 hectáreas, cultivada en tierras marginadas puede soportar un mínimo de 2,000 árboles productivos por hectárea. Con cada 5,000 hectáreas de plantación sosteniendo 10 millones de árboles productivos y cada árbol con un rendimiento de 3.5 kg de semillas por año, con un total cosechado de semillas de 35 000 toneladas, las cuales al ser prensadas producirán cerca de 14,000 toneladas de aceite vegetal crudo. Se estima que cada tonelada de aceite de *Jatropha* puede producir 1,100 litros de biodiésel. Una plantación madura de 5,000 hectáreas puede por lo tanto producir 15 millones de biodiésel por año. Sobre estas bases, podría tomar cerca de 125,000 hectáreas de *Jatropha* abastecer la demanda de 376 millones de litros de biodiésel consumidos por Alemania en el 2004 (Wood, 2005).

2.3.1.4 Colza

En un principio el hombre moderó la siembra de colza así como de otros cultivos. Las civilizaciones antiguas en Asia y a lo largo del Mediterráneo, mantuvieron el uso de la colza con fines de iluminación y después fue utilizada para aceite de cocina. Los principales antecedentes indican que la colza fue cultivada en la India hace más de 3,000 años atrás. Fue entonces introducida a China y Japón en tiempos de Cristo (Hougen y Stefansson, 1983).

Sin embargo en Europa la colza se comenzó a sembrar hasta el siglo 13. Su uso industrial no fue difundido hasta que se obtuvo una buena calidad de aceite. Su uso como aceite vegetal comestible en algunos países es muy reciente (Hougen y Stefansson, 1983).

El *rape* en la palabra *rapeseed* (en inglés colza) viene del latín *rapum* que significa nabo, nabo sueco o mostaza y muchos otros conocidos vegetales relativamente parecidos a los cultivos de canola. La canola puede ser sembrada con temperaturas bajas pero considerable humedad. Por lo tanto, puede ser sembrada en zonas con temperaturas que ni la soya ni el girasol podrían resistir (Fereidoon, 1990).

A diferencia de otras especies, la colza viene a partir de varias especies pertenecientes al género *Brassica*. Estas especies incluyen a la *B. napus*, *B. campestris* y *B. juncea*, las cuales son conocidas como colza, nabo colza y hoja de mostaza, respectivamente. Los nombres comunes que han sido utilizados para la *B. napus* son colza, oil rape, rape oleginosa, colza sueca y rape argentina, los términos que han sido utilizados para la *B. campestris* incluyen colza, aceite de nabo y colza polaca; así como mostaza café, mostaza oriental, mostaza hindú y colza han sido utilizados para nombrar a la *B. juncea*. Estas especies son muy cercanas y bastante similares en su apariencia. En Canadá y Europa las semillas de colza y nabo colza son consideradas como colza. En la India nabo colza y la hoja de mostaza o la mezcla de ambas, se puede considerar como colza. En China, las tres especies se siembran pero la colza sembrada en invierno es el mayor recurso de colza en el país (Downey, 1983).

Entre los miembros del género *Brassica*, la *Brassica Carinata* una especie alolipoide que viene de la cruce natural de la *B. nigra* y la *B. oleracea* originaria de Etiopia puede ser de gran interés para la producción de biodiésel (Bozzini y col., 2007).

La relación botánica entre las especies comunes se ilustra en la Figura 2.6 propuesta por un japonés científico en 1935. Él habla de tres especies básicas: *B. nigra*, *B. oleracea* y *B. campestris*. La *B. carinata*, *B. napus* y *B. juncea* fueron sintetizadas artificialmente por hibridación y duplicación de cromosomas de las principales. Las especies “base” diploides están en las esquinas del triángulo, con las derivadas especies anfidiploides o alotetraploides en los lados del triángulo (Nagaharu, 1935).

Hay arriba de 350 especies de plantas productoras de aceite y 1,000 sub-especies. La colza es hoy el más grande recurso utilizado para la producción de biodiésel en todo el mundo.

El cultivo oleaginoso de flores amarillas llamado canola en los Estados Unidos, es conocido como colza en Europa. La colza crece en regiones frías como Alemania, Canadá, Rusia y Turquía (Tickel, 2000).

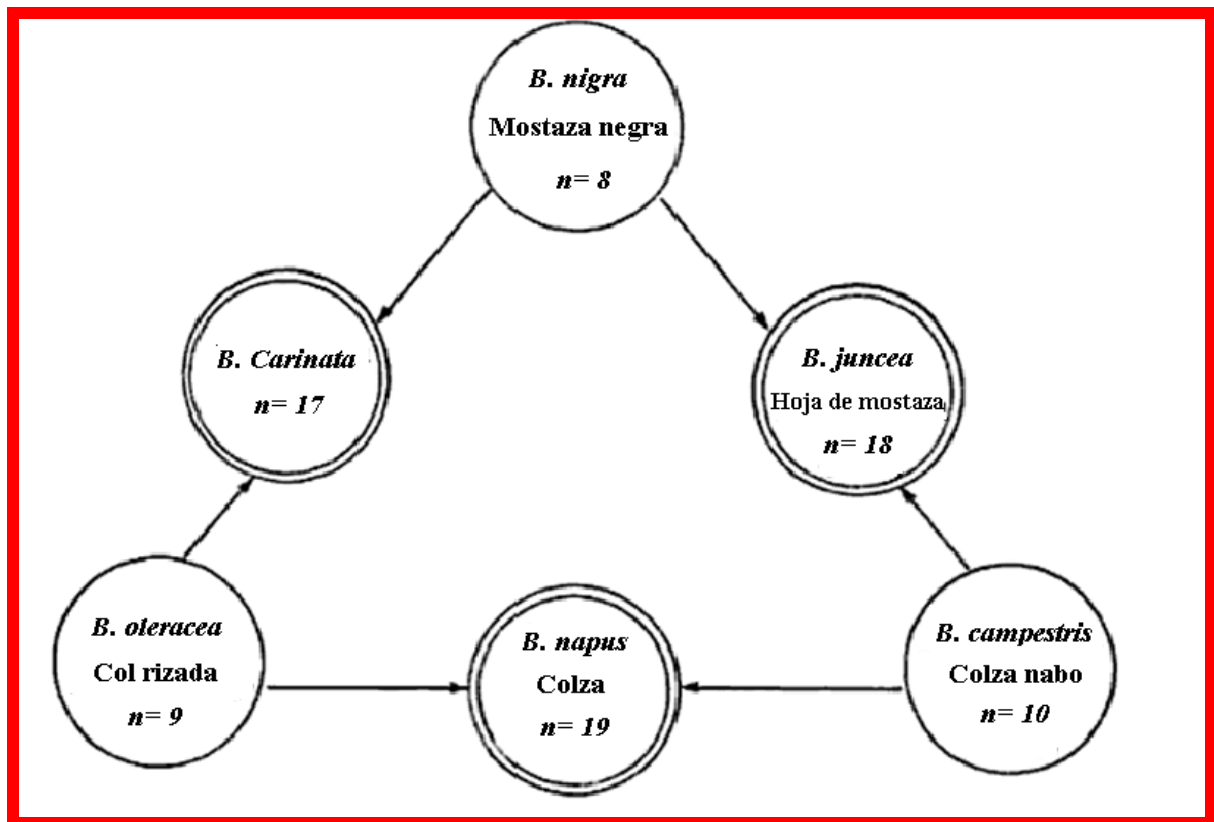


Fig. 2.6 Relación botánica entre las especies más importantes mostradas por el triángulo de Nagaharu (1935).

2.3.1.4.1 Producción global, áreas bajo cultivo y rendimiento

La producción de colza/canola llegó a estar en el tercer lugar de la producción mundial como por 1987. La Tabla 2.9 muestra los datos de la producción en algunos periodos anuales. Tradicionalmente la colza ha sido producida en los países orientales tales como la India, China y Japón. Sin embargo, el cultivo fue sembrado en Europa por el siglo 13, su adopción como aceite

comestible no se explotó por los países del occidente hasta finales de la segunda guerra mundial. Desde 1945, la producción y el uso de la colza/canola se han incrementado mucho, especialmente en Canadá y en el norte de Europa.

La *Brassica* es una de las especies exóticas más comunes de México. En el país está registrada en Baja California Norte, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Villaseñor y Espinosa, 1998). Sólo falta en la península de Yucatán.

Tabla 2.9 Producción mundial de los principales cultivos oleaginosos (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Cultivo oleaginoso	1983-84	1984-85	1987-88	1988-89	1989-90
Soya	83.21	92.91	103.38	94.06	107.04
Algodón	26.89	34.66	31.57	32.57	31.32
Colza	14.5	17.22	23.53	22.29	22.12
Girasol	15.53	17.93	21.02	20.64	20.80
Coco de palma	1.72	1.98	2.55	2.81	3.03
Semilla de ajonjolí	1.95	1.92	2.17	2.20	2.20
Total	143.8	166.62	184.22	174.57	186.51

Las cantidades se muestran en millones de toneladas métricas

Se ha encontrado que la temperatura es un importante factor ambiental, el cual afecta el contenido proteico y de aceite de la colza invernal. El contenido de aceite y de proteína en las semillas se relaciona inversamente y por lo tanto reaccionan en relación opuesta con la temperatura. Con altas temperaturas durante el periodo de maduración se reduce el contenido de aceite mientras que se aumenta el contenido proteico (Walton, 1999). Además la temperatura tiene influencia sobre la composición de los ácidos grasos del aceite. A bajas temperaturas y con bajo contenido en agua, el contenido de C18:1 decrece y el contenido de C18:3 aumenta (Triboi-Blondel y Renard, 1999).

2.3.1.4.2 Composición del aceite de colza y de canola

La colza/canola contiene aproximadamente 40 % de aceite y su rendimiento en proteínas esta entre el 38-43 %. La cáscara consta de 16.5-18.7 % en peso de la semilla, equivalente al 27-30 % de toda la planta. El contenido de humedad de las semillas es aproximadamente del 8 %. La composición de ácidos grasos de la colza/canola es ahora bastante usual y de hecho, la única factible para el consumo humano.

2.3.1.4.3 Germinación y surgimiento de la plántula

Durante las primeras etapas de la germinación y surgimiento de la plántula, controlar la distribución de las plantas por unidad de área es especialmente importante para obtener un rendimiento estable (Sierts y col., 1987). El porcentaje de germinación se relaciona muy

pobrementemente con el rendimiento de la colza según pruebas estándar. Sin embargo, el tiempo promedio de germinación reveló un alto grado de correlación con el rendimiento del cultivo y de las semillas (Larsen y col., 1998).

La considerable variación en el surgimiento de las plántulas depende de la humedad, temperatura y estructura del suelo (Witcombe y Whittington, 1971; Acharya y col., 1983; Kondra y col., 1983; King y col., 1986).

2.3.1.4.4 Crecimiento juvenil

La fase del crecimiento juvenil de la colza invernal dura a partir del desarrollo de las plántulas, va creciendo, se desarrolla el tallo y crece hasta que comienza a florear. Para soportar los subsecuentes periodos de bajas temperaturas y heladas, los individuos deben contar con 6-8 hojas y tener la raíz central con un diámetro mayor de 5 mm y un retoño de longitud menor de 20 mm (Scott y col., 1973a y 1973b; Vulllioud, 1974; SchroÈder y Makowski, 1996). En otoño el potencial de floración para que floreen las ramas se determina también por el número de hojas axiales (Mendham y Scott, 1975). La colza usualmente comienza a florear a principios de noviembre cuando se siembra en agosto, y a mediados de diciembre si se ha sembrado en septiembre. El comienzo de la floración puede tener influencia sobre las flores, poda y número de semillas (Tayo y Morgan, 1979; Mendham y col., 1981).

Las bajas temperaturas y la baja intensidad de luz en el invierno causan una dramática pérdida de follaje así como en el almacenamiento del nitrógeno, también reduciendo el índice de área de las hojas (alrededor de 0.5-1.0). Sin embargo, las plantas tienen una capacidad sustancial para compensar los daños; un pre-requisito es mantener un soporte establecido antes de iniciar el invierno, pues esto asegura el alto rendimiento y su estabilidad (Sierts y col., 1987).

Stoy (1983) creó un soporte artificial y gradualmente redujo la densidad del cultivo manualmente durante el invierno para simular la pérdida de plantas. El control individual de las plantas (45 plantas/m² en otoño, 43 plantas/m² en primavera) dió un rendimiento de 14.1 g. En contraste, hubo un dramático decremento a 7.8 g por planta cuando se siembran 185 plantas/m² para finales de agosto se tenía una reducción a 43 plantas/m².

Un análisis cuantitativo de la formación de la vaina confirma la relación lineal entre la acumulación de materia seca producida hasta la floración y la densidad de la vaina (Grosse y col., 1992).

2.3.1.4.5 Floración

La floración es la etapa más crítica influyendo en gran manera sobre el rendimiento de la colza. El último número de vainas y semillas es determinado durante un periodo de 4 semanas y es muy dependiente de una administración continua de asimilantes (Evans, 1984; Keiller y Morgan, 1988; Leterme, 1988). El proceso más limitante comienza poco después del comienzo de la

floración, cuando el descenso en el área total de las hojas se acelera debido a la sombra, inicialmente por las flores y después por las vainas. El incremento en la cobertura de las flores intensifica la reflectividad de los fotones y la absorción a 60-65 % de la radiación recibida. Al mismo tiempo, la fotosíntesis del cultivo decrece un 40 %. Se asume que los pétalos pequeños o las flores sin pétalos pueden mejorar la cantidad de radiación que llega a la superficie verde. En general durante el periodo de floración el cultivo es muy susceptible a las sequias, pero se encontró que los cultivos tienen variaciones de sensibilidad (Rao y col., 1991).

2.3.1.4.6 Cosecha

La determinación del día de cosecha óptimo es algo muy complejo, a partir de que las semillas empiezan a madurar va a depender de la posición de las vainas en la planta (Diepenbrock y Geisler, 1979). Una cosecha temprana puede reducir la calidad de las semillas y una tardía cosecha podría realzar de manera significativa el número de vainas. La calidad óptima de las semillas se alcanza cuando el contenido de agua en la semilla declina por debajo del 10% de la materia seca y el contenido de clorofila es casi cero. Así, la maduración uniforme es afectada por el ambiente, el cultivo, el contenido de nitrógeno y la densidad de la planta. Es necesario conocer estos requerimientos pero también hay que prevenir la decadencia de las vainas y el riesgo de la pérdida prematura de semillas debido al retraso en la maduración de algunas vainas en toda la planta (Meakin y Roberts, 1990).

2.3.1.4.7 Semillas por vaina

El peso de las semillas de una vaina es el producto del número de semillas en una vaina por el peso promedio de una sola semilla. Cada vaina contiene a partir de 30 a 40 semillas. Algunos agricultores reportan un promedio de 15-20 semillas por vaina en la cosecha (Rakow, 1978; Morgan, 1982). Las vainas infértiles muestran una distribución homogénea de óvulos a lo largo de la placenta. Durante el periodo siguiente a la floración hay una marcada variación en la distribución del número de semillas perdidas en relación a las cultivadas. En particular, el número de semillas continúa disminuyendo por dos o tres semanas después de la floración cuando el aborto casi termina. No se conoce mucho a cerca de los factores que controlan las pérdidas de semillas. La limitación de los recursos causada por el espacio entre la fotosíntesis de las hojas y las vainas puede ser esencial en las pérdidas durante el desarrollo de las semillas.

Como con el número de vainas, el número de semillas por vaina varía desde las ramas primarias a las últimas. El modelo de distribución muestra que el número de semillas por vaina decrece de las ramas más altas hacia las ramas más bajas. De igual forma, las vainas fundamentales que están sobre el racimo principal tienen mayor número de semillas que las partes que han tenido un desarrollo tardío (Schulz, 1987).

Frecuentemente si se siembra con un retraso en otoño se obtiene un alto número de semillas por vaina, especialmente en regiones con inviernos apacibles. En contraste, la típica siembra temprana de un cultivo invernal en Europa central produce un alto rendimiento de biomasa y por

lo tanto, un gran número de vainas, las cuales tienden a ser ineficientes, porque muchas vainas y semillas se pierden. Regularmente, el nitrógeno es el que promueve el número de semillas por vaina.

Para propósitos de cultivo, la correlación entre la longitud de la vaina y el número de semillas por vaina es muy importante; la longitud de la vaina puede ser determinada fácilmente y puede servir como rasgo para una selección indirecta. Basado en los resultados de Chay y Thurling (1989a y 1989b); se concluyó que el efecto de la longitud de las vainas sobre el rendimiento depende en gran medida del origen genético del material probado. Ellos analizaron la longitud de las vainas de 112 familias completas y revelaron que las vainas más largas cruzadas dan hijos con más semillas, lo cual se traduce en un mayor rendimiento de semillas por planta. En la Tabla 2.10 se puede observar los resultados obtenidos por éstos últimos investigadores.

Por lo tanto, se debería poner más atención a la longitud de las vainas en los programas de cultivo de colza, pues es un rasgo altamente hereditario. No obstante, el tipo más largo de vaina debe ser tratado con precaución pues hay dos diferentes factores que controlan la longitud de la vaina: 1) La ubicación de la semilla y la simulación del crecimiento temprano de la vaina y 2) Hay un control genético sobre la longitud, el cual puede ser independiente del número de óvulos, pues puede que haya solo una gran distancia entre las semillas, por lo que aunque la vaina sea larga tal vez tenga pocas semillas.

Tabla 2.10 Relación entre la longitud de la vaina y el rendimiento de los componentes de la colza oleaginosa (Chay y Thurling, 1989a)

Longitud de la vaina (mm)	Número de líneas	Semillas por vaina	Vainas por planta	Peso por semilla (mg)	Rendimiento de la semilla (g/planta)
<65	15	18.5	127	4.28	11.3
65-74	33	24.3	125	4.41	13.8
75-84	49	23.1	123	4.61	13.6
>84	15	27.7	124	5.05	17

Al inicio del crecimiento de las semillas de las vainas situadas en diferentes ramas, varía considerablemente; por ejemplo, las semillas que crecen en vainas que se sitúan en la parte baja de la planta tienden a ser más pequeñas que las que se sitúan más arriba.

En general, se tiene una pequeña correlación entre el peso de cada semilla y el rendimiento total. Sin embargo, la variación en el peso de la semilla existe, la selección de las semillas de gran peso podría tener un efecto negativo sobre otros componentes del rendimiento (Geisler y Henning, 1981).

El análisis del rendimiento de la colza sembrada en invierno reveló que tiene un potencial considerable para mejorar su rendimiento sembrada en otras épocas. La duración del crecimiento,

la relación entre producción e índice de cosecha son cruciales para realzar la cantidad de biomasa obtenida y el rendimiento de las semillas.

Durante el ciclo de crecimiento, su establecimiento, inicio de floración, el uso de su habilidad para el aprovechamiento de la radiación por el grupo de vainas y el relleno de las semillas son factores decisivos que influyen de manera importante sobre el rendimiento (Diepenbrock, 2000).

La canola es un cultivo de clima templado y puede sembrarse en otoño o en primavera, bajo condiciones de riego y temporal. El requerimiento mínimo de agua del cultivo es de 30 a 50 cm de lámina de riego ó 300 a 500 mm de precipitación pluvial. A los 8-10 días de la siembra se presenta la germinación y aparecen los dos cotiledones.

2.3.1.4.8 Condiciones de manejo del cultivo de Canola en México

Cuando la planta presenta de 6-8 hojas, se alcanza el estado llamado de roseta, donde la planta no presenta todavía tallo y las hojas parten todas del mismo punto o cuello. En esta fase, aparentemente se estanca, las raíces en el subsuelo experimentan su mayor crecimiento, preparándose la planta para las siguientes fases: Desarrollo del tallo y ramificación, floración, fructificación y madurez. La floración se inicia a los 20 días de la formación del tallo y dura alrededor de treinta días. Los rendimientos pueden variar de 0.5 a 3.5 ton/ha dependiendo del ambiente y manejo del cultivo. El ciclo de vida es en promedio de 130 días. Se siembra en surcos de 70-80 cm de separación con 15 a 25 plantas/m² y una densidad de siembra de 2 a 3 kg/ha. Los requerimientos de nutrientes son de aproximadamente 60 kg/ha de nitrógeno y 30 kg/ha de fósforo por tonelada cosechada.

El control de maleza se lleva a cabo mediante escardas y deshierbes manuales, y en ocasiones se aplican herbicidas como la trifluralina y el glifosato en presiembra. Las plagas más importantes son los pulgones y gusanos defoliadores, los cuales son controlados mediante insecticidas convencionales como el dimetoato y piretroides. La cosecha directa se realiza con trilladoras de cereales ajustadas cuando el grano tiene alrededor del 8 % de humedad. La canola produce el grano en un tipo de vaina o silicua, el cual es de una coloración oscura ó café y un contenido de 40-44 % de aceite de alta calidad para el consumo humano, con características similares al aceite de oliva. El aceite contiene 60% de grasas monoinsaturadas y muy bajo contenido de grasas saturadas, lo que está definido por un excelente balance de ácidos grasos. La pasta obtenida después de extraer el aceite, contiene un 40 por ciento de proteína de buena calidad, ideal para formular alimentos para el ganado, principalmente bovino y porcino (Castillo, 2008).

2.3.1.4.9 Importancia mundial y nacional

Se estima que el mundo produce 347 millones de toneladas de semillas oleaginosas, de las cuales 200 millones de toneladas corresponden a la producción de soya. El resto está compuesto por otras seis oleaginosas, de ellas la segunda en importancia es la Canola: 37.33 millones de toneladas constituyen la producción mundial.

Se cuenta con un comercio caracterizado por una alta participación en el mercado exportador, de Canadá con el 42 %, China y Hong Kong con un 10 % y la Unión Europea con el 27 %. Mientras que el principal país importador es Estados Unidos con el 30 % del total mundial importado (Nelson, 2004).

México es el principal comprador de semilla en Sur América, constituyendo un mercado que en el plazo de 1998-2003, importó en promedio 800 mil toneladas anuales siendo abastecido principalmente por Canadá, dada la proximidad geográfica y el ser parte del tratado de libre comercio NAFTA.

Para el 2006, el consumo nacional aparente de semillas oleaginosas fue de 5.5 millones de toneladas, de las cuales se produjeron en el país sólo 0.5 millones (9%), por lo que se tuvieron que importar cerca de 5 millones de toneladas. Del total de las importaciones de oleaginosas realizadas en el 2006, el 91% (5 millones de toneladas) correspondió a soya y canola. De esta última oleaginosa se importaron 1.2 millones de toneladas, lo que indica el tamaño del mercado interno actual para este producto y una gran oportunidad para fomentar su producción.

El importe total de las importaciones de semillas oleaginosas, aceites, grasas y pastas significó una fuga de divisas de 2,423 millones de dólares, lo que coloca a las semillas y productos oleaginosos como uno de los rubros que más afectan la balanza comercial agrícola de México. Para abastecer la demanda interna de canola sería necesario sembrar aproximadamente 600,000 ha considerando un rendimiento medio de 2 ton/ha.

En función del potencial que representa la canola tanto para los agricultores como para los industriales y fabricantes de alimentos balanceados, en años recientes el Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CONASIPRO) ha impulsado las siembras comerciales de canola, bajo condiciones de temporal y riego, en estados como: Sonora, Tamaulipas, Jalisco, Tlaxcala y Puebla, con rendimientos que han fluctuado de 0.5 a 3.5 ton/ha. Entre 2004 y 2005 se establecieron alrededor de 8,000 hectáreas en Tamaulipas, Sonora, Tlaxcala, Estado de México y Puebla con una producción de 12,000 toneladas aproximadamente. La superficie sembrada con canola el año 2006 fue de 4,359 ha, de las cuales 1,290 ha en el ciclo O-I en los estados de Sonora (100 ha), Tamaulipas (1,000 ha) y Michoacán (180 ha); y 3,069 ha en el ciclo P-V en los estados de Tlaxcala (1,179 ha), Hidalgo (780 ha), México (930 ha), Puebla (130 ha) y Michoacán (50 ha).

Entre 1997 y 1998 iniciaron los trabajos de investigación, validación y transferencia de tecnología del cultivo de canola en México, con el objeto de generar y transferir tecnología de producción a los agricultores, como una alternativa de cultivo rentable. A partir del 2001 estos trabajos se enmarcaron en el Proyecto Nacional de Canola financiado por la Industria Aceitera, con el objetivo de generar tecnología para producir este cultivo en diferentes regiones del país. Como resultado de los estudios de los últimos años sobre la adaptación de variedades, las más sobresalientes han sido Hyola 401, Hyola 61 y SP Armada.

Los principales factores que han limitado la expansión del cultivo de canola en México han sido, la baja disponibilidad de semillas de variedades extranjeras y la falta de variedades de canola mexicanas, por lo que el Programa de Mejoramiento Genético, que inició en el 2005, tiene por objetivo el desarrollo de variedades mexicanas adaptadas a las condiciones agroecológicas del país, con alto rendimiento, estabilidad y con la calidad que demanda La Industria Aceitera Nacional (Garduño, 2008).

En un estudio de potencial productivo de canola en México bajo condiciones de temporal para el ciclo de primavera verano se encontró que hay 8.5 millones de hectáreas donde puede sembrarse el cultivo de canola. Los estados con mayor superficie son: Zacatecas, Chihuahua, México, Puebla, Durango, Guanajuato, Michoacán, Hidalgo y San Luis Potosí, que en conjunto representan el 80% del área potencial de canola. Se ubicaron geográficamente 419,387 ha de excelente potencial climático, edáfico y topográfico, para producir canola en México en el ciclo agrícola primavera-verano. Sobresalen por su superficie los estados de: México, Michoacán, Puebla, Durango y Guanajuato, que en su conjunto representan el 72% del área total (Ortegón y col., 1999).

2.3.1.5 Otros

2.3.1.5.1 Soya

Otra planta oleaginosa de distribución importante es la soja, que produce 467 litros de aceite vegetal/hectárea aproximadamente (Romero y Miralles, 2002).

El nombre botánico de la soja es *Glycine Max, L.* que proviene de las regiones subtropicales de Asia (Anónimo, 1987). Es una planta de ciclo corto, alcanzando generalmente una altura entre 30-150 cm, pertenece a la familia *Leguminosae*, subfamilia *papilionoideae*, tribu *phaseolea*, genero *Glycine* (Cubero y Moreno, 1984). La calidad del grano depende del tipo de suelo, siendo los terrenos preferidos para el cultivo los calcáreos y secos (Sainz, 1974).

La semilla de soja se produce en vainas de 4 a 6 cm de longitud, y cada vaina contiene de 2 a 3 granos de soja. Su familia es dicotiledónea, la cobertura de la semilla mantiene a los dos cotiledones juntos.

Los frijoles de soja maduros son de forma casi esférica y varían considerablemente en tamaño, dependiendo de las condiciones de cultivo y crecimiento. El peso del grano va de 14 a 24 gramos en variedades comerciales. El grano varía en forma desde esférico hasta ligeramente ovalado y entre los colores más comunes se encuentran el amarillo, negro y varias tonalidades de café (Hernández y Sánchez, 2006).

La planta es muy sensible a la luz y a la radiación solar controla la transformación del periodo vegetativo al de la floración y también afecta la velocidad de crecimiento durante la etapa de maduración, la soja se puede cosechar en diferentes ciclos agrícolas y puede formar parte de la

rotación de cultivos, ya que promueve la fijación de nitrógeno a través de la formación de nódulos que fertilizan la tierra.

La soya se desarrolla óptimamente en las regiones cálidas y tropicales, el frijol de soya se adapta a una gran variedad de latitudes que van desde 0 a 38 grados y los mayores rendimientos en la cosecha se obtienen a menos de 1,000 metros de altura sobre el nivel del mar. La planta se cosecha aproximadamente 120 días después de la siembra.

Morfológicamente, el grano de soya consta de tres partes principales: La cobertura del grano también conocida como testa o cáscara, los cotiledones y el germen. La testa del grano forma la mayor parte externa de él mismo, contiene un área fácilmente identificable conocida como hilium que tiene un color distinto al resto de la cobertura del grano. Algunas variedades tienen un hilium de color negro, otros grises o de color café. El grano de soya comercial está constituido principalmente por un 8% de cáscara, 90% cotiledón y 2% germen.

El grano de soya está constituido en 30% de carbohidratos solubles e insolubles, 14% de agua, 18% de lípidos y 38% de proteínas (ASA, 2005a).

El contenido de humedad en el momento de la cosecha es un factor importante y tiene influencia en las características de manejo y mantenimiento de la calidad de los frijoles. Si los frijoles están demasiado mojados durante la cosecha, serán sometidos al quebrado durante ésta, lo que ocasionaría un deterioro en la calidad del aceite contenido en el grano. La oxidación de la grasa se acelera ante un elevado contenido de humedad, el cual idealmente debe ser de aproximadamente 13% durante la cosecha (ASA, 2005b).

La soya es líder a nivel mundial en la obtención de aceite comestible, en general, el contenido de aceite en la soya es del 20% en base seca. Los valores actuales pueden variar dentro de límites estrechos debido al cultivo y al medio ambiente. Aproximadamente el 96% del aceite crudo de soya está compuesto de triglicéridos (Wilmont, 2004). Más del 80% de los ácidos grasos del aceite son insaturados, siendo el ácido oleico y linoleico los predominantes. En adición, la soya también contiene del 7 al 9% de ácido linoleico triinsaturado, el cual es susceptible a la oxidación y el deterioro (ASA, 2005a).

Las propiedades del aceite de soya son muy cercanas a las del diésel. Su densidad es de 0.884 kg/L a 21 °C. Su número de cetano varía entre los 51-58 y su poder calorífico es de 35 MJ/kg. Su número de cetano de sus metil ésteres va de 46-67 y su poder calorífico es de 32 MJ/kg, mientras que el número de cetano para el diésel es de 48-50 y su poder calorífico de 38.3 MJ/kg. El punto de ignición del éster es más alto que el del diésel (Shahid y Jamal, 2008).

Engelman y col. (1978), uso una mezcla de aceite de soya y diésel en un motor diésel con una relación de 10-50 %. Probaron el motor durante 50 h y encontraron que los depósitos de carbón en la caja de combustión fueron muy pocos, concluyendo que este aceite podría ser utilizado en bajas concentraciones.

Shahid y Jamal (2008) mencionan el análisis de la comparación en el rendimiento de un motor de inyección directa con uno de inyección indirecta alimentados con 30 % aceite de soya y 70 % diésel. Los resultados muestran que los motores con inyección indirecta, alimentados con dicha mezcla, pueden ser operados de manera satisfactoria. Los problemas se encontraron en los motores que trabajan con un sistema de inyección directa, los cuales terminaron con los anillos del pistón atascados.

Barsic y Humke (1981) usaron aceite crudo de soya en una mezcla 50:50 de aceite crudo y diésel, y también esa misma mezcla pero con el aceite desgomado en un motor de inyección directa por un tiempo corto de 25 h. Sus resultados publicados indicaban que el rendimiento del motor y las emisiones, con respecto al diésel, indicaron baja eficiencia térmica, bajas emisiones de NOx y mayores emisiones de CO, hidrocarburos y partículas.

Braun y Stephenson (1982) en la Universidad Estatal de Pensilvania, llevaron a cabo pequeñas pruebas con mezclas de aceite de soya desgomado, etanol y diésel en las proporciones 40:20:40 y 40:30:30 respectivamente. Ellos probaron el motor por 25 h para cada mezcla. Después de las pruebas resultó que no había irregularidades en el diseño del inyector. Encontraron al motor libre de emisiones de SOx y bajas emisiones de NOx y CO.

2.3.1.5.2 Girasol

La semilla de girasol (*Helianths annus*) es nativa de Norteamérica. Las semillas tienen un alto contenido de aceite, su composición de ácidos grasos depende de las condiciones de desarrollo, aún cuando su síntesis puede ser controlada a nivel genético (Ibarra, 2008).

La viscosidad del aceite crudo de girasol es muy alta, cerca de 15 veces más que la del diésel. Sin embargo, después de la transesterificación su valor llega a ser muy cercano al del diésel. La viscosidad de los metilésteres procesados utilizando metanol es de 3.2 cSt, mientras que la del diésel es de 2.8 cSt. La densidad de los metilésteres es solo 4.5% más alta que la del diésel (Shahid y Jamal, 2008).

Engler y col. (1983) estudiaron el rendimiento de un motor utilizando aceite de girasol y algodón como sustitutos del diésel. Reportaron que el rendimiento del motor fue muy pobre utilizando esos aceites en vez del diésel. Sin embargo, el rendimiento es un poco mejor cuando se usan estos mismos aceites pero refinados y desgomados. Se encontraron problemas por depósitos de carbono y contaminación del aceite lubricante, indicando que estos aceites son recomendables para su uso por periodos cortos de tiempo.

Yarbrough y col. (1981) hicieron experimentos utilizando aceite de girasol como combustible en lugar de diésel. En sus resultados publicaron que el aceite crudo de girasol no era apropiado, y que solo se podía utilizar si éste era desgomado y des encerado, aún si el aceite había sido mezclado con diésel, para prevenir esos problemas.

Para la industria de biocombustibles, en su reporte titulado “Sunflower Biodiésel”, el aceite de girasol puede ser un combustible muy amigable con el ambiente, pues reduce significativamente las emisiones exhaustivamente dañinas. Hay una reducción de 12.6 % CO₂, 11 % HC, 18 % partículas y 15 % tóxicos hacia el aire emitidos por industrias de biocombustibles (Shahid y Jamal, 2008).

2.3.1.5.3 Palma

La palma de aceite (o palma africana) cuyo nombre científico es *Elaeis guineensis* Jaq., forma parte del grupo de cultivos que han sido impulsados durante el proceso de diversificación de la estructura productiva en Chiapas. Su contenido de aceite es de aproximadamente el 21 % del contenido total de la semilla (SAGARPA, 2003).

El aceite de palma es muy frecuentemente utilizado en Malasia en mezcla B5 como combustible. El índice de yodo del aceite es ligeramente mayor que el del diésel puro. Su viscosidad va de 3.5-5 cSt y la gravedad específica de 0.86 a 0.9, lo cual es aceptable. Sin embargo, trabaja muy favorablemente cuando se utiliza mezclado con diésel. Como es el caso de muchos otros aceites vegetales, su punto de inflamación es también más alto que el del diésel (110 °C). El número de cetano va de 53 a 59 (aceite vegetal residual) (Calais y Clark, 2008).

Spaun y col. (1996) reportaron unos estudios hechos en Malasia utilizando aceite de palma como sustituto del combustible diésel con alentadores resultados. Las pruebas de rendimiento indicaron que la potencia suministrada se parece mucho a la que se obtiene cuando se utiliza una mezcla aceite de palma-diésel o utilizando solo diésel al 100 %. Pruebas cortas utilizando aceite de palma como combustible no mostraron signos de adversidades en el motor, pero sí incremento en los depósitos de carbón o contaminación del aceite lubricante.

2.3.1.5.4 *Cynara Cardunculus*

Es una planta perenne, en su primer año produce una roseta de grandes hojas con hasta un metro de longitud y 0.6 m de ancho que están profundamente divididas, son pinnadas y subespinosas con el envés blanquecino y nervaduras muy pronunciadas (Fig. 2.7). En el segundo año del centro de la roseta sale un largo tallo acanalado de hasta 150 cm de altura que ramifica en su parte superior. Sus capítulos florales son los que producen las alcachofas y tienen grandes flores de color violeta, tubulares, plumosas y sésiles que están envueltas en brácteas ovales, carnosas en la base y puntiagudas. El fruto es un aquenio de color pardo oscuro, con un penacho de consistencia sedosa.

Se consumen sus pencas y tallos, para lo cual se les blanquea tapándolos durante su crecimiento. Estos se preparan generalmente cocidos. Es muy invasora, y es importante maleza en las pampas áridas de Argentina, en California y Australia; debido a su adaptación a climas secos (Dr. Serra, 2006).

Contiene cinarina que químicamente es el ácido 1-3 discafeilquínico y que suele ir acompañado por los ácidos caféico, clorogénico y neoclorogénico. Contiene el principio amargo cinaropicrina que es una lactona sesquiterpénica que se concentra en las hojas verdes antes de su floración. Contiene flavonoides derivados de la luteolina, como el cinarósido, el escolimósido y el cinaratriósido que son los que ennegrecen las hojas.



Fig. 2.7 Flor de la *Cynara Cardunculus* (SAGARPA, 2003).

Se llevó a cabo un estudio de producción de biodiésel, en donde para el proceso de transesterificación se mezclaron en cantidades molares aceite de *Cynara* con etanol en proporciones entre 3:1 y 15:1. Los resultados mostraron que las mejores proporciones de mezcla están entre 9:1 y 12:1 pues se obtiene un buen rendimiento en los ésteres obtenidos. En cambio, para proporciones por debajo de 6:1, la reacción se muestra incompleta, en tanto que para la proporción 15:1 la separación de la glicerina se dificulta y el rendimiento de los ésteres decrece por los remanentes de glicerol en la fase biodiésel. Por lo tanto, se concluyó que la mejor relación es la de 9:1 con un alto rendimiento y sin tantas complicaciones en el procesamiento (Serra, 2006).

2.4 CALIDAD DEL BIODIÉSEL

Los aceites o grasas que se utilizan para la obtención del biodiésel, no se pueden utilizar directamente en un motor diésel convencional, pues sus propiedades impiden el correcto funcionamiento del motor; afectando su rendimiento y sus características físico-mecánicas.

Así pues, para evitar estos sucesos existen tres procesos que permiten producir combustibles que se aproximen a las características y la calidad del diésel de petróleo. Estos son la pirólisis, microemulsión y transesterificación.

2.4.1 Pirólisis

El proceso pirólisis, estrictamente definido, es la conversión de una sustancia en otra por medio de calor o por medio de calor con ayuda de un catalizador (Sonntag, 1979). Involucra

calentamiento en ausencia de aire u oxígeno (Sonntag, 1979) y el rompimiento de las cadenas químicas para ceder el paso a moléculas más pequeñas (Weisz y col., 1979).

Se llevó a cabo el proceso de pirólisis con aceite de colza para producir una mezcla de metil ésteres en un reactor tubular entre los 500 y 850 °C y con adición de nitrógeno (Billaud y col., 1995).

La conversión de los metilésteres aumentó con el incremento en la temperatura de la pirólisis. Para ilustrar la distribución de los productos crakeados como función de la temperatura de pirólisis, la selectividad de los productos (hidrocarburos, CO₂, CO y H₂) obtenidos entre los 550 y 850 °C con un tiempo de residencia constante de 320 min., y una relación de dilución constante de 3 moles de nitrógeno por mol de materia prima. Los principales productos fueron olefinas lineales, n-parafinas y metilésteres insaturados. Altas temperaturas dan altos rendimientos de hidrocarburos ligeros (relación molar de 66 % a 850 °C).

El equipo utilizado para el crakeo térmico y la pirólisis es caro, adicionando que los productos químicos son similares a los combustibles derivados del petróleo (gasolina y diésel), el oxígeno removido durante el proceso térmico también remueve cualquier beneficio obtenido de algún combustible bien oxigenado. Algunas veces produce más gasolina que diésel (Fangrui y Milford, 1999).

2.4.2 Microemulsión

Para resolver los problemas de la alta viscosidad que presentan los aceites vegetales, han sido estudiadas las microemulsiones con solventes como el metanol, etanol y 1-butanol. Una micro emulsión es definida como una dispersión en equilibrio coloidal de un fluido de micro estructuras ópticamente isotrópicas con dimensiones generalmente en el rango de 1-150 nm formado espontáneamente a partir, normalmente, de dos líquidos inmiscibles y uno ó más anfífilos iónicos o no iónicos (Schwab y col., 1987). Ellos pueden mejorar las características de rocío por los bajos emergentes constituyentes en las micelas (Pryde, 1984). El rendimiento a corto plazo de ambas micro emulsiones (iónica y no iónica) de etanol en solución acuosa en aceite de soya fue cercano al del diésel a pesar del bajo número de cetano y contenido energético (Goering y col., 1982).

2.4.3 Transesterificación

La transesterificación (también conocida como alcoholisis) es la reacción de una grasa o un aceite con un alcohol para formar ésteres y glicerol. Se utiliza usualmente un catalizador para mejorar el grado y rendimiento de la reacción. Debido a que la reacción es reversible se utiliza un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia los productos. Además la formación de glicerina inmiscible con los ésteres formados, permite su separación de la fase reaccionante desplazando así el equilibrio hacia la formación de ésteres y glicerol (Sprules y Price, 1950).

El proceso de transesterificación requiere de tres moles de alcohol por mol de triglicérido (Fig. 2.8), pero Freedman y col. (1984) optimizó la reacción de transesterificación para condiciones de máxima conversión de ésteres grasos. Se encontró que la proporción molar con 4:1 y 6:1 daba

una conversión de aceite de girasol y de soya del 90-97% respectivamente, comparado con el 81% con una proporción de 3:1. En la Tabla 2.11 muestra el número de carbonos, dobles enlaces, estructura química y los puntos de fusión y ebullición de algunos ácidos grasos que se pueden encontrar en los aceites y grasas utilizados para la fabricación de biodiésel.

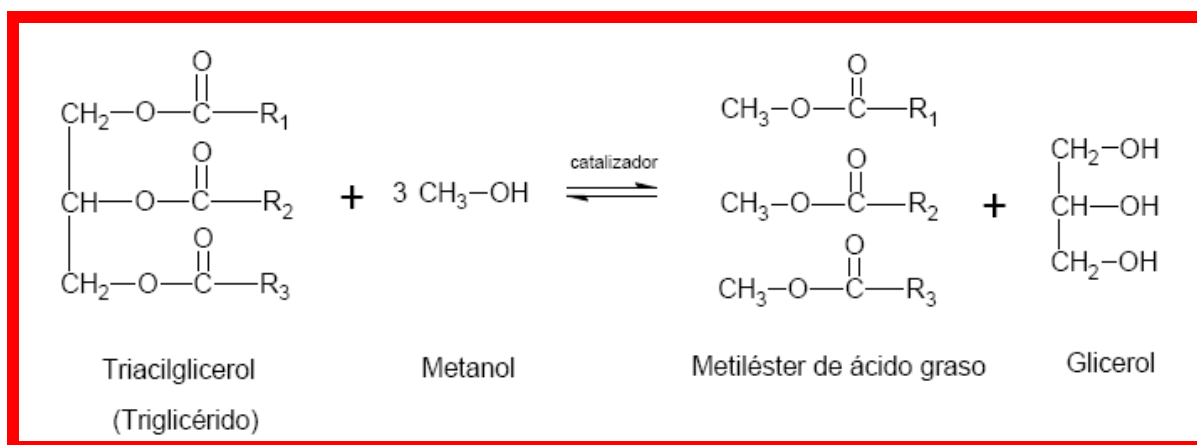


Fig. 2.8. Muestra la reacción de transesterificación de un triglicérido. R1, R2 y R3 pueden ser cualquier ácido graso (Sprules y Price, 1950).

Los alcoholes son alifáticos monohídricos primarios y secundarios que tienen de 1 a 8 átomos de carbono (Sprules y Price, 1950).

Entre los alcoholes que pueden ser utilizados en el proceso de transesterificación están el metanol, el etanol, propanol y el butanol. Se utilizan más frecuentemente el metanol y el etanol, y en especial el metanol por sus bajos costos y sus ventajas físicas y químicas (alcohol de cadena corta y polar). Reacciona rápidamente con los triglicéridos, además el NaOH se disuelve fácilmente en él. Para completar la transesterificación estequiométricamente se necesita una relación molar de 3:1 alcohol-triglicérido (Singh, 2010).

Los aceites vegetales, animales y las grasas animales son extraídos o prensados, para obtener el aceite crudo o la grasa. Estos usualmente contienen ácidos grasos libres, fosfolípidos, esteroides, agua, odorantes y otras impurezas. Incluso los aceites y las grasas refinados contienen pequeñas cantidades de ácidos grasos libres y agua. El contenido de estos últimos tiene efectos significativos sobre la transesterificación de los glicéridos con el alcohol, si se utilizan catalizadores alcalinos o ácidos. Así como también interfieren en la separación de los ésteres y el glicerol.

A partir de un experimento realizado por Johanes y Shizuko (2008), se demostró que reduciendo la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite (en este caso se utilizó aceite crudo de *Jatropha Curcas*) el rendimiento de los metilésteres obtenidos se incrementa considerablemente. La Tabla 2.12 muestra la pérdida de masa cuando se reducen los ácidos grasos libres en un aceite. Esta reducción se realiza a través de una reacción de esterificación que consiste de dos etapas: en la primera se utiliza ácido sulfúrico como catalizador y en la segunda hidróxido de sodio.

Tabla 2.11 Algunas características de los ácidos grasos utilizados para la producción de biodiésel (Gerpen y col., 2004).

Ácido graso	No. de carbonos y dobles enlaces	Estructura química	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)
Caprílico	C8	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	16.5	239
Cáprico	C10	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	31.3	269
Laurico	C12	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	43.6	304
Mirístico	C14	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	58.0	332
Palmítico	C16	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	62.9	349
Palmitoléico	C16:1	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	33.0	--
Estearico	C18	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	69.9	371
Oleico	C18:1	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	16.3	--
Linoleico	C18:2	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	-5.0	--
Linolénico	C18:3	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	-11.0	--
Eicosenóico	C20:1	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	23.0	--
Eurico	C22:1	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₁₁ COOH	34.0	--

Los catalizadores utilizados para la transesterificación de triglicéridos, son clasificados como álcalis, ácidos, enzimas o catalizadores heterogéneos. La Tabla 2.13 muestra algunos tipos de catalizadores que pueden ser utilizados. Entre los cuales son más efectivos los catalizadores álcalis como el hidróxido de sodio, metóxido de sodio, hidróxido de potasio y metóxido de potasio. Si el aceite tiene un alto contenido de ácidos grasos libres y agua es más apropiado utilizar un catalizador ácido; que puede ser ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido hidroclicórico o ácido orgánico sulfónico (Sridharan y Mathai, 1974).

Tabla 2.12 Comparación entre ácidos grasos antes y después del experimento (Johanes y Shizuko, 2008).

Ácido Graso	% Peso antes del experimento	% Peso después del experimento
Mirístico	0-0.1	0
Palmítico	14.1-15.3	2.4
Linoleico	29.0-44.2	6.9
Oleico	34.3-45.8	5.4
Estearico	3.7-9.88	0.2

Los catalizadores enzimáticos como lipasas son capaces de catalizar efectivamente la transesterificación de los triglicéridos en los sistemas tanto acuosos como no acuosos, superando cualquier problema que puede suscitarse si se utiliza algún catalizador de los arriba mencionados. En particular, hace que sea más fácil la remoción del glicerol producido sin utilizar procesos complicados, en general el único problema es que son mucho más costosos que los catalizadores álcalis (más utilizados actualmente) (Fuduka y col., 2001).

La efectividad del catalizador está determinada por la proporción molar del reactante (alcohol) y de la presencia de agua y ácidos grasos libres. Así, proporciones molares altas (6:1) favorece el

uso de hidróxido de sodio (NaOH) sobre el metóxido de sodio (NaOCH₃), mientras que en las relaciones molares pequeñas (3:1) favorece el uso del NaOCH₃, sin embargo el NaOH es más barato y por lo tanto preferible (Ibarra, 2008).

Tabla 2.13 Catalizadores estudiados en el laboratorio (IDAE, 2005).

HOMOGÉNEOS
Fuertemente básicos: NaOH, KOH, NaCH₃O, KCH₃O
Fuertemente ácidos: H₂SO₄
HETEROGÉNEOS
Resinas de intercambio aniónico: Amberlyst A26 y Amberlyst A27 (Sigma-Aldrich, España).
Resinas de intercambio catiónico: Amberlyst 15 y Amberlyst XN-1010 (Sigma-Aldrich, España).
Óxidos metálicos: MgO y CaO.
Zeolitas: USY-292 (ITQ-UPV, España).
Ácidos de Lewis: SnCl.
Catalizadores de Titanio: TILCOM STC (Engelhard De Meer B.V., Holanda).
Catalizadores de Zirconio: MELCat XZO682/01 y MELCat XZO645/01, (Melchemicals, GB).
ENZIMÁTICOS
Lipasas inmovilizadas: Novozym 435, Lipozyme IM (Novo Nordisk, Dinamarca).

Para aceites vírgenes, el uso del NaOH como catalizador es óptimo, sin embargo para procesos donde el aceite es usado, hace que el proceso sea costoso debido a que hay que darle un pretratamiento a la grasa (Zhang, 2003).

El proceso de producción de biodiésel con ácido sulfúrico (H₂SO₄) como catalizador es una opción que se utiliza cuando se requiere de un solo paso en el proceso, pues con el NaOH se suscitan dos pasos; uno de pretratamiento y el otro de transesterificación. El uso de H₂SO₄ disminuye en gran medida el costo de producción de biodiésel a partir de aceites vegetales usados pues elimina el uso de un pretratamiento del aceite.

2.5 LAS MEZCLAS Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MOTOR

Engelman y col. (1978) reportaron que el combustible diésel proveniente del aceite de soya en proporción de 10-50 %, mezclado con diésel minimiza los depósitos de carbón en la cámara de combustión. Quick (1980) se basó en 30 diferentes aceites vegetales para operar un motor de compresión y reportaron que el uso de combustibles de aceite vegetal crudo puede llevar a tener fallas prematuras en el motor. Se encontró que los aceites mezclados con diésel es un método para reducir el atascamiento y alargar el tiempo de vida del motor. Sims y col. (1981) indicaron que pruebas cortas en motores con una mezcla B50 no tuvo efectos adversos sobre el motor. Se

encontró que los depósitos de carbono sobre los componentes de la cámara de combustión son muy similares a los que se obtienen con el uso de diésel al 100 %.

Singh (2010) menciona el uso de diferentes aceites, tales como aceite de cacahuete, algodón, girasol y soya, en mezclas con diésel que están siendo probadas. German y col. (1985) reportaron que los depósitos de carbón sobre los componentes internos del motor fueron más altos para el tractor cuando se alimentó con la mezcla B50 (aceite de girasol) que con la B25 (aceite de girasol). Spaun y col. (1996), reportaron que la potencia estimada cuando se utiliza aceite de palma B100 o mezclado con diésel, es muy similar a la obtenida cuando se maneja el diésel al 100 %. Además se observó que utilizando el aceite de palma por periodos cortos de tiempo, no se observan adversidades en el motor. Hofman y col. (1981) igual que Peterson y col. (1981) indicaron que mientras las mezclas con aceite vegetal tuvieron alentadores resultados en pruebas cortas, cuando se utilizan en pruebas de durabilidad en periodos largos ocurren problemas. Pestes y Stanislao (1984) utilizaron gradualmente, mezclas de aceite vegetal con diésel para estudiar la cantidad de depósitos sobre los anillos del pistón que provocaba el porcentaje de aceite mezclado. Se observó que los anillos se atascaron por los depósitos de carbón que se formaron cuando la cantidad de aceite vegetal iba aumentando en la mezcla, así que ellos recomendaron la adición de un aditivo a la mezcla, o ésta última pero con un bajo porcentaje de aceite vegetal.

McDonnell y col. (2000) estudiaron el comportamiento de un aceite de colza semirrefinado como combustible, y los resultados indicaron que el aceite de colza alarga la vida del motor, mezclado en un 25% con combustible diésel. Y como resultado del uso de aceite de colza sin diésel como combustible, la vida del motor se vio reducida por los depósitos de carbón.

2.6 OBTENCIÓN A ESCALA LABORATORIO

Se expone un ejemplo para la obtención de biodiésel llevado a cabo (Ibarra, 2008) el cual, muestra los métodos ácido-base (H_2SO_4 -NaOH) y base-base (NaOH-NaOH) utilizando el proceso de transesterificación como método de refinación.

Reactivos:

- 1) Aceite vegetal usado (AVU)
- 2) Aceite virgen (misma marca)
- 3) Hidróxido de sodio en perlas o lentejas de 95% de pureza
- 4) Ácido sulfúrico con pureza del 98%
- 5) Agua (directa de la toma pública)
- 6) Metanol con 99.8% de pureza

Método base-base

Procedimiento:

- 1- Filtrar el aceite al vacío.
- 2- Calentar para eliminar agua. Se calientan 100 mL de aceite hasta 50 °C, si comienza a haber formación de burbujas, se calienta hasta 100 °C por 15 ó 20 minutos con agitación continua dejar reposar mínimo por 24 horas para su uso.
- 3- Catalizador básico. Por cada litro de aceite vegetal usado agregar 6.25 g de catalizador básico, en este caso NaOH.

Cálculos:

$$m_{\text{NaOH}} = 100 \text{ mL AVU} (6.25 \text{ g NaOH}/1000 \text{ mL AVU}) = 0.625 \text{ g NaOH}$$

- 4- Preparación del metóxido de sodio.
 - a) Mezclar la masa de NaOH y el metanol hasta dilución del NaOH.
 - b) La cantidad de metanol a utilizar normalmente está entre el 30 y el 60% en volumen de la cantidad de aceite a convertir. Para este caso serán 50 mL.
- 5- Calentar y mezclar (ETAPA I). Calentar el aceite a una temperatura de entre 40 y 50 °C, agitando constantemente. Se vierten $\frac{3}{4}$ del metóxido de sodio en el aceite y se agita por 60 minutos, manteniendo la temperatura.
- 6- Reposo y separación. Dejar reposar y enfriar en un embudo de separación por lo menos por 8 horas (aunque se prefiere que sean 24 horas). Retirar la glicerina formada (sustancia al fondo color marrón) y cuantificarla.
- 7- Agregar metóxido (ETAPA II). Calentar el biodiésel de la Etapa I hasta 40-50 °C. Agregar el metóxido que quedó de la Etapa I sin utilizar, y agitar por 60 minutos manteniendo la temperatura. Dejar que repose por 12 horas en embudo de separación.
- 8- Separación de glicerina. Agregar 50 mL de glicerina hasta disolver completamente la solución de biodiésel-glicerina (masa gelatinosa). Colocar en un embudo de separación y dejar reposar por 24 horas para su posterior cuantificación. Separar la glicerina del biodiésel y medir los volúmenes correspondientes. La cuantificación de la glicerina se llevará a cabo por la diferencia de la glicerina marrón agregada y la glicerina cuantificada después de emulsificar la solución.
- 9- Lavado y secado del biodiésel. Determinar el pH del biodiésel. Medir el volumen de biodiésel a lavar. Poner 50 mL de agua en un embudo de separación. Agregar el biodiésel al agua y dejar reposar por 12 horas. Separar el agua (fase inferior) y repetir el proceso de lavado tantas veces como sea necesario (excepto la medición del pH y del volumen de biodiésel).
- 10- Reposo del biodiésel. Dejar reposar el biodiésel por 3 semanas antes de su uso y determinar el pH (Fig. 2.9).

Método ácido-base

Procedimiento:

- 1- Filtrar el aceite al vacío (ETAPA I).

- 2- Calentar para eliminar agua. Se calientan 100 mL de aceite hasta 50 °C, si comienza a haber formación de burbujas, se calienta hasta 100 °C por 15 ó 20 minutos con agitación continua dejar reposar mínimo por 24 horas para su uso.
- 3- Cantidad de metanol. Normalmente 20 a 40 % en volumen de la cantidad de aceite a convertir. Para este caso serán 20 mL. Agregar el metanol al aceite caliente y batir por 5 minutos a que se forme una emulsión.
- 4- Catalizador ácido. La cantidad de catalizador a usar serán 2 mL.
- 5- Calentar y mezclar (ETAPA I). Calentar el aceite a una temperatura de entre 40 y 50 °C, agitando constantemente. Se vierten $\frac{3}{4}$ del metóxido de sodio en el aceite y se agita por 60 minutos, manteniendo la temperatura.
- 6- Reposo y separación. Dejar reposar y enfriar en un embudo de separación por lo menos por 8 horas (aunque se prefiere que sean 24 horas). Retirar la glicerina formada (sustancia al fondo color marrón) y cuantificarla.
- 7- Preparación del metóxido de sodio. Medir 20 mL de metanol y 1.625 g de NaOH. Verter el NaOH en el metanol y mezclar hasta disolver completamente.
- 8- Agregar metóxido de sodio (ETAPA II). Después de 24 horas de reposo agregar la mitad del metóxido a la mezcla y agitar por 10 minutos. Calentar la mezcla a 50 °C. Añadir el resto del metóxido de sodio y agitar por 60 minutos. Dejar que repose por 12 horas en embudo de separación.
- 9- Separación de glicerina. Agregar 50 mL de glicerina hasta disolver completamente la solución de biodiésel-glicerina (masa gelatinosa). Colocar en un embudo de separación y dejar reposar por 24 horas para su posterior cuantificación. Separar la glicerina del biodiésel y medir los volúmenes correspondientes. La cuantificación de la glicerina se llevará a cabo por la diferencia de la glicerina marrón agregada y la glicerina cuantificada después de emulsificar la solución.
- 10- Lavado y secado del biodiésel. Determinar el pH del biodiésel. Medir el volumen de biodiésel a lavar. Poner 50 mL de agua en un embudo de separación. Agregar el biodiésel al agua y dejar reposar por 12 horas. Separar el agua (fase inferior) y repetir el proceso de lavado tantas veces como sea necesario (excepto la medición del pH y del volumen de biodiésel).
- 11- Reposo del biodiésel. Dejar reposar el biodiésel por 3 semanas antes de su uso y determinar el pH (Fig. 2.9).

2.7 OBTENCIÓN: PLANTA PILOTO

El combustible diésel juega un importante papel dentro de la economía industrial de un país. Este combustible cubre la mayor parte del sector transporte y su demanda está aumentando constantemente, requiriendo de un combustible alternativo el cual sea técnicamente factible, económicamente competitivo, ambientalmente aceptable y con alta disponibilidad (Berj, 2002).

Brassica carinata, una planta nativa de las islas etíopes ampliamente utilizada como comida, es utilizada ahora como materia prima para la elaboración de biodiésel. Su rendimiento agronómico y su balance energético confirma que es un mejor cultivo que la *Brassica napus*, pues es más

productiva en condiciones adversas y bajo sistemas de siembra no muy complicados (Cardone y col., 2003).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el proceso de producción de biodiésel en una planta a escala piloto utilizando *Brassica carinata* como materia prima junto con metanol e hidróxido de potasio como catalizador.



Fig. 2.9 Biodiésel obtenido después del proceso de transesterificación (SENER, 2006).

2.7.1 Materiales

Para producir biodiésel por transesterificación a partir de una catálisis básica el aceite fue suministrado por Koipe España. El contenido de ácidos grasos libres fue determinado de acuerdo a la AOCS Official Method CA 5^a 40. Las propiedades fisicoquímicas del aceite se reportan en la Tabla 2.14 Aroca (Madrid, España) proporcionó el metanol certificado al 99.8 % de pureza. El catalizador hidróxido de potasio (90-92 % de pureza) fue adquirido en Merck.

2.7.2 Método Analítico

2.7.2.1 Cromatografía de gases líquidos

Los productos de la reacción fueron monitoreados por Martínez y col. (1988) en un cromatógrafo de gases de columna capilar, utilizando un equipo Hewlett Packard 5890 Serie II, con un detector de ionización de llama (FID). El sistema de inyección fue Split/splitless. El gas portador fue Helio a una relación de flujo de 1 mL/min. La técnica del patrón interno ha sido usada en orden de cuantificación de la cantidad de las especies químicas.

2.7.2.2 Análisis convencional

El análisis convencional de la calidad del biodiésel: acidez, índice de yodo, contenido de agua, densidad y viscosidad; fue llevado a cabo usando los métodos desarrollados por la Universidad Complutense y los resultados fueron comparados con los de las normas de estándares europeos (The European Union Draft Standard prEN 14214).

2.7.2.3 Resultados y discusión

De acuerdo a los estudios llevados a cabo por Martínez y col. (1988), se obtuvo que el rendimiento máximo de los ésteres que puede obtenerse es del 98 %, trabajando con una concentración inicial de catalizador del 1.5 %, una temperatura de operación de 25 °C y con una relación molar alcohol/aceite de 6:1. Este modelo es muy utilizado para determinar las condiciones de operación óptimas para los procesos industriales, utilizando el mínimo número de experimentos con el consecuente punto de vista del beneficio económico (Vicente, 2001). La metodología utilizada (Diseño factorial de experimentos, análisis estático y diseño del compuesto central) permite el desarrollo y la optimización de este proceso, llevando a obtener un modelo tecnológico simple y válido para la escala del proceso.

2.7.3 Proceso y equipo para la planta piloto

2.7.3.1 Producción del biodiésel y su caracterización

El biodiésel fue producido a partir de 100 L de aceite de *B. Carinata* en la planta piloto. Un esquema de la reacción principal se muestra en la Figura 2.10. El aceite es almacenado en un tanque de fondo cónico con capacidad de 1,000 kg a temperatura ambiente.

Para la reacción de transesterificación el aceite es transferido al tanque principal de reacción.

La reacción principal de transesterificación se llevó a cabo en un reactor de tanque de vidrio agitado (CSTR) de 200 L, con turbina para la agitación, bajo condiciones de temperatura y presión fijas. El reactor también fue equipado con deflectores (baffles) estacionarios ligados a lo largo de la superficie. Una celda pesada, montada sobre una pierna del tanque de reacción mide la cantidad de los reactantes.

Después de preparar la solución con el catalizador se adhiere al tanque de reacción. La velocidad del impulsor fue fijada a 0.02 Np.

Los reactantes son agitados durante 60 minutos y entonces la mezcla de reacción es transferida a un decantador de 400 L, para la separación de la glicerina y los metilésteres, permitiendo la separación del glicerol por gravedad en 2 horas. Se suministraron controles para la velocidad de agitación, presión y temperatura de reacción.

Tabla 2.14 Control de calidad para el aceite y biodiésel de *Brassica Carinata* (Abderrahim y col., 2005).

a) Aceite de <i>Brassica Carinata</i>		
Propiedades	Aceite	Método oficial AOCS
Viscosidad (40 °C)	55.07	ISO 3104
Densidad (15 °C)	0.879	Ca 10c 95
Contenido de agua (% peso)	0.07	Ca 2e 84
Acidez (mg KOH/g)	0.833	AOCS Ca 5a 40
Índice de yodo (mg I ₂ /g)	109.40	AOCS Cd Id 92
b) Biodiésel de <i>Brassica Carinata</i>		
Propiedades	Biodiésel	EU Draft Standard prEN 14214 2002
Viscosidad (40 °C)	4.88	Máximo 5.00 mm ² /s
Densidad (15 °C)	810	Máximo 900 kg/m ³
Contenido de agua (% peso)	300	Máximo 500 mg/kg
Rendimiento del biodiésel (% peso)	97.10	Mínimo 96.5 % (m/m)
Contenido de monoglicéridos (% peso)	0.80	Máximo 0.8 % (m/m)
Contenido de diglicéridos (% peso)	0	Máximo 0.2% (m/m)
Contenido de triglicéridos (% peso)	0	Máximo 0.2% (m/m)
Glicerol libre (% peso)	0.01	Máximo 0.02% (m/m)
Glicerol total (% peso)	0.12	Máximo 0.25 % (m/m)
Acidez (mg KOH/g)	0.06	Máximo 0.50 mg
Índice de yodo (mg I ₂ /g)	109.40	Máximo 120 mg

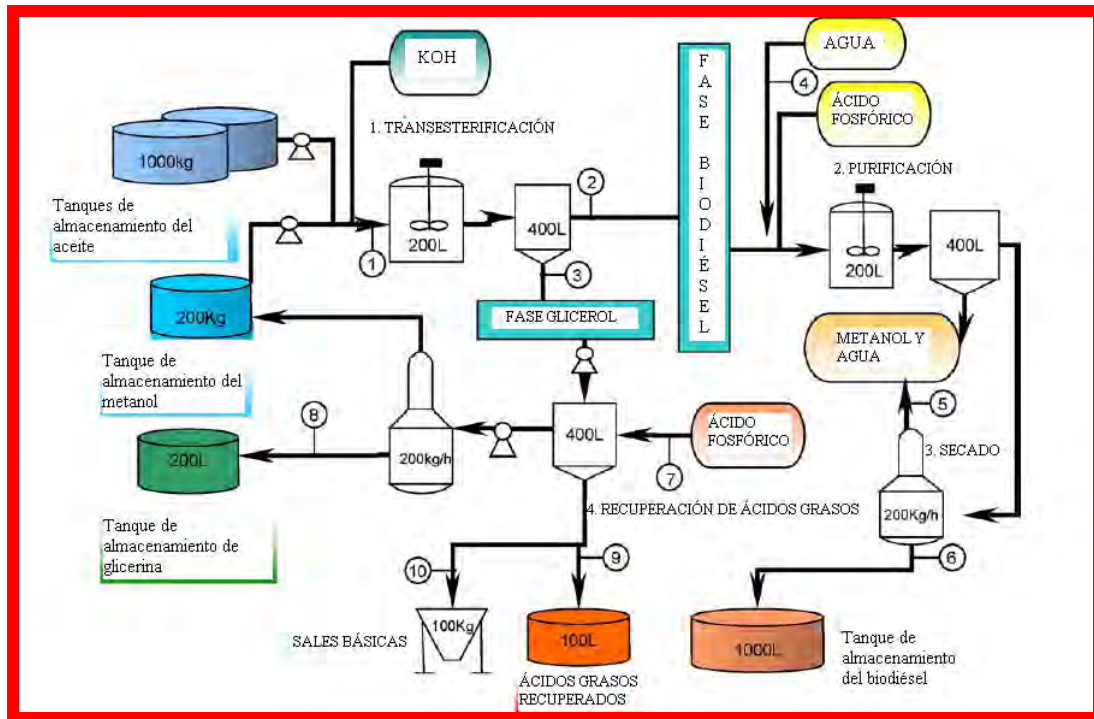


Fig. 2.10 Diagrama de flujo del proceso de transesterificación (Abderrahim y col., 2005).

2.7.3.2 Remoción del alcohol

Una vez que las fases glicerol y metilésteres han sido separadas, el exceso de alcohol en cada fase es removido por evaporación en un tanque flash, a 90 °C y 100 mmHg. El alcohol recuperado se recicla. Se debe tener cuidado con la acumulación de agua en la fase vapor del alcohol recuperado.

2.7.3.3 Purificación de la glicerina

El equipo para la purificación de la glicerina está incluido en la planta piloto. La glicerina contiene residuos de jabón y catalizador sin utilizar, los cuales se neutralizan con ácido (ácido fosfórico) y se envía a un tanque de almacenamiento. Los ácidos grasos formados fueron transferidos a un contenedor de almacenamiento y las sales básicas formadas en esta etapa son recuperadas y utilizadas como fertilizantes.

2.7.3.4 Lavado de los metilésteres

Una vez separada la fase metilésteres de la glicerina, el biodiésel es purificado lavándolo poco a poco con dos volúmenes de agua para remover los restos de catalizador, glicerol, metanol y jabón, utilizando una centrífuga, secado y después se envía a un tanque de almacenamiento. El agua de lavado utilizada estaba a temperatura ambiente.

2.7.3.5 Pureza y rendimiento del biodiésel

Para evaluar la pureza del biodiésel, primero se calcula la concentración de metilésteres (% peso) en la fase biodiésel. Por el contrario para estimar el rendimiento del biodiésel después de la reacción y la separación de fases, se estima el rendimiento en peso del biodiésel con relación a la cantidad inicial de aceite vegetal.

La concentración de metilésteres fue cercana al 100 %. De acuerdo a estos resultados la reacción de transesterificación se completó. Sin embargo aún existen partes sin reaccionar que producen un descenso en el rendimiento del biodiésel con respecto a la cantidad inicial de aceite vegetal. En este sentido, pudieron haber ocurrido dos reacciones: la saponificación de los triglicéridos o la neutralización de los ácidos grasos libres contenidos en el aceite, ambas reacciones producen jabón de potasio y por lo tanto la disminución en el rendimiento de la reacción. La neutralización de los ácidos grasos libres no pudo ser sustancial ya que el grado de acidez del aceite de *Brassica Carinata* fue solo de 0.8 mg KOH/g. consecuentemente la saponificación de los triglicéridos debió ser entonces la reacción secundaria. Como se muestra en la Tabla 2.14, con un rendimiento de biodiésel de 97.03 % en peso obtenido utilizando hidróxido de potasio como catalizador. Esto debido a la presencia del grupo hidroxilo el cual da origen a la reacción de saponificación de los triglicéridos. Debido a su polaridad los jabones se disuelven dentro de la fase glicerol durante la etapa de separación después de la reacción. En adición, los jabones disueltos incrementan la

solubilidad de los metilésteres formados, en el glicerol. Lo cual envuelve una pérdida adicional en el rendimiento.

2.7.3.6 Balance de materia del proceso

En orden de cuantificación de pérdidas de rendimiento, el balance de materia del proceso fue determinado analizando las fases glicerol y metiléster obtenidas. El balance de materia es relativo a la cantidad molar de aceite vegetal, incluye el rendimiento molar del biodiésel y las pérdidas en el rendimiento debido a la reacción de saponificación de los triglicéridos y la disolución de algunos metilésteres en la fase glicerol. El balance de másico del proceso y los rendimientos molares del proceso obtenidos se presentan en la Tabla 2.15. La disolución de los metilésteres en el glicerol fue solo del 0.05 % después de la etapa de reacción.

2.7.3.7 Control de calidad del biodiésel

Algunos de los más importantes parámetros de calidad (contenido de monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos: Encadenados, niveles de glicerol libre y total, acidez e índice de yodo) se muestran en la Tabla 2.13. Estos parámetros obtenidos se compararon con algunas normas para el biodiésel como The European Union Draft Standard, prEN 14214.

El contenido de glicéridos individuales está dentro de las tres más importantes especificaciones que influyen en que la reacción de transesterificación sea completa o no.

Tabla 2.15 Balance de materia del proceso (Abderrahim y col., 2005).

Corrientes de proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rendimiento (%) ^a
Aceite B. C. (kg)	100										
Metanol (kg)	21.66	5.27	5.58		4.71	nd					
KOH (kg)	1.48		0.77		Trazas	Trazas					
Biodiésel (kg)		97.65	0.05		0.15	97.03		0.05			0.98
Glicerol (kg)			12.34					10.39			0.1
Ácidos grasos (kg)	0.56	0.1				0.05			0.425		0.76 ^b
Aceites (kg)		1.54				1.28					
Jabones (kg)		0.05	0.26		0.05						
Agua (kg)			0.05	38.91	38.91	Trazas	1.08	1.28			
Fosfatos (kg)										3.38	0.03
Ácido fosfórico (kg)							3.07				
Total	123.7	104.61	19.05	38.91	43.82	98.36	4.15	11.72	0.425		

nd: no detectado.

a: En referencia al aceite de *Brassica Carinata*.

b: En referencia a la cantidad de ácidos grasos libres en la materia prima.

El contenido de glicerol libre está por debajo de los límites, lo cual indica que los residuos fueron eliminados durante el tratamiento de purificación. Así mismo, la suma de glicerol libre con la cantidad de glicérido obtenido (glicerol total) se obtiene dentro de las especificaciones requeridas. El nivel de acidez del biodiésel es una medida del contenido de ácidos grasos libres, lo cual depende del aceite utilizado como materia prima y de la reacción de transesterificación. Y los resultados obtenidos están dentro de los estándares.

El índice de yodo es una medida del nivel de insaturación, por lo tanto este parámetro solo depende del aceite o grasa utilizado como materia prima; que en este caso fue aceite de *Brassica Carinata*, el cual se encontró con bajo índice de yodo en comparación con otros aceites crudos (por ejemplo el de girasol), con un bajo contenido de ácidos grasos insaturados.

2.7.3.8 Almacenamiento

La estabilidad del combustible durante su almacenamiento se refiere a la habilidad de éste para resistir los cambios químicos durante un largo periodo de almacenamiento. Estos cambios usualmente son por la oxidación que se lleva a cabo debido al contacto con el oxígeno del aire. La composición de los ácidos grasos del biodiésel es un aspecto importante en la determinación de su estabilidad hacia el aire. Generalmente, los ácidos grasos poliinsaturados (C18:2, ácido linoléico) son más susceptibles a la oxidación; estos cambios pueden ser acelerados por la presencia de ciertos metales (incluyendo el mismo material del tanque contenedor) y la luz. Si hay presencia de agua puede ocurrir una hidrólisis de las cadenas de ácidos grasos ocasionando el aumento en acidez. Los cambios químicos en el combustible asociados con la oxidación usualmente producen hidroperóxidos, produciendo cadenas cortas de ácidos grasos, aldehídos y cetonas. La oxidación usualmente se denota por el incremento en los niveles de acidez y viscosidad del combustible. Frecuentemente estos cambios van acompañados de su oscurecimiento (de amarillo a café) y del desprendimiento de un olor a “pintura” (Van, 2005).

Mittelbach and Gangl (2001) investigaron la estabilidad al almacenamiento de un biodiésel obtenido a partir de colza, midiendo el número de neutralización y de peróxido por un periodo largo de almacenamiento.

Bondioli y col. (2003) han presentado los resultados obtenidos a partir de un estudio del almacenamiento de once diferentes tipos de biodiésel. Estos tipos difieren en la materia prima y tecnologías utilizadas para su manufactura, así entonces se sabe que algunos contienen aditivos antioxidantes. Estos fueron monitoreados periódicamente durante todo el tiempo de almacenamiento, analizando 15 diferentes propiedades.

Algunos aditivos como el TBHQ (t-butilhidroquinona) que se utilizan comúnmente en la industria alimenticia también pueden ser utilizados para mantener la estabilidad del biodiésel. A cualquier combustible que vaya a ser almacenado por más de seis meses, se le debe agregar un aditivo antioxidante que garantice el mantenimiento de su calidad (Van, 2005).

2.8 ACEITES COMESTIBLES VS ACEITES COMBUSTIBLES

Los aceites de girasol, soya y colza son utilizados prioritariamente como aceites comestibles y su demanda creciente para la producción de biodiésel hará que el precio aumente por lo menos en el corto y mediano plazos, y será finalmente más caro para el consumidor de aceites comestibles y para el usuario de biocombustibles. A esto hay que sumarle que está ocurriendo un vuelco de las tierras destinadas a la producción de alimentos que están comenzando a utilizarse para la producción de biocombustibles, con todas las implicaciones socioeconómicas que traerá aparejado (Wood, 2005).

En Argentina, el biodiésel se produce fundamentalmente a partir de la soja, y el etanol a partir de la caña de azúcar. Todas estas producciones son dirigidas, no solamente al consumo interno, sino a la exportación, aprovechando el boom de la economía mundial, especialmente encabezado por China y que exige siempre más producción de energía.

Hasta ahora, los cultivos que se han considerado en Argentina para la producción de materias primas destinadas a la fabricación de biodiésel han sido básicamente cultivos tradicionales producidos con fines alimentarios. El costo de producción de biodiésel fabricado con este tipo de materias primas supera con creces el costo del gasóleo, por lo que para lograr viabilidad económica es preciso subvencionarlos o darles ventajas impositivas.

Sin embargo, con objeto de lograr una producción sostenible y estable del biodiésel y, a su vez, no quemar materias primas que pueden ser destinadas al mercado alimenticio, es necesario desarrollar cultivos oleaginosos alternativos, con costos de producción más bajos que los alimenticios y que produzcan aceites aptos para la producción de biodiésel.

El desarrollo de cultivos oleaginosos alternativos necesita de una política de apoyo en investigación y desarrollo, ya que en este campo existe un gran potencial de producción que, además representa una nueva actividad para el sector agrario. De esta manera, se podrían ocupar tierras que hoy en día son incultas, por su bajísima fertilidad o por poseer un régimen pluviométrico que las torna inaptas para la agricultura tradicional en condiciones de secano. Su explotación potenciaría el desarrollo rural y posibilitaría que los agricultores pudieran obtener una renta de dichas tierras como consecuencia de su trabajo productivo.

En países de África, India y otros del sudeste asiático y de Centroamérica se ha estudiado particularmente el uso de *Jatropha curcas*, cuyo aceite cumple con las exigencias necesarias, y posee la gran ventaja de que no es comestible, al contener una concentración apreciable de sustancias tóxicas (curcina y ácidos de forbol) (Falasca y Ulberich., 2008).

La disponibilidad del abastecimiento de materia prima a bajo costo será un determinante crucial en la deliberación del biodiésel como un combustible competitivo. Afortunadamente los aceites vegetales no comestibles en su mayoría producidos a partir de semillas de árboles y arbustos podría ser una buena alternativa. Con su uso no competitivo como comida el abastecimiento de

estos aceites es mucho más factible, particularmente si los cultivos pueden crecer en tierras marginales no cultivables con limitados usos agrícolas. Es esta característica lo que hizo que se pusiera atención sobre la *Jatropha Curcas*, la cual crece en climas tropicales y subtropicales al otro lado del mundo en crecimiento. Las semillas de *Jatropha* pueden ser prensadas para la obtención del aceite vegetal crudo que puede ser refinado obteniéndose un biodiésel de alta calidad. (Wood, 2005).

Esta creciendo la atención sobre el etanol y biodiésel utilizados como biocombustibles renovables para sustituir y/o complementar a la gasolina y/o el diésel de petróleo, respectivamente. Esta tendencia es un resultado, entre otros aspectos, del aumento en los precios del petróleo en el mercado internacional y la presión que se ha estado ejerciendo en la reducción de las emisiones atmosféricas de CO₂ con el fin de mitigar el problema del cambio climático global. El último factor tiene que ver con el concepto de energía segura, reflejado en la obligación legal a usar biocombustibles mezclados con los combustibles de petróleo, en algunos países tales como Estados Unidos, Brasil, Francia y Alemania, entre otros (Goldemberg y col., 2008; Mathews, 2007, Wright, 2006).

La discusión actual entre la comunidad internacional sobre una posible competencia en el uso de la tierra entre la producción de oleaginosas con fines energéticos y la producción de vegetación con fines alimenticios, básicamente data desde los 70', como consecuencia de la adopción de recursos energéticos alternativos que pudieran suplir al petróleo, por algunos países. Entre estas alternativas hacia la diversificación de los recursos energéticos está la propuesta por el programa Alcohol, para la producción de etanol a partir de azúcar de caña llevada a cabo en Brasil, en respuesta al primer shock petrolero (Goldemberg, 1978). Sin embargo, esta situación comenzó a principios de los 90' con un profundo cambio de las perspectivas con respecto a la necesidad de un ambientalmente sustentable crecimiento económico. Eventos tales como el Rio Earth Summit en 1992 y la negociación conducida por el protocolo de Kyoto enfocó su atención sobre los impactos ambientales por la actividad humana y los factores locales y regionales (UNEP, 1997). En la Tabla 2.16 se muestran los argumentos registrados alrededor del mundo con respecto al uso de la tierra.

El resultado principal del protocolo de Kyoto fue la firma de un compromiso por los países desarrollados (el también llamado países del Anexo 1) para la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero. A partir de que los combustibles derivados del petróleo emiten este tipo de gases (y principalmente otros contaminantes, una vez más la atención académica ha puesto su atención en general sobre los recursos combustibles alternativos y en particular en la agro energía. Aparte del etanol también se ha incorporado el biodiésel en la matriz energética con motivo del remplazo de los combustibles fósiles. Esta iniciativa primero surgió efecto en Alemania, seguida de Francia y después Estados Unidos, entre otros países (Mathews, 2007; Wright, 2006).

Desde que el biodiésel se deriva de semillas oleaginosas provenientes de soya, canola (o colza) y girasol, entre otras, y a nivel institucional recibe incentivos fiscales y subsidios, el uso de estas

semillas para la producción de biocombustibles está llegando a ser más viable que si se lleva a cabo el cultivo con fines alimenticios. El primer impacto se ha observado en el incremento de los precios de la tierra, en los países donde se ha incluido en su paquete para su abastecimiento de combustibles obligatoriamente, el biodiésel (Alemania y Francia) (Eggen, 2006; Service, 2007). Esto se refleja igualmente en el costo de hasta las tierras disponibles para dicho uso, pues con ello se tiene la posibilidad de diversificar la siembra y los usos finales de la misma. Los aumentos registrados en algunos insumos alimenticios como el maíz han sido el resultado del cambio en la dinámica del uso de la tierra, pues se ha dejado de sembrar uno por otro (Hill y col., 2006).

Un artículo reciente, llevado a cabo en los Estado Unidos sobre la producción de agro energéticos, demuestra que los agricultores están utilizando la tierra destinada para la siembra de trigo para sembrar maíz, así también están convirtiendo las áreas forestales y pastosas en tierras para cultivo agrícola (Searchinger, 2008). Los resultados a corto plazo por la conversión de áreas tendrán grandes efectos a largo plazo, tales como el cambio en las expectativas de los agricultores sobre la tendencia de los precios de los cultivos, y con eso un nuevo movimiento para la producción de energía renovable, lo cual también influye en la decisión de los agricultores y la dinámica de los precios en comida y energía (Service, 2007).

Por otro lado, hay autores quienes argumentan que no existe una competencia efectiva por el uso de la tierra entre alimentos y energía (Goldemberg y col., 2008; Dale, 2007; Kerckow, 2007; Pimentel y Patzek, 2007 y Leemans y col., 1996). Entre las razones para estar en esta posición están las siguientes: 1) La promesa del desarrollo y el uso del etanol y celulosa (incluyendo los residuos y los productos de deshecho); 2) El incremento de la productividad agrícola; 3) Uso de las tierras marginales (excepto Europa); 4) Existencia de tierra disponible para ser incorporada, uno de los resultados de las políticas agrícolas en los países europeos, forzando a los agricultores para mantener tierras en barbecho; y 5) La incorporación de tierras solo con pasto.

Sin embargo lógicamente, tales argumentos no se pueden tomar en cuenta como base para negar la probable existencia de una competencia a corto plazo, hasta ver las alternativas indicadas para el desarrollo de nuevas variedades de cultivos agrícolas y los productos que están actualmente disponibles a escala comercial. Por lo tanto, a corto plazo no hay forma de abolir algún grado de competencia a partir de los múltiples usos de la tierra. Entonces, los autores ya mencionados lo que proponen son alternativas de minimización en los impactos, causados por la competencia en el uso de la tierra, pero a largo plazo (por ejemplo en un periodo de arriba de los 10 años).

El ámbito de los aspectos macroeconómicos establece el punto de partida y llegada de las dos partes argumentadoras. Este se compone de las variables macroeconómicas que establecen la relación entre la causa-efecto con las categorías analíticas. Algunos ejemplos de estas variables son: (1) Grado de interés de Estados Unidos (relación de fondos financieros); (2) Relación de cambio entre el real brasileño y el dólar; (3) La volatilidad del precio de la producción agrícola consumible (Rathmann y col., 2009).

Tabla 2.16 Estatus actual de las investigaciones y argumentos sobre la competencia por el uso del suelo.

Evidencia y/o estudio que indica la competencia	Efecto de primer orden	Efecto de segundo orden	Autor y año de la publicación
Argumentos acerca de la existencia de la competencia sobre el uso del suelo a causa de la producción de biocombustibles.			
Simulación realizada en los 80', enfocada a los Estados Unidos y Brasil, mostrando que la producción de etanol a partir de maíz y caña de azúcar en esos países ha alterado la producción agrícola y la dinámica en el uso de la tierra.	Beneficios obtenidos por el cambio en el uso del suelo de la siembra de trigo a la siembra de maíz y de la siembra de soya a la siembra de caña de azúcar.	Incremento en el precio y caída de los stocks para el trigo y la soya, con su respectiva decadencia en las exportaciones.	(Brown, 1980); (Meekhof y col., 1984).
Estudio de un grupo de países de la Unión Europea para medir los impactos por el uso de la tierra para la agroenergía	Incremento en el precio de la tierra.	Incremento en los precios de los alimentos.	(Azar, 2003)
Estudio en Iowa (EUA) mostrando los impactos del uso de la tierra para la producción de etanol.	Reducción en el stock del trigo, algodón y soya. Incremento en el precio de la tierra.	Incremento en los precios de la soya y el maíz así como de los productos derivados de los mismos.	(Eggen, 2006); (Service, 2007); (Hill y col., 2006).
Modelo que muestra los impactos por el uso del suelo para agro-energía en los Estados Unidos.	Obtención de beneficios por el cambio en la siembra de trigo a siembra de maíz y por la conversión de zonas forestales y pastizales a zonas agrícolas.	Balance negativo del ciclo del carbono e incremento en los precios del café y la soya.	(Searchinger, 2008).
Estudio que mide los impactos causados por el incremento en la participación de los biocombustibles en la matriz energética de Brasil, sureste de Asia y Estados Unidos.	Generación de un déficit de carbón debido a la conversión de zonas forestales y sabanas a zonas agrícolas.	Desbalance de los ecosistemas.	(Fargione y col., 2008).
Análisis de los impactos de los biocombustibles en Estados Unidos, por medio de un modelo de optimización económica con impuestos sobre el carbono como la variable explicativa.	Con impuestos sobre el carbón cerca de los 20 dólares por tonelada, avances de la agricultura hacia tierras de pastoreo.	Incremento de cerca del 100% en el precio del trigo en 40 años.	(Johansson y Azar, 2007).
Estudios sobre los impactos de la expansión de la siembra de caña de azúcar en los estados de Paraná y Sao Paulo, muestran que realmente existe una competencia en el uso del suelo.	Sustitución de áreas utilizadas para la siembra de soya, café y naranjos.	Incremento del valor de la tierra y los precios del café, naranja y aceite de soya en el mercado domestico.	(Watanabe y col., 2007); (Benedetti y col., 2007).

Continuación Tabla 2.16

Evidencia y/o estudio sobre el cual se basan los argumentos.	
Argumentos de la ausencia de una competencia por el uso del suelo a causa de la producción de biocombustibles.	
Desarrollo de la celulosa de etanol (incluyendo los cultivos residuales y productos de deshecho, incremento del rendimiento de los cultivos oleaginosos (biodiésel) y uso de tierras marginales (excepto Europa).	(Dale, 2007; Hazell y Pachauri, 2006).
Sólo una pequeña parte de la producción agrícola se cambiará hacia la producción de biocombustibles (1-10%), lo que implica la estabilización de los precios de los productos básicos.	(Kerckow, 2007).
Un modelo revela que no hay efectos con respecto a una competencia en el uso de la tierra, debido a la existencia de suficientes tierras marginales para ser incorporadas para la producción de biomasa con el fin de producir biocombustibles.	(Pimentel y Patzek, 2007; Leemans y col., 1996).
Estudios indican que en el estado de Sao Paulo la producción de caña de azúcar se está incrementando solo en áreas de pastizales, así que no implica el declive en la producción de alimentos.	(Goldemberg y col., 2008).
Existencia de políticas agrícolas que fuerzan a los agricultores a tener tierras de barbecho en Europa, las cuales podrían ser incorporadas en la gama productora de cultivos energéticos.	(Turpin y col., 2009).
Investigaciones indican que los cultivos energéticos en Malasia están aumentando solo en las tierras marginales, por lo que no hay competencia con las tierras para la siembra de alimentos.	(Sumathi y col., 2008).
Solo cerca del 1 % de las tierras arables en el mundo son utilizadas para la producción de cultivos energéticos, que debe incorporarse al 4 % sin competencia con la producción de alimentos.	(FAO–Food y A., 2008).

El ámbito de los aspectos microeconómicos cubre las causas y los impactos a un nivel microeconómico que determina el modelo del uso de la tierra. Entre estos están los principales aspectos que los agricultores consideran cuando eligen entre los múltiples usos que le pueden dar a la tierra, los cuales se ven resumidos en ganancias para los agricultores. Esta decisión usualmente se basa en: (1) La habilidad propia; (2) Tecnología disponible; (3) estructuras del mercado y (4) tendencias de los precios y las políticas gubernamentales para un cultivo seguro. Estas son las principales variables que los agricultores deben tener en cuenta cuando planeen que plantar en la próxima temporada de cultivo. Sin que se tengan perspectivas a muy largo plazo dada la naturaleza de la agricultura pues esto nos lleva a otra categoría analítica que es el tratamiento de la tierra (Rathmann y col., 2009).

La descripción de la relación causa-efecto comienza con el análisis del incremento en la demanda de energía renovable, lo cual representa una nueva dinámica para la producción y el uso de la energía. Esto se refiere a la producción de biocombustibles para propósitos de transporte y generación de electricidad. Esta demanda recae en políticas energéticas y medioambientales de varias naciones, conllevando a una nueva dinámica institucional que apoye los proyectos para la

producción de energía renovable. A su vez incrementando la demanda de la energía renovable, políticas energéticas y medioambientales y las políticas agrícolas y la agro energía juntas causan el incremento en la producción de biocombustibles líquidos llamados etanol y biodiésel. Este es el caso de algunos países ya mencionados de la Unión Europea, de los Estados Unidos y Brasil, los cuales han establecido en sus respectivas estructuras regulatorias el uso de los biocombustibles, sustituyendo la gasolina y la obligación de mezclar el diésel de petróleo con biodiésel (Mathews, 2007; Wright, 2006; Eggen, 2006).

En el caso de Paraná y Sao Paulo, Brasil, donde las perspectivas sobre las buenas ganancias ha causado un gran incremento en el valor por hectárea de la tierra arable. En este mismo ámbito, el incremento en la demanda de comida es un efecto a corto plazo de las políticas para la agroenergía y la comida y por el incremento en la producción de biocombustibles. Finalmente esta in elasticidad para el abastecimiento de alimentos es influenciada por las políticas energéticas y medioambientales y por la política agrícola para la alimentación y la política agroenergética. El mantenimiento de la tierra es influenciado directamente por las políticas adoptadas por países como Brasil, Estados Unidos, Alemania y Francia, entre otros, para el incremento en la producción de biocombustibles, así como también las expectativas *a priori* de las ganancias para los agricultores. Las variables en el ámbito macroeconómico tienen una indirecta, más no irrelevante, influencia, tal como el incremento en la demanda global de la soya y el maíz, cambiando el abastecimiento volátilmente de los insumos básicos agrícolas y cambiando volátilmente el futuro de sus precios.

Dado que los agricultores están muy motivados con las expectativas, en general a corto plazo, hay una competencia entre los múltiples usos que se le pueden dar a la tierra por la naturaleza finita de las áreas altamente productivas; las expectativas de las grandes ganancias a partir de la agro energía han estado causando cambios en la dinámica de producción, alentando el uso de las tierras marginales, que a su vez el alcanzar, para este ultimo tipo de tierras, el nivel de productividad que el de las mejores; dependerá del uso intensivo de pesticidas y correctores del suelo, los cuales causan impactos ambientales y a largo plazo el desbalance de los ecosistemas. Con respecto a ello, el impacto ambiental puede incrementar aun cuando los cultivos anuales se siembren sobre tierras que habían sido pastura. Sin embargo, nuevos sistemas basados en la siembra de cultivos perennes, los cuales se pueden beneficiar al ser sembrados en tierras de pastura y/o tierras marginales, en la medida en que el sistema de producción puede incrementar el contenido de carbón en el suelo. Por lo tanto se deduce que en efecto, existe una competencia entre la producción agrícola de alimentos y cultivos energéticos que a corto y largo plazo se tendrá la necesidad de utilizar tierras, hoy en día, marginales, con pastura, forestales o reservas ecológicas; para la producción de cultivos energéticos (Azar, 2003; Brown, 1980; Johansson y Azar, 2007; Fargione y col., 2008).

Finalmente la pregunta es: ¿Como se pueden producir biocombustibles sustentablemente sin competir innecesariamente con el uso de la tierra para la producción de insumos alimenticios? (Rathmann y col., 2009).

CAPÍTULO III: HIDROPONÍA

3.1 DEFINICIÓN

La palabra hidroponía se deriva del griego *Hydro* (agua) y *Ponos* (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua, y es una alusión al empleo de soluciones de agua y fertilizantes químicos para el cultivo de plantas sin suelo (Douglas, 1997).

En la actualidad la hidroponía se define como la ciencia de cultivo de plantas sin el uso de tierra, utilizando un medio inerte en su lugar, como el tezontle, arena gruesa, agrolita, cascarilla de arroz, entre otros; al que se agrega una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal y desarrollo. Puesto que muchos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio que contiene material orgánico como turba o aserrín, son llamados “cultivos sin suelo”, los que son cultivados mediante la cultura del agua son los verdaderamente hidropónicos. La tierra tiende a menudo a llevar agua y nutrientes lejos de las plantas lo cual vuelve la aplicación de cantidades correctas de fertilizante un trabajo difícil. En hidroponía los nutrientes necesarios se disuelven en agua, y esta solución se aplica a las plantas en dosis exactas en los intervalos prescritos.

3.2 BREVE HISTORIA DE LA HIDROPONÍA

Documentos tan antiguos como lo son los jeroglíficos encontrados en el interior de las pirámides egipcias, describen el cultivo de plantas en agua; otros ejemplos de cultivos hidropónicos establecidos en la antigüedad son los jardines colgantes de Babilonia y los jardines flotantes de la China imperial o de los aztecas; chinampas donde se aprovechaba al máximo en pequeña escala, la obtención de productos vegetales alimenticios y de ornato (Palomares, 2007).

La primera referencia científica escrita proviene del año 1600, cuando el belga J. P. Van Helmont (1577-1644) investigó que las plantas obtienen algunos de sus nutrientes a partir del agua.

John Woodward en 1699, hizo sus primeros experimentos para establecer la forma en que las plantas obtenían su alimento. Se propuso establecer si el agua o las partículas de la tierra eran las que nutrían a los vegetales.

Nicolas Saussure (1804) Demostró que las plantas necesitan sustancias minerales para alcanzar un óptimo desarrollo y expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, aire y suelo.

Justus Von Liebig (1803-1873), en 1840 en Oxford dio un gran impulso a los estudios experimentales sobre la teoría mineral de la nutrición de las plantas.

Otro investigador fue Boussingault, quien también en la misma época cultivó plantas en varios tipos de sustrato como arena, cuarzo y carbón vegetal, junto con soluciones acuosas de sustancias

químicas, concluyendo que el agua es esencial para el crecimiento y con esto demostró la probabilidad de emplear y del crecimiento de las plantas sobre diversos sustratos (Palomares, 2007).

Todos estos avances y conocimientos fueron profundizados por Julius Von Sachs (1832-1897), profesor de Botánica en la Universidad de Wurzburg y W. Knop, químico agrícola, conocido como "El Padre de la Cultura del Agua".

Sachs y Knop fueron considerados padres de la Nutricultura por haber demostrado que se podía conseguir un crecimiento normal de las plantas sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviera los nutrientes necesarios.

Posteriormente, Tollens (1882), Tottingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919), Deutschmann (1932), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946), investigaron intensamente las diversas sustancias minerales, agregando o eliminando con el objeto de encontrar las mejores soluciones para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Fue a comienzos de los 30 del siglo pasado, cuando William Gericke de la Universidad de California, considerado el padre de la Hidroponía, realizó ensayos de nutrición vegetal a escala comercial, cultivando primero todo tipo de hortalizas y luego extendió su labor a flores, tubérculos, cereales y árboles frutales, denominando a este sistema de cultivo Hidroponía.

En 1939, el ejército norteamericano y la fuerza aérea británica, para solucionar el problema de abastecimiento de verdura fresca para su personal, instalaron unidades hidropónicas en sus bases militares del Pacífico, con las cuales las tropas consumieron toneladas de verduras cultivadas bajo este sistema (Palomares, 2007).

Después de la segunda guerra mundial, los militares continuaron utilizando los cultivos hidropónicos, expandiéndose en plan comercial alrededor del mundo desde la década de los 50'. Con la aparición de plásticos más resistentes a la acción del sol, los cultivos hidropónicos redujeron sus costos de producción y operación. En Japón por falta de espacio y agua, desarrollaron la tecnología americana a niveles asombrosos y actualmente son líderes mundiales en tecnología y desarrollo de la hidroponía.

La NASA desde aproximadamente 30 años ha utilizado la hidroponía dentro de las naves espaciales, para alimentar a los astronautas, sobre todo por los viajes espaciales de larga duración (entre seis meses y un año). La NASA ha desarrollado con el denominado, sistema de soporte vital ecológico controlado (Controlled Ecological Life Support System) la posibilidad de ponerlo en operación en una base espacial proyectada en el planeta Marte.

En un plano mucho más terrenal, muchos países han utilizado estas técnicas para resolver problemas de abastecimiento y nutricionales; tal es el caso de Argentina, Chile, Venezuela y países de Europa, donde se utiliza tecnología de punta para desarrollar estos sistemas de

producción. Un ejemplo claro ocurre en Almería, España; donde se cuenta con plantas desalinizadoras y utilizan el agua de mar como fuente de riego, en complejos instalados cerca del mar y plantaciones cerca de la playa (Palomares, 2007).

3.3 ELEMENTOS BÁSICOS Y TÉCNICAS DE CULTIVO

En la siembra los elementos básicos que cualquier técnica hidropónica requiere son:

La planta. Es importante señalar que aún cuando por hidroponía se puede sembrar cualquier tipo de plantas, en términos generales solamente se cultivan aquellos que tienen un alto nivel de demanda en el mercado o los que por su precio se hacen redituables bajo este mismo esquema.

Para la germinación de la semilla es muy útil el uso de almácigos o semilleros en lugar de utilizar la siembra directa de esta forma se comienza el proceso en pequeños contenedores de no más de 5 cm de profundidad. Transcurridos aproximadamente treinta días, una vez que la plántula ha obtenido sus primeras hojas, se puede realizar el trasplante al contenedor donde concluirá su desarrollo.

Los contenedores. Cualquier tipo de recipiente opaco, inerte e impermeable donde se coloca el sustrato con un sistema de drenaje y aireación. Es muy común utilizar materiales como el plástico y el PVC, no se recomienda que sean metálicos ni transparentes debido a que la luz genera fotosíntesis y esto puede causar la formación de algas que evitarán que las plantas cultivadas absorban la totalidad de los nutrientes.

El sustrato. Es un medio o sostén inerte que permite a las plantas tener una base de soporte y retención. El sustrato es el sustituto de la tierra utilizada en cultivos tradicionales, la diferencia es que no tiene ninguno de los nutrientes que ésta última posee. Debe estar libre de bacterias y permitir que la raíz se desarrolle y absorba la solución nutritiva. Existe una gran variedad de sustratos como la agrolita, el tezontle, la vermiculita, piedras de río, cáscaras de arroz, turba vegetal, entre otros. Su capacidad de retención y porosidad, son algunos de los factores que deben ser considerados al momento de elegir el sustrato idóneo para cada cultivo.

Los nutrientes y/o la solución nutritiva. En la hidroponía todos aquellos nutrientes que las plantas requieren les son suministrados diariamente mediante una solución nutritiva preparada con los trece elementos que la planta normalmente obtendría directamente de la tierra. Existen otros tres elementos importantes para la planta que no le son proporcionados por la tierra, tomados directamente del aire y del agua: Carbono, oxígeno e hidrógeno.

La dosificación adecuada de los nutrientes es un elemento decisivo para el éxito del cultivo mediante hidroponía, pues son éstos los que cumplen la función que en cultivos tradicionales tiene el suelo. La ventaja aquí de la hidroponía, es la posibilidad de suministrarle las cantidades exactas que la planta requiere para desarrollarse de una manera óptima. Además de que se puede aprovechar de un modo más eficiente el espacio, pues las plantas no tienen la necesidad de

competir entre sí por los nutrientes, y solamente se deben distribuir de forma tal que todas tengan acceso a la luz solar (García, 2009).

Se requiere también tener un perfecto control del pH del agua, la mayoría de las plantas crecen bien con un pH entre 5 a 6.5, por lo que es conveniente mantenerla entre estos rangos para lograr un adecuado crecimiento vegetal.

El sistema de riego. Es importante para el desarrollo de la planta, debido a que si existe un riego uniforme permitirá a las plantas un desarrollo de igual manera uniforme. Por otra parte, un buen drenaje podrá prevenir la creación de hongos y la formación de algas.

Los sistemas de riego se pueden clasificar en dos:

1. Los sistemas de riego abiertos o a disolución perdida en donde se drena la solución.
2. Los sistemas cerrados en donde la solución sobrante vuelve a incorporarse total o parcialmente, como suministro al mismo cultivo. También aquí se clasifican los sistemas en los que la solución nutritiva es estática.

En la hidroponía se utilizan diversas técnicas de siembra, las más utilizadas son:

- 1) Raíz flotante. En esta técnica, la raíz es sumergida en solución nutritiva. Se requiere de suficiente oxigenación y lo más común es utilizar placas de poliestireno para sostener las plantas. Es utilizado sobre todo en cultivos de lechuga y hierbas aromáticas.
- 2) Cultivo en sustrato sólido inerte y poroso. Esta técnica es muy parecida en algunos aspectos al cultivo tradicional en tierra. El sustrato sostiene a las plantas y permite que tengan humedad suficiente y que la raíz se expanda. El sustrato puede ser orgánico como la cascarilla de arroz y la fibra de coco o inorgánico como la grava, el tezontle, la arena de río, entre muchos otros.
- 3) NFT (Técnica de película nutriente). En este caso la solución nutritiva está en constante movimiento con ayuda de una bomba, a través de un tubo (Fig. 3.1) en el que se colocan varios recipientes cada uno con una planta y con un pequeño orificio por el que se alimenta a las raíces de manera continua (García, 2009).
- 4) NGS (Sistema de nuevo crecimiento). Es una modalidad de cultivo hidropónico caracterizado por la ausencia de sustrato; es decir, se trata de un cultivo hidropónico puro en el que las raíces se desarrollan en una SNR, que circula en circuito cerrado, permitiendo un ahorro significativo en agua y fertilizantes, lo que le da a este sistema un carácter ecológico y de respeto al medio ambiente. El sistema aprovecha el 100 % del agua y la solución nutritiva. Ésta discurre por el interior de un conjunto de láminas de polietileno superpuestas en forma de “V” de tal manera que la solución nutritiva recorre un tramo más o menos largo y cae a la lámina siguiente a través de agujeros dispuestos en su parte inferior. Es a través de este camino que la solución nutritiva entra en contacto con

las raíces proporcionándoles agua, nutrientes y oxígeno, mientras retira de las raíces los compuestos que no fueron asimilados (Urrestarazu, 2004).

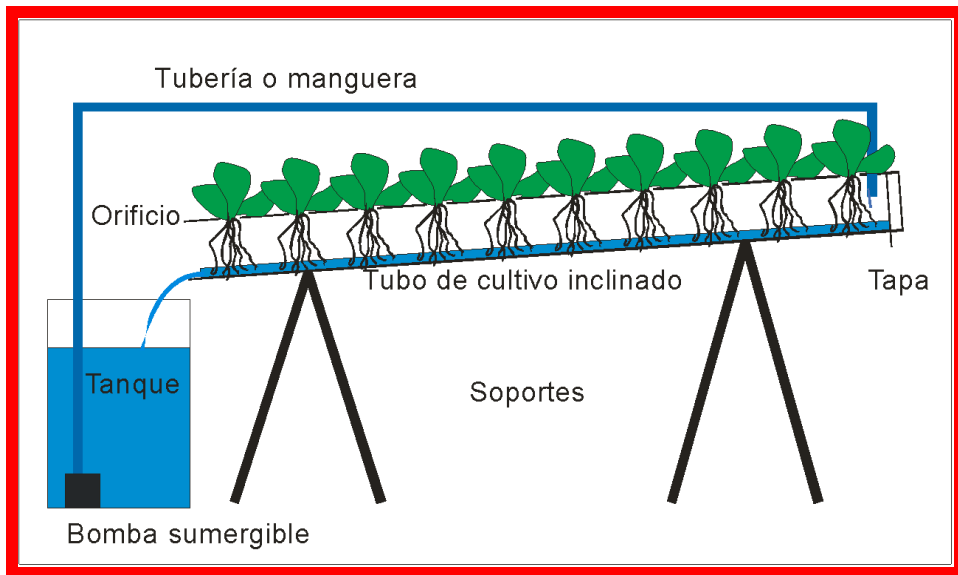


Fig. 3.1 Ejemplo de la técnica de película nutritiva para la siembra de lechuga (González, 2010).

- 5) **Aeroponía.** Es el cultivo de plantas en contenedores opacos, que a la vez le sirven de soporte y en los cuales están suspendidas las raíces y bañadas en lo que podríamos llamar una neblina de solución de nutrientes. Este cultivo se utiliza frecuentemente en los estudios de laboratorio de fisiología vegetal y no es fácil encontrarlo en escala comercial. Algunas compañías italianas, no obstante, han utilizado la aeroponía en el cultivo de un gran número de plantas como: lechugas, pepinos, melones y tomates (Resh, 1993).

3.4 CONTENEDORES

En todo sistema de producción hidropónico es necesario el uso de contenedores para sostener el sustrato en donde se van a desarrollar las plantas. Prácticamente cualquier tipo de contenedor puede ser utilizado, provisto de drenaje para evitar acumulaciones de la solución en el fondo. Muchas veces se utilizan cajas de madera cubiertas con plástico oscuro o algunas veces contenedores de metal, tratados con pinturas bituminosas (impermeabilizantes), tanto por dentro como por fuera, con el propósito de evitar la corrosión (Pérez y Castro, 1999).

Se debe tener cuidado al elegir el recipiente, pues algunos materiales suelen reaccionar con los compuestos de la solución nutritiva, obteniendo compuestos que pueden dañar a la planta. Así también los recipientes que se ensanchan en su base inferior son sin duda los más indicados para las plantas que crecen con rapidez, ya que su coordinación en recipientes creará condiciones favorables para un libre desarrollo de la planta, de esta manera habrá espacio suficiente para la solución nutritiva y para un volumen de aire satisfactorio; el plástico por ser ligero y de duración casi ilimitada se recomienda altamente, ya sea el PE, PP, Ps, formas principales de utilización

como espuma rígida y espuma de Ps, Pu y PVC únicamente rígido no alterado por la acción de plastificantes (Miranda, 2003).

Sánchez y Escalante (1988) Mencionan que para algunos cultivo y en determinados casos, puede ser preferible utilizar macetas en ves de tinas, las cuales pueden ser de barro, cemento, madera, lámina y polietileno; y que en este caso el riego se efectúa por goteo, por aspersion en el sustrato, por capilaridad o simplemente con regaderas. Samperio (2001) señala que los contenedores deberán contar con un desnivel o pendiente del 2 al 3 % y un sistema de desagüe, cuyo orificio de salida habrá de tener un tapón (de plástico, hule o corcho), a fin de evitar goteo. Asimismo, tienen que ser opacos, para impedir que la luz penetre y llegue a las raíces de las plantas.

3.5 SUSTRATOS

Se le denomina sustrato a cualquier material que sea capaz de sustituir al suelo agrícola, proporcionarles las condiciones edáficas adecuadas para su desarrollo, a las plantas: buena aireación, buena retención de humedad, que sea químicamente inerte, libre de plagas, enfermedades y maleza, libre de sustancias tóxicas, fácil disponibilidad y de preferencia ligero (Sánchez y Escalante, 1988).

Algunos de los sustratos más utilizados son:

3.5.1 Agrolita o perlita

Es un aluminosilicato que se fabrica de rocas volcánicas. Es un medio ideal para la raíz y permite obtener una buena producción; presenta un color blanco grisáceo, baja densidad, estéril y con excelentes propiedades de retención de agua, a la ves buena aireación; el diámetro de las partículas de 1-3 mm y su pH es neutro, Su desventaja principal es su alto costo (Rodríguez, 1996).

3.5.2 Arena

Para fines hidropónicos se considera arena a todo material inorgánico natural, cuyo diámetro que comprendido entre 0.02-2 mm., la densidad aparente de este material es de 1.5 g/cm^3 y en general el espacio poroso total (EPT) es muy similar al de suelos del orden del 50 %. La arena corriente de río es utilizable cuando su contenido en cal es inferior al 20%. Pero si el material calcáreo no excede el 50 % solo se puede utilizar con una solución concentrada de superfosfato (200 ppm). Este sustrato es económico, presenta una buena capacidad de retención de humedad, pero tiene problemas de aireación (Resh, 1993).

3.5.3 Lana de roca

Este material se obtiene de rocas calizas, es un sustrato inerte, muy uniforme, prácticamente sin capacidad de intercambio catiónico, con una densidad aparente de 0.07 g/cm^3 y se vende en

varias presentaciones, siendo la más común la de 100 x 20 x 10 cm, tiene un EPT de 97 % y una aireación de 36 %, pero es un material de alto costo (Abad y Noguera, 2000).

3.5.4 Grava

Al elegir la grava más indicada para un sistema de subirrigación se debe procurar que ésta esté formada por granito molido, cuyas partículas tengan un diámetro que oscile entre 1/16 de pulgada las más finas a 3/4 de pulgada las mayores. El volumen total de partículas deberá ser lo suficientemente fuerte como para no partirse con facilidad, a la vez que sea capaz de retener suficiente humedad en sus espacios vacíos, y también disponer de un buen drenaje que permita una adecuada aireación de las raíces (Resh, 1993).

3.5.5 Turba

Son restos de vegetales en proceso de fosilización, la composición de los diversos depósitos de turba varía mucho, dependiendo de la vegetación que le dio origen, su estado de descomposición, contenido de minerales y grado de acidez. En México se utiliza principalmente en la producción de plántula de hortalizas y especies ornamentales, siendo muy escaso en la producción hidropónica, por su dificultad para el manejo de la nutrición y por su elevado costo. En ocasiones se le llega a utilizar en mezclas con tezontle, para mejorar la retención de humedad (Castellanos y Vargas, 2003).

3.5.6 Fibra de coco

Es un sustrato con amplias perspectivas para la horticultura protegida en México, dado su bajo costo, su facilidad de manejo, su sanidad y la excelente respuesta agronómica que ha mostrado en los cultivos donde se le ha evaluado. La fibra de coco tiene una densidad media de 0.07 g/cm³, una aireación que va de 37 a 61 %, es un material muy estable puede durar hasta tres años bajo cultivo, únicamente haciendo desinfección antes de cada siembra (Minero, 2005).

3.5.7 Tezontle

Es una piedra volcánica ígnea, con una densidad aparente de 1.3 g/cm³ con un espacio poroso sólido de 43.90 %, espacio sólido total de 56.1 %, retención de humedad a capacidad de campo 45.10 % y capacidad de aireación de 53.90 %. Tiene una capacidad de intercambio cationico de 1.5 meq/100 g, es uno de los sustratos más utilizados en México en los cultivos hidropónicos. El diámetro más adecuado para su utilización como sustrato para un sistema de hidroponía es de 5 mm, su costo de adquisición es de los más bajos (Pérez y Castro, 1999).

3.5.8 Silicato de Aluminio (Vermiculita)

Extraída de depósitos naturales de varias partes del mundo, incluso de México. Se trata de un silicato de aluminio con la estructura de la mica que contiene magnesio y hierro, su estructura

está constituida por extractos paralelos que encierran moléculas de agua. Cuando este material se calienta a una temperatura muy elevada, el agua se convierte en vapor, mismo que expande la vermiculita, hasta que ésta alcanza de seis a doce veces su tamaño original, este producto tiene un color dorado, estéril, ligero con alto nivel de absorción (cuatro veces su peso en agua) y excelente aireación debido a la exfoliación o expansión. Por ser material aislante se mantiene caliente en invierno y fresco en verano, presenta desventajas por ser agregado que retiene mucha humedad, sus partículas se desmenuzan poco a poco, la aireación y el drenaje son cada vez menos eficientes, no es fácil de esterilizar y su precio es elevado. Sólo se recomienda en algunos lugares de clima cálido/seco, debido a su gran absorbencia y su propiedad aislante que favorece el crecimiento de las plantas, y para donde el costo de éste sustrato sea bajo, se recomienda a baja escala o a nivel casero (Padilla, 2005).

La elección del medio deberemos determinarla según disponibilidades de éste, costo, calidad y el tipo de método de cultivo hidropónico que va a ser empleado. Un sistema hidropónico de subirrigación con grava puede usar un material relativamente grande, mientras que un sistema hidropónico en grava, pero con riego por aspersión, deberá usar un material mucho más fino. El medio no deberá contener ningún material tóxico. El serrín, por ejemplo, contiene a menudo una gran cantidad de cloruro de sodio, puesto que es frecuente que los troncos hayan permanecido en agua con sal por un largo tiempo. Así pues, deberemos analizar el contenido de sales, y si aparece alguna cantidad apreciable de cloruro de sodio, será necesario lavar el serrín con agua potable. Tanto la grava como la arena si son de origen calcáreo, deberán ser evitadas, puesto que estos materiales tienen un alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), el cual pasará desde el medio a la solución de nutrientes, obteniéndose de esta forma un pH muy elevado. Este incremento de la alcalinidad frena la absorción del hierro, causando la deficiencia de éste en las plantas. Así entonces éstos materiales deberán ser analizados y lavados antes de su uso, ya sea con agua o ácido o bien introduciéndolos en una solución de fosfato. La mejor grava o arena será siempre aquella de origen ígneo (volcánico). Los agregados de origen granítico serán los mejores, especialmente aquellos que tienen un alto contenido de cuarzo, calcita y feldespato (Resh, 1993).

3.6 RIEGO

3.6.1 Solución nutritiva

En los cultivos hidropónicos las plantas crecen en agua o en sustratos inertes que no aportan ningún tipo de alimento, por lo que se les deben proporcionar los nutrientes por medio de una solución nutritiva, esto a diferencia de otras formas de dar nutrientes a las plantas como el abono orgánico y los fertilizantes utilizados en tierra (Robles, 2009).

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua, para preparar la solución de nutrientes. La elección de las sales que deberá ser usada depende de un elevado número de factores.

Las diferentes sales fertilizantes que se pueden usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad. La solubilidad es la medida de la concentración de la sal que permanece en solución cuando la disolvemos en agua, así entonces, las sales deberán tener alta solubilidad (Benítez y Ortiz, 2006).

Existen varias fórmulas para preparar las soluciones, una muy sencilla consta de 6 elementos básicos para 100 litros de agua: Nitrato de calcio, 118 g; sulfato de magnesio, 49 g; y fosfato monopotásico, 29 g. Otra un poco más complicada (con ocho elementos), igualmente para 100 litros de agua: Nitrato de calcio, 85 g; nitrato de potasio, 58 g; sulfato de magnesio, 42 g y fosfato monopotásico, 14 g.

Es importante destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, y por otra parte, es mucho más sencillo acudir a las tiendas del ramo y adquirir las mezclas ya preparadas, pues ya solo se tiene que llegar y disolver la mezcla en la cantidad de agua especificada (Robles, 2009). O bien se pueden comprar los compuestos por separado e ir experimentado para encontrar la mezcla más conveniente a las necesidades del cultivo.

Se suministran los nutrientes a través del agua de riego, siguiendo tres criterios: 1) Aplicar solución nutritiva en concentraciones variables dependiendo de las necesidades del cultivo, 2) Aplicar los nutrimentos en forma fraccionada de acuerdo con las necesidades del cultivo según la etapa fenológica en que se encuentre; y 3) Definir la dosis total de aplicación y dividirla de acuerdo con el número de aplicaciones.

Cualquiera de los tres criterios tiene como objetivo aplicar las dosis de nutrimentos mínimas necesarias para obtener los máximos rendimientos y evitar, en lo posible, el deterioro del suelo por el incremento de la salinidad y la lixiviación de nutrimento permisible (Tijerina, 1999).

3.6.1.1 Características del agua

La calidad del agua es de gran importancia en los cultivos hidropónicos. El agua con un contenido de cloruro de sodio de 50 ppm o aun mayor no es aconsejable para obtener un desarrollo óptimo de las plantas. Conforme el contenido de cloruro de sodio va aumentando, el desarrollo y crecimiento de las plantas va disminuyendo.

Las aguas duras contienen sales de calcio y magnesio. Normalmente dichas aguas tienen niveles aceptables para ser utilizadas en los cultivos hidropónicos, pues tanto el calcio como el magnesio son elementos esenciales en la preparación de los nutrientes y, ordinariamente, la cantidad de ellos que se encuentra presente en las aguas duras es mucho menor que las que suelen utilizarse en dichas soluciones. La mayoría de las aguas duras contienen al calcio y al magnesio como carbonatos o sulfatos. Mientras que el ion sulfato es un nutriente esencial, el carbonato no lo es, no obstante, en bajas concentraciones no daña a la planta. Así pues se recomienda llevar a cabo un análisis del agua, que se va a utilizar para la solución nutritiva y para el riego, de la concentración de iones (Resh, 1993).

3.6.1.2 Sales necesarias

Es ya bien conocido por los científicos que han estudiado la fisiología vegetal que solo son 14 elementos los que las plantas necesitan del suelo y que los absorben de forma mineral y muy raramente en forma orgánica. En la Fig. 3.2 se puede observar en peso la necesidad, en general de una planta típica, de cada mineral.

La mayoría de los compuestos usados para preparar una solución hidropónica al disolverse se disocian, por ejemplo el nitrato de potasio (KNO_3) se disocia de la siguiente manera:



En las primeras investigaciones en nutrición vegetal se demostró que se podía lograr el crecimiento normal de las plantas al ser regado el sustrato o sumergir las raíces en una solución hecha con sales de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) e hidrógeno (H) conocidos en su conjunto como macroelementos o macronutrientes, por ser necesarios en grandes cantidades. Después se descubrieron otros elementos requeridos en cantidades muy pequeñas (microelementos o micronutrientes) que son: hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) (Palomares, 2007). En la Tabla 3.1 se pueden observar la proporción de minerales para 1,000 litros de solución nutritiva que se prepara en la Facultad de Ciencias (UNAM), para todos los cultivos.

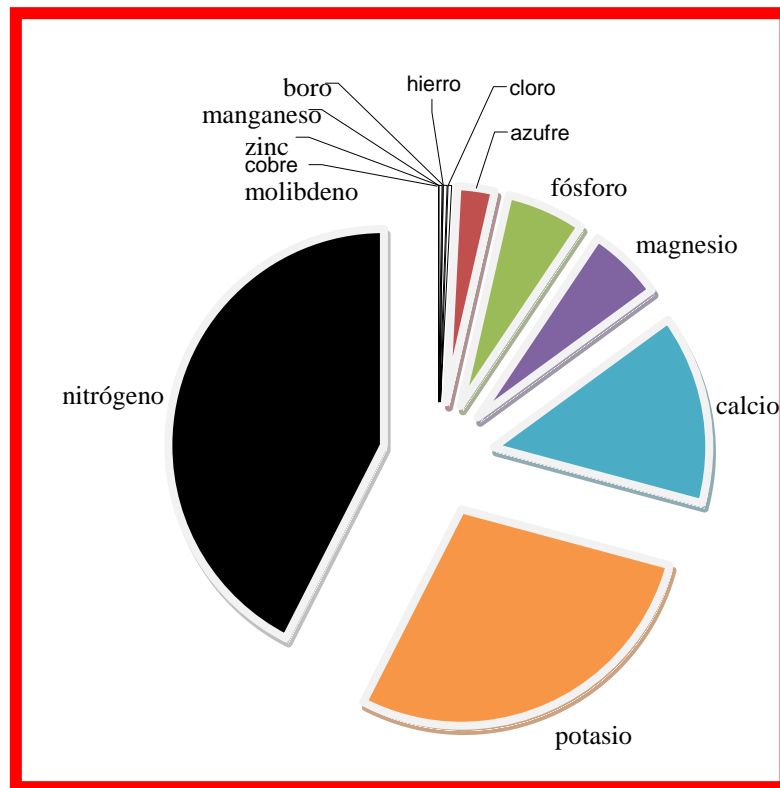


Fig. 3.2 Proporción de los nutrientes en una planta típica (González, 2010).

Las sales que se utilizan para preparar la solución nutritiva son generalmente compuestos, los cuales al disociarse en el agua se mantienen como iones (cationes o aniones) que es la forma en que la planta las asimila. Por ejemplo: El nitrógeno no se absorbe como gas si no como iones compuestos, como el nitrato, amonio, urea o aminoácidos. Otros se pueden absorber ligados a moléculas orgánicas como el hierro en el FeEDTA (González, 2010).

Tabla 3.1 Minerales requeridos para la solución nutritiva *Hidrociencias* (González, 2010).

Compuestos	Cantidad (g)
Nitrato de calcio	1,000
Fosfato monopotásico	220
Sulfato de magnesio	500
Nitrato de potasio	450
Ácido cítrico	80
Brexil Combi	40
Quelato de hierro	5

Para disolverse en 1000 L de agua (Considerando que el agua es tomada de la red de CU, con una conductividad de 0.75 mS/cm).

3.6.1.3 pH

Las plantas aprovechan mejor los elementos químicos suministrados dependiendo del grado de acidez o alcalinidad, la cual se mide en una escala denominada pH, cuyos valores van de 1 para los compuestos muy ácidos hasta 14 para los muy alcalinos. En suelos alcalinos algunos cationes precipitan, y esto hace que a la planta le sea imposible obtener elementos como el hierro, manganeso, el cobre y el zinc (Raven, 1992). Las plantas crecen bien dentro de un intervalo ligeramente ácido, es decir, entre 5.5 y 6.5. Sin embargo no se debe perder de vista que algunas especies son más exigentes que otras en sus requerimientos de pH. En la Figura 3.3 se muestra el rango de absorción de los elementos por las plantas. Cada banda representa un elemento del nutriente y su escala en pH, donde la parte más ancha es donde el elemento no pierde propiedades por exceso o alcalinidad del agua

Por esto una vez preparada la solución de nutrientes debes ajustar el pH al intervalo especificado, lo cual bastará con agregar unas gotas de vinagre si la solución está alcalina ($\text{pH} > 7$), con el objeto de reducir el pH; o bien unas gotas de una solución de potasa o sosa cáustica al 10% si la solución está ácida (Palomares, 2007). Se debe controlar el pH antes de alimentar a las plantas. En las tiendas especializadas se puede conseguir un medidor de acidez para controlar la calidad del agua, pero como regla general, si el agua que se utiliza es apta para consumo humano, servirá para el cultivo hidropónico (Robles, 2009).

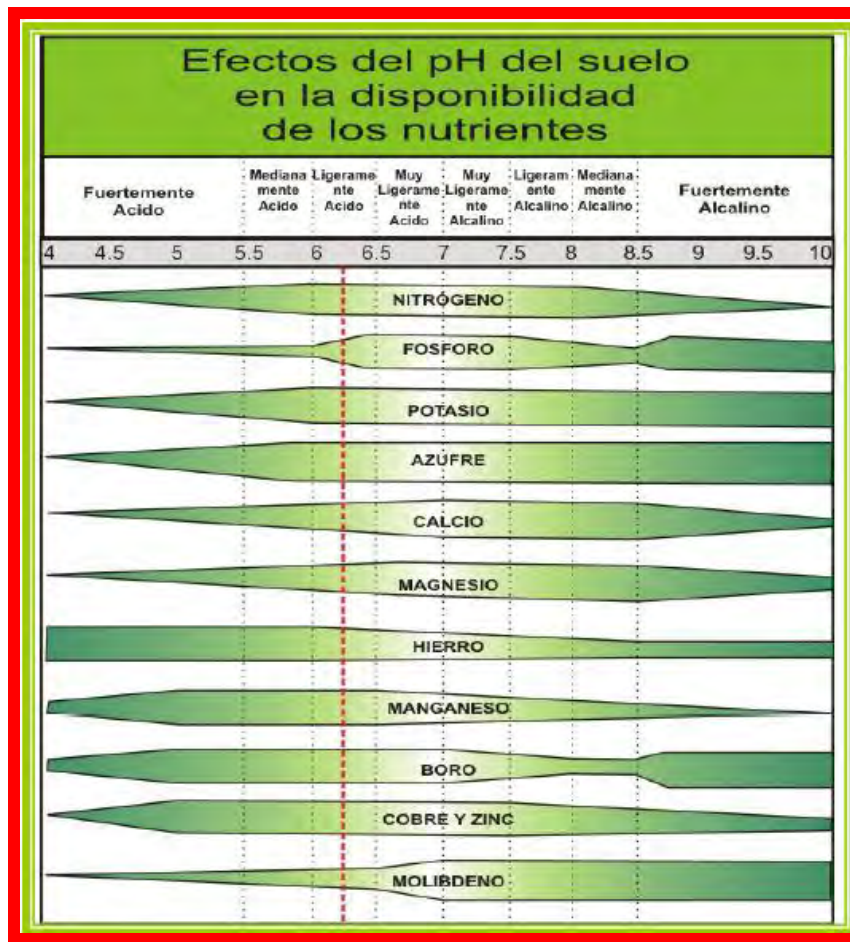


Fig. 3.3 Bandas de absorción por pH para varios elementos (Padilla, 2005).

3.6.2 Tipos de riego

En los sistemas hidropónicos es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarles los nutrientes necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde un manual con regadera hasta el más sofisticado con controladores automáticos de dosificación de nutrientes, controlador de pH y programador automático de riego (Bernardino y Zapata, 2007).

La decisión final de qué sistema se utilizará dependerá del cultivo, el costo y la posibilidad de automatizar el sistema para inyectar adecuadamente los nutrientes a la zona de cultivo (Miranda, 2003).

3.6.2 Manual

Se dosifica por ensayo y error. El conocimiento del cultivo y el sentido común guían hacia la dosificación adecuada del riego. Se pueden utilizar regaderas, bandejas, cubetas, etc., para la distribución del riego (González, 2010).

3.6.3 Riego localizado o por goteo

Consiste en distribuir el agua generalmente ya filtrada y con fertilizantes a las plantas sobre o dentro del suelo, de esta manera el agua llega directamente a la zona de raíces de las plantas, gota a gota. La distribución se realiza por una red de tuberías, generalmente de plástico, ya sea de polietileno o PVC hidráulico en las líneas principales, las líneas laterales se construyen con tubería flexible o rígida de polietileno. Este riego es el más común entre los sistemas de cultivo hidropónicos (Martínez, 1992).

La entrega de agua a las plantas se hace mediante perforaciones o boquillas llamadas emisores o goteros, aunque también estos últimos pueden ser independientes de la tubería, para lo cual se requieren implementos adicionales como múltiples de cuatro salidas, tubo de polietileno delgado (tubin) y estacas de plástico (Gil, 2003).

El riego por goteo tiene muchas ventajas en relación a otros métodos de riego, siendo el principal, el mantenimiento de un régimen de humedad relativamente alto dentro de los límites del bulbo mojado que se forma bajo los emisores, esto permite un crecimiento adecuado del sistema de raíces. Por otra parte se puede mantener la humedad casi constante renovando continuamente el volumen de agua que se gasta por el proceso de evotranspiración, lo cual garantiza un desarrollo favorable de los cultivos. La fertirrigación (aplicación de fertilizantes en el agua de riego), es muy eficiente ya que garantiza una mayor y oportuna disponibilidad de nutrientes a la zona de las raíces. Otra ventaja importante se refiere a que no se moja todo el suelo de la parcela, sino únicamente la hilera donde está sembrado el cultivo, esto permite reducir el crecimiento de la maleza, disminuir el gasto de agua aumentando la eficiencia de su uso.

Las desventajas más importantes por el uso de este tipo de riego se refieren a que el sistema de goteo puede taparse muy continuamente si no se filtra el agua correctamente, o si la mezcla de fertilizantes no es compatible e incluso si se utilizan fertilizantes de baja solubilidad. Además la inversión inicial es alta y se debe contar con personal técnico capacitado para el diseño, instalación y operación del sistema (Miranda, 2003).

3.6.2.1 Riego por aspersión y microaspersión

En el riego por aspersión el agua es llevada a presión por medio de tuberías y emitida mediante aspersores que simulan la lluvia. En este sistema el agua es aportada a cierta altura sobre el cultivo y cae sobre el follaje (Pérez y Castro, 1999).

El sistema de riego por microaspersión entrega el agua puntualmente a la base de los cultivos o por encima de ellos para controlar la temperatura ambiental dentro del invernadero, mediante un pequeño aspersor que se conoce como microaspersor (de poco gasto por hora).

Estos métodos tienen el inconveniente de que mojan toda el área de cultivo, por lo cual existe un desperdicio de agua, y la mayoría de las especies cultivadas son poco tolerantes al riego foliar por

el exceso de humedad relativa y por la toxicidad de los nutrientes en el follaje, flore y frutos del cultivo, por lo cual son poco utilizados en los cultivos hidropónicos.

3.6.2.2 Riego por subirrigación

Esta es una técnica de riego que consiste en suministrar el agua a la base de las camas o bancales, dirigiéndose al otro extremo y mojando hacia la superficie del mismo (flujo-reflujo). Después de un periodo de riego el agua se desaloja por el otro extremo más bajo de la cama bancal y es recolectada para su reuso. Por la dificultad del manejo tanto del agua y de la solución nutritiva, es un sistema poco utilizado (Miranda, 2003).

3.7 PLAGAS Y ENFERMEDADES

En México y en muchas partes del mundo se considera conveniente dividir a los organismos que afectan el desarrollo de las plantas en “Plagas y Enfermedades”. Desde este punto de vista, se consideran plagas a todo el conjunto de organismos que por su tamaño son fácilmente reconocibles a simple vista como son moscas, ácaros, malezas (plantas que invadan el cultivo como tréboles y diente de león, entre otras), roedores (como ratas y conejos), aves y moluscos (caracoles y babosas). En todos los casos se producen daños físicos característicos, relativamente de fácil observación (como lo serían las mordidas que aparecen en las hojas, amarillamiento o deformaciones en las hojas, entre otros). Por otro lado las enfermedades, son el resultado de los daños ocasionados por organismos generalmente microscópicos o bien por deficiencia nutrimental o condiciones ambientales extremas y cuyos signos y síntomas sobre la planta, son difíciles de reconocer; en la mayoría de los casos. Para identificar al organismo que causa la enfermedad se debe recurrir a realizar análisis más complejos (Palomares, 2007).

3.7.1 Plagas

Las plagas más comunes son las que se mencionan a continuación.

3.7.1.1 Mosca blanca

Responde al nombre científico de *Trialeurodes vaporariorum* y también al nombre de *Bemisa tabaci*. Se le denomina mosca blanca por su presencia de dos alas y su aspecto blanco, no supera los 2 mm de longitud. Las alas le sirven para desplazarse de una planta a otra con relativa facilidad, durante el invierno se encuentra de forma fija en el envés de las hojas. Se nutre de hojas y de las partes jóvenes de las plantas. Es atraída por el color amarillo y verde claro.

La reproducción se realiza por huevos, que pone en el envés de las hojas, en una cantidad aproximada de 180 a 200, de color blanco-amarillento y de tamaño muy diminuto. A simple vista se ve como una pequeña cantidad de polvo blanco. Desde que se ponen los huevos hasta el nacimiento del individuo transcurre un tiempo de 20 a 24 horas. Para el desarrollo total de la misma son necesarias unas condiciones adecuadas. La mosca blanca está provista de un órgano

bucal chupador con una prolongación punzante que ocasiona diversos daños en la plantación porque sustrae la savia de las plantas y desarrolla la fumagina.

Los daños que se ocasionan comienzan cuando la mosca se instala en el envés de la hoja hospedante y tanto en estado adulto como larvario, comienzan a nutrirse de ella y deteriorando el crecimiento de la misma. Debido a su facilidad para desplazarse de una planta a otra, e introducir su aparato bucal, llega a transmitir enfermedades víricas e incluso por su excremento, que forma una lámina pegajosa y produce el desarrollo de hongos, se esta ensayando con triascalcerá con el objeto de eliminar las sustancias céreas (González, 2010).

3.7.1.2 Trips

Es un insecto de pequeño tamaño de 0.8 a 3 mm que en estado adulto tiene forma alargada y adopta diferentes colores como tonos marrones o grisáceos oscuros. Posee dos alas y dos antenas. Existen muchísimas variedades de trips dependiendo del cultivo al que se ataque, así tenemos: a) *Thrips simplex*.- Ataca a las plantas ornamentales; b) *Kakothrips pisovourus*.- Invade a legumionosas; c) *Thrips palmi*.- Atacan a las cucurbitáceas, ornamentales y cítricos; d) *Frankliniella occidentalis*.- Causa importantes daños a consecuencia de transmitir virus de unas plantas a otras; e) *Thrips tabaco*.- Tiene un tamaño de 1 mm y es de color verde amarillento en estado joven y en adulto pardo amarillento.

El trips se reproduce por huevos y la cantidad de éstos depende de cada especie. La temperatura óptima va entre 20 a 25°C para la reproducción de este insecto. El estadio de huevo transcurre en la planta y también los dos estadios larvarios y en estado adulto, estos dos últimos, en estado larvario y adulto es cuando causan numerosos daños en las plantas, ya que se alimentan de ellas. En estado de proninfa y ninfa se desarrolla fuera de la planta, en el suelo o cerca de él, en estado de pupa, pero se dan ocasiones que también se desarrollen en la planta. En estadio larvario y adulto es cuando se producen los daños en las plantaciones. Se alimentan de ellas extrayendo el jugo celular y sobre las hojas, flores y frutos alimentándose de la capa externa celular, ocasionándoles necrosis y termina por morir la planta. Los trips succionan las células de las capas superficiales y cuando estas quedan vacías se llenan de aire, dando el aspecto gris plateado con algunas puntuaciones negras (excrementos del trips) (González, 2010).

3.7.1.3 Araña roja

Responde al nombre científico de *Tetranychus cinnabarinus* y *T. urticae* las arañas de dos puntos. La araña roja es un ácaro con cuatro patas, un abdomen y cabeza. Su tamaño es de 0.5 mm aproximadamente y tiene una característica peculiar en cuanto a su color, es verde claro con dos manchas negras en los meses de verano y naranja sin manchas en los meses de otoño e invierno. En definitiva, en sus distintas fases de desarrollo presenta distinto colorido como blanquecino, amarillento, rojo-pardo y verdoso, dependiendo también del árbol o planta en que se hospede o de la época del año.

Para su reproducción se deben alcanzar unas condiciones climáticas favorables de 40 a 55 % de humedad relativa y buena incidencia de luz. Se reproduce por huevos. Los huevos son de forma oval y de color amarillento o rojizo, que se encuentran en el envés de la hoja. Una vez nacida la araña, que ya posee seis patas, pasa por tres estados hasta llegar al de adulto. Si la temperatura es elevada y el ambiente seco, la multiplicación de la araña roja se incrementa cada vez más.

Es el parásito que más diversidad de hospedaje llega a tener. Se adapta a casi todo tipo de plantas. En climas templados se encuentra en cultivos como judía, pepino, entre otros. La araña roja se instala en el envés de la hoja alimentándose del jugo celular de la capa superficial de la misma (chupa la savia de la planta). Aparecen de inmediato unas manchas claras, sobre el haz y envés de la hoja, que definitivamente hacen que la hoja se torne completamente amarilla (excepto los nervios), se seque y muera. Estos daños son irreversibles. La araña roja es muy resistente y por consiguiente difícil de combatir, debido a que existen tres hembras por macho originando una elevada producción. Son resistentes y mutan con facilidad de una generación a otra (González, 2010).

3.7.1.4 Pulgón

También se le denomina vulgarmente "piojo". El pulgón verde ataca a mucha diversidad de especies botánicas. Las hembras son de color verde. Esta especie puede dar origen a pulgones alados. Las colonias de pulgones, se instalan en el envés de las hojas, siendo ahí su punto de ataque, produciendo diferentes daños en el limbo de las hojas. El pulgón tiene diferente color negro, amarillo, verde, con un tamaño de 1 a 3 mm. Sus patas son largas y finas, dos antenas y tiene forma de pera. Vive en el envés de las hojas y en tallos. Llega incluso a desarrollar un par de alas que le sirve para desplazarse de una planta a otra. El pulgón vive de forma masiva formando grandes colonias. Los pulgones poseen un aparato bucal del cual se prolonga un filamento largo que le sirve para introducirlo en el interior de las células de las hojas de la planta.

Los pulgones tiene una capacidad elevada de reproducción y en periodos muy cortos de tiempo las plantas están invadidas por ellos. Permanecen en la planta en la que nacen y tras varias generaciones crean unas alas que le sirven para migrar de unas plantas a otras. A veces estas migraciones se producen por unas inadecuadas condiciones climáticas para estos individuos. La reproducción tiene sus épocas, las hembras fecundadas suelen poner sus huevos donde pasarán todo el invierno hasta llegar la primavera para nacer.

Atacan a un gran número de plantas, judía, pepino, cereales, plantas ornamentales, etc. Con su aparato bucal extraen el jugo celular de la planta. Tienen una forma peculiar en la forma de alimentarse, lo hacen de tal forma que, no se aprecian daños visibles en la planta, ya que no rasgan las células, sino que la taladran con su filamento bucal. Con el tiempo aparecen los síntomas en las plantas, son: Deformación de hojas. Se amarillean, arrugan, secan. Transmiten enfermedades víricas debido a sus desplazamientos de unas plantas a otras. Producción de hongos. Porque aparecen sobre la superficie foliar una capa pegajosa que crea el pulgón y facilita la aparición de los hongos (González, 2010).

3.7.1.5 Orugas

Las orugas pertenecen a la familia de los lepidópteros. Existen más de 10,000 especies distintas. Sufren unas metamorfosis, ya que su aspecto de oruga indica su estado más joven de desarrollo. En estado adulto es una mariposa o polilla. La mayoría de las especies de orugas tienen las mismas características en cuanto a su desarrollo reproductivo y en cuanto al daño producido en las plantas u árboles. La oruga de la especie *Spodoptera exigua*, también conocida como "rosquilla verde" es muy conocida cada vez más por sus daños que se incrementan cada vez tanto en los cultivos en invernadero como al aire libre. Las hembras suelen poner sus huevos en el envés de las hojas, por la parte baja de la misma, cerca del suelo. Al abrirse el huevo sale la larva de él y comienza sus primeros ataques al cultivo. La larva suele tener una vida de 12 a 28 días. Al alcanzar el pleno desarrollo, la larva se desplaza hacia el suelo y fabrica sus galerías en el terreno, quedando en estado de pupa de la cual saldrá de ella el adulto ya formado. En estado de pupa la rosquilla verde, permanece unos 10 a 18 días. Atacan a diversas plantaciones. En invernadero produce daños en los cultivos de pimiento, sandía, melón. Y otros cultivos dañados son el tabaco, la patata, la col, el tomate.

Los daños son provocados, sobre todo, por las larvas que se alimentan de hojas y frutos. Ocasionalmente ocasionan agujeros en la superficie de éstas y mordeduras. Pueden originar la podredumbre del fruto y la hoja. Los daños son elevados (González, 2010).

3.7.1.6 Minador de hoja

Se conoce con el nombre científico de *Phyllocnistis citrella*, se trata de un lepidóptero. El minador de hoja es un insecto que vive en el interior de ésta realizando una serie de galerías, que acaba destruyendo la hoja por completo. También efectúa minas en el interior de tallos de brotes nuevos. Ataca a las plantaciones de cítricos. A consecuencia de estos ataques facilita la entrada de la bacteria causante de la cancrósis en los cítricos.

Los huevos de este tipo de minador de hoja son pequeños de un diámetro aproximado de 1 mm, son de color transparente (cristalino) que con el tiempo pasa a un color cremoso, forma ovoide. La incubación dura aproximadamente de 3 a 10 días. La larva sale al eclosionar el huevo, no posee patas, pero se mueve por los movimientos que va realizando con el tórax, tiene una mandíbula con una cuchilla. Tiene un tamaño de 3 mm y es de color amarillento. Los estadios larvarios son tres y tiene una duración aproximada de unos 8 a 10 días. En estado de prepupa la larva teje una especie de cámara pupal (capullo sedoso) que es de color amarillo. Después de la fase de prepupa está la fase de pupa, que es de color amarillo también pero más parduzca. Posee dos ojos y unos ganchos en la parte superior de la cabeza que sirve para romper el capullo sedoso y salir de él, impulsándose mediante convulsiones con su propio cuerpo.

En estado adulto es una mariposa pequeña de 2 a 4 mm de tamaño de color blanco platino y sedosa, con ojos compuestos, antenas largas y aparato bucal chupador sus alas son plumosas con

dos manchitas negras en su parte dorsal. La mariposa hembra suele de mayor tamaño que la mariposa macho. Ponen sus huevos en hojas jóvenes y tiernas sobre el envés y haz de la hoja y también en los tallos. El número de huevos que una hembra puede poner a lo largo de su vida es de 36 y 76. Su ciclo tiene una duración aproximada de unos 15 a 20 días, cuando existen unas condiciones climáticas adecuadas de 25°C de temperatura, humedad relativa de 40 a 60%.

Los daños son producidos por las larvas que se alimentan de los tejidos de las hojas jóvenes y tiernas excavando galerías dentro de ellas, y dejando solo por encima la cutícula de la hoja. La hoja acaba destruyéndose, curvándose y la cutícula acaba ennegreciéndose. Aunque las hojas queden destruidas por estos minadores la cosecha no se ve tan afectada. Si las condiciones climáticas son buenas (altas temperaturas) el minador incrementa más su actividad destructora en las hojas. La acción del minador de hoja provoca una elevada pérdida de masa foliar, reduciendo la capacidad fotosintética del árbol lo que produce la pérdida de vigor de éste (González, 2010).

3.7.2 Enfermedades

Las enfermedades son causadas por seres microscópicos como hongos, bacterias y virus; así el agente no es fácilmente reconocible pues hay millones de especies de estos seres microscópicos, y puede serlo algunas veces por la apariencia del cultivo, cuando ya se tiene la experiencia necesaria en el cuidado del mismo.

Los factores que hay que cuidar para que no se les den las condiciones adecuadas a los agentes patógenos son: los excesos de humedad o sequedad en la planta; la higiene personal y de los instrumentos de trabajo, pues nosotros mismos podemos ser el medio de transporte de esporas propagadoras de las enfermedades; atender totalmente los problemas de las plagas, dado que muchas de las plagas causan más daño por los patógenos que transmiten que por si mismas (González, 2010).

Los síntomas más comunes que se presentan y por lo cual nos podemos dar cuenta si se trata de una enfermedad son manchas o necrosis en tallo y hojas, deformidad o enrollamiento de las hojas, cambios de coloración en tallo y con respecto a la raíz hay que revisar que sea de color blanco, pues si hay coloración café puede ser un síntoma de alguna enfermedad. En hidroponía es mucho más fácil darse cuenta de esto último porque ya que no se siembra en tierra (con lo cual se confunde el color), en sustratos como agua la identificación de este síntoma no tendría la menor dificultad.

El Físico Antonio González, de la Facultad de Ciencias de la UNAM, aconseja tener como hábito buenas prácticas de cultivo para evitar la pérdida de plantas por alguna enfermedad o plaga. Unos de los aspectos más importantes que se mencionaron son:

- a) Podar las hojas dañadas, pues estas ya no le sirven a las plantas sino al contrario ya que son un foco de atención para los agentes patógenos.

- b) No dejar restos de las plantas en medio del cultivo, ya que puede ser un medio de expansión de la infección.
- c) Eliminar el exceso de follaje para que la planta tenga una mejor aireación y se evite el aumento en la humedad.
- d) El control de la temperatura (manual o automático) es muy importante, ya que a temperaturas extremas se puede propiciar muy fácilmente la aparición de alguna enfermedad.
- e) Podar con tijeras o cuchillas limpias, siempre que se utilicen hay que lavarlas y si se han podado plantas enfermas, se sugiere desinfectar con cloro o alcohol, antes del próximo uso.

3.8 COSTOS

El beneficio económico o rentabilidad es lo que se espera obtener mediante la explotación continua y sistemática de un cultivo hidropónico en superficies superiores a 30 metros cuadrados de cultivos, buscando obtener un rendimiento económico por los gastos incurridos y el trabajo realizado.

A modo de ejemplo: Un adecuado manejo de los cultivos hidropónicos ha demostrado en distintas experiencias y ensayos que el costo total de la producción por metro cuadrado se paga con la venta de 13 lechugas, estimándose además una pérdida de tres lechugas por metro cuadrado y por cosecha. Es imprescindible para ello establecer una programación que incluya todas las etapas por las que atraviesan los cultivos seleccionados como más promisorios, considerando condiciones ambientales, posibilidades técnicas de manejo y mercados disponibles para la venta. Lo importante es tener algún tipo de producto disponible para la venta en todas las épocas del año.

Para determinar la rentabilidad económica es necesario definir los costos de producción, el precio de venta y la diferencia entre éstos dos o la utilidad. Los costos de producción son de dos tipos:

- ◆ Costos de instalación de la huerta
- ◆ Costos necesarios para que funcione en cada período productivo

Los costos de instalación incluyen el valor de los contenedores, los plásticos, los sustratos, las mangueras, las herramientas y toda la inversión necesaria para empezar. Esta será amortizada a lo largo de varias cosechas. También se consideran aquí los equipos necesarios para la preparación, almacenamiento y aplicación de los nutrientes y los insecticidas naturales, tales como bidones, baldes, atomizadores y otros.

Los costos de funcionamiento comprenden el agua, los nutrientes, el aceite y los productos para el control de las plagas cuando hay que comprarlos (ajo, ají, etc.), un cuaderno para anotaciones técnicas y contables, y la mano de obra.

3.9 USO EN MÉXICO

El gobierno de la ciudad de México ha estado promoviendo el uso de las azoteas como zonas de cultivo hidropónico, llevando a cabo cursos comunitarios gratuitos, así como dando ayuda económica para la implementación del proyecto para las zonas interesadas.

Por otra parte en la Facultad de Ciencias de la UNAM, cada año se han estado llevando a cabo cursos abiertos a todo público, sin costo alguno e impartidos por el Físico Antonio González Guzmán. Con estas acciones lo único que se pretende es la transmisión de conocimientos y el aliento hacia las personas para que practiquen la hidroponía en sus casas o departamentos de una forma fácil, y sin la necesidad de gastar mucho dinero. A esta idea en general se le llama promoción de la hidroponía popular.

3.10 USO EN OTROS PAÍSES

Muchos estudios acerca de los beneficios sobre el uso de las azoteas para el cultivo han sido conducidos en Europa y Norteamérica, por lo que la mayor parte de la documentación acerca del tema ha sido producida por instituciones, gobiernos y comunidades de dichas partes del mundo.

El gobierno de Cuba facilitó la agricultura urbana dando acceso a los agricultores al uso de la tierra que no se utilizaba, con la finalidad de utilizar los espacios desocupados para la obtención de recursos alimenticios en la ciudad (Bhatt y Kongshaug, 2000).

En Pretoria, Sudáfrica se ha incorporado la agricultura urbana dentro de sus espacios abiertos y han apartado la tierra para la agricultura urbana en algunos sectores designados, de la ciudad. En adición, el gobierno municipal de Dar en Tanzania, ha mostrado un buen soporte de la agricultura urbana a varios niveles políticos y es ahora aceptada como un uso más para la tierra en la ciudad (RUAF, 2002).

3.11 APLICACIONES PARA BIOCOMBUSTIBLES

En Nueva York, la hidroponía se utiliza como un método de generación de biocombustibles, el cual comprende vincular operacionalmente un reactor anaerobio con un sistema hidropónico de producción de energía de la biomasa de los cultivos en una relación simbiótica. El sistema hidropónico continuamente está provisto de biomasa, proveniente de los cultivos, con alto contenido de energía que es utilizada como materia prima para el digester anaerobio y este último a su vez proporciona nitrógeno al sistema hidropónico como un nutriente, para facilitar el crecimiento de la biomasa en los cultivos. El reactor anaerobio provee, además, el dióxido de carbono necesario para el cultivo hidropónico, de valor alimenticio, para estimular la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas de los cultivos. El reactor anaerobio produce también combustibles como el gas metano durante el proceso de la digestión (Tessel, 2008).

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

En este estudio se ha realizado un análisis de la factibilidad de la implementación de la siembra hidropónica en azoteas del cultivo oleaginoso llamado colza con el fin de producir biodiésel para su utilización en el transporte interno de Ciudad Universitaria, (específicamente para el Pumabús).

Sabiendo la magnitud de la revolución que ha causado alrededor de todo el mundo la controversia entre la producción de cultivos con fines alimenticios o energéticos, uno de los puntos a tratar en este estudio es la rentabilidad del uso de las azoteas de algunos de los edificios en CU como área de cultivo sin la necesidad de utilizar la tierra como sustrato de cultivo.

4.1 HIDROPONÍA

Se llevó a cabo la siembra de 20 semillas de la colza comercial y 7 más, cruza entre especies, proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El método hidropónico de siembra fue en sustrato sólido y con riego manual.

La siembra se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias con ayuda del Físico Antonio González Guzmán, fundador del Taller de hidroponía *Atlamehualco*, ubicado en la azotea de la cafetería de dicha Facultad, en Ciudad Universitaria (UNAM).

Se siguieron los siguientes pasos de siembra en el tratamiento del cultivo:

4.1.1 Germinación

Se utilizó una caja de petrificados con un papel filtro en el fondo humedecido con agua destilada, para poner a germinar las semillas, tal como lo muestra la Fig. 4.1. Las semillas que se ven azules ya han sido desinfectadas. La desinfección se lleva a cabo para evitar que las semillas se dañen por alguna enfermedad o plaga al ser sembradas.

Después de haber acomodado todas las semillas dentro se tapó la caja de petrificados (la tapa se marcó con el nombre del cultivo y fecha correspondiente para ser llevada dentro de una caja de unicel, la cual se encuentra acondicionada para controlar la temperatura interna, esto con el fin de darle a las semillas las condiciones necesarias para su germinación. Así entonces, la temperatura se mantuvo en 35 °C (temperatura recomendada por el profesor Antonio de acuerdo a su experiencia en germinación).

A la semana siguiente se observó que ya habían germinado las semillas, por lo que fue tiempo de la siembra en almácigo (sustrato que sirve para el desarrollo de la plántula).

Para lo cual se tuvo que realizar la selección de plántulas. En este caso de las 27 semillas puestas a germinar, solo emergieron 20 con un desarrollo muy uniforme. Por lo que estas 20 plántulas, ya listas para ser cultivadas en almácigo, se mantuvieron tapadas en la caja de

petrificados, mientras se preparaba la mezcla de los sustratos y el soporte donde se llevaría a cabo el trasplante, para que no se diera un alargamiento.



Fig.4.1 Colocación de las semillas en la caja de petrificados para su germinación

4.1.2 Desarrollo de la plántula en almácigo

El sustrato se preparó con la mezcla de fibra de coco con perlita en proporción 3:1 respectivamente. Dando como resultado un sustrato con buena retención de agua (por la fibra de coco) y buena aireación (por la perlita).

Esta mezcla se repartió en varios vasitos de plástico anteriormente acondicionados con agujeros en la base y una tira de toalla de cocina que le sirve a la planta para obtener por capilaridad los insumos de agua requeridos, después a cada almácigo se le hizo un pequeño espacio con la parte chata de un lápiz o un bolígrafo, que es la parte donde se introduce la plántula.

La secuencia de la preparación del almácigo se puede observar en las Figuras 4.2 a 4.8



Fig. 4.2 Perforación de la base de los contenedores



Fig. 4.3 Fracción de toalla de cocina



Fig. 4.4 Armado del contenedor



Fig. 4.5 Contenedor terminado



Fig. 4.6 Llenado del contenedor con sustrato



Fig. 4.7 Preparación del sustrato



Fig. 4.8 Sistema listo para la siembra

Ahora bien, para la siembra se humedeció un poco el sustrato con agua y con la ayuda de unas pinzas se tomó la plántula cuidando que no se fuese a ocasionar alguna fractura. Así se colocó en el agujero hecho con la pluma y se cubrió totalmente la raíz, dejando sobre la superficie solo los cotiledones tal como se muestra en las Figuras 4.10 y 4.11

Con anticipación se preparó el soporte para los vasitos, con espuma de policarbonato (Fig. 4.9) y dos bandejas de plástico llenas con la solución nutritiva “Hidrociencias” (ver Tabla 3.1).

Algo que hay que considerar en esta parte es el alcance de este proyecto, el cual no incluye el llevar a cabo la fórmula exacta para la siembra de colza. Pues habría que realizar análisis de laboratorio del agua que se maneja en Ciudad Universitaria y de la planta, específicamente. Lo cual requiere de inversión.



Fig. 4.9 Perforación del soporte

Además, para el cálculo de una solución nutritiva hay que saber los requerimientos exactos de macro y micro elementos de la planta, lo cual aún no se encuentra en la literatura consultada. Solo se conocen los requerimientos en fertilizantes cuando el cultivo es sembrado en tierra. Pero finalmente, según la experiencia del profesor Antonio, teniendo una solución base con el tiempo se pueden ir haciendo correcciones en las proporciones de los nutrientes viendo como reacciona el cultivo, hasta obtener una solución óptima, pues en realidad es como han llegado a las proporciones ahora conocidas de los cultivos que se siembran usualmente por hidroponía (González, 2010). Para este caso en particular utilizando la solución hidropónica *Hidrociencias* se obtuvieron buenos resultados, pues las plantas tuvieron un buen crecimiento.



Fig. 4.10 Plántula trasplantada



Fig. 4.11 Cotiledones sobre la superficie

Una vez montado todo el sistema, se llevó dentro de uno de los invernaderos para que el cultivo continuara su desarrollo. Los invernaderos están contruidos de polietileno tratado, el cual se coloca sobre una estructura de metal con un sistema de aireación hecho a base de un tubo de PVC (Figuras 4.12 y 4.13).



Fig. 4.12 Invernadero en construcción



Fig. 4.13 Sistema de aireación

Después de tres semanas las plantas lucían ya un tallo y sus primeras hojas tal como se puede observar en las Figuras 4.14 y 4.15.



Fig. 4.14 Plántulas después de 15 días



Fig. 4.15 Plántulas listas para el trasplante

4.1.3 Trasplante a sustrato definitivo

Después de mes y medio de haberlas pasado al almácigo, las plantas ya tenían una altura de aproximadamente 15 cm, por lo cual se llevó a cabo el trasplante hacia el sustrato definitivo en bolsas de plástico para siembra (Figuras 4.16 y 4.17). Las bolsas se colocan sobre un soporte por encima del suelo (Fig. 4.18), de tal forma que el drenado del riego no sea interrumpido, con el fin de evitar se provoque la acumulación de humedad y con ello se ocasione que la planta se enferme.

El sustrato utilizado fue tezontle con fibra de coco y se eligieron por su bajo costo y disponibilidad, además, el profesor Antonio recomienda mucho esta mezcla por sus buenos resultados con otros cultivos, como el jitomate (González, 2010). A partir de ese momento se estuvo regando el cultivo con la solución nutritiva y agua.

Por falta de tiempo no se hicieron las mediciones del volumen administrado de solución y de agua, pero es importante que se rieguen diariamente con la solución nutritiva y que por lo menos una vez por semana se rieguen con agua para ayudar al drenaje de las sales en el sustrato.



Fig. 4.16 Plántulas antes del trasplante



Fig. 4.17 Plántulas trasplantadas



Fig. 4.18 Bolsas colocadas sobre un soporte por encima del suelo

Después de transcurridos dos meses se observó el surgimiento de varias hojas, el tallo se hizo más robusto y se comenzaron a notar algunas flores tal como se muestra en las Figuras 4.19 y 4.20.



Fig. 4.19 Floración de la colza



Fig. 4.20 Plantas en crecimiento

Cuando la floración estaba terminando, tal como se muestra en la Figura 4.21 se realizó la cosecha. Cuando se trasplantaron las plantas se colocaron al aire libre y no se cubrieron completamente, habiendo solo una red contra pájaros en la parte superior. Y aunque durante todo su crecimiento las plantas no presentaron enfermedades ni plagas, cuando emergieron las vainas hubo un ataque por pájaros, los cuales se alimentaron de las vainas y algunas hojas de las plantas (Fig. 4.22).

Con ello se observa que lo único que se requiere entonces, en la etapa del trasplante para este cultivo, es una protección contra pájaros que cubra completamente el área y no un invernadero, lo cual reduce en gran medida los costos.



Fig. 4.21 Etapa de cosecha



Fig. 4.22 Planta atacada por pájaros

Las vainas que se muestran en la Figura 4.23 están aun en maduración, pero se cosecharon porque estaban en riesgo de ser el alimento de los pájaros. Así, después de la cosecha solo se ponen en un lugar a salvo de factores como humedad, temperaturas extremas y plagas, para que terminen de madurar y se pueda llevar a cabo la extracción de las semillas de las vainas. La maduración se dio en 5 días más.



Fig. 4.23 Vainas semi-maduras

Cosechadas las semillas habría que llevarlas al área de almacenamiento para su análisis, y mantenimiento; etapa anterior a la extracción del aceite. Una vez analizadas, las semillas se llevan al área de extracción de donde se obtendrá el aceite que a través del proceso de transesterificación quedará listo para ser utilizado en el sistema de transporte universitario.

Se obtuvo un rendimiento de 500 vainas por planta, con una siembra de 5 plantas por metro cuadrado. En promedio se obtuvo un número de 27 semillas por vaina. Chay y Thurling (1989b) mencionan una masa de 4.61mg por semilla y Abderrahim y col. (2005) registran un rendimiento del 40% de aceite en la semilla con una densidad de 0.879 kg/L.

Entonces se tiene un rendimiento de 1416 L/ha si se siembra por el método hidropónico, a diferencia de lo registrado por Charles y Todd (1998) de 934 L/ha sembrando en tierra.

En la etapa del trasplante se tendrá un acomodo por hileras dobles de las bolsas sobre una estructura de metal, de tal forma en que el uso del área sea más eficiente (Fig. 4.24).

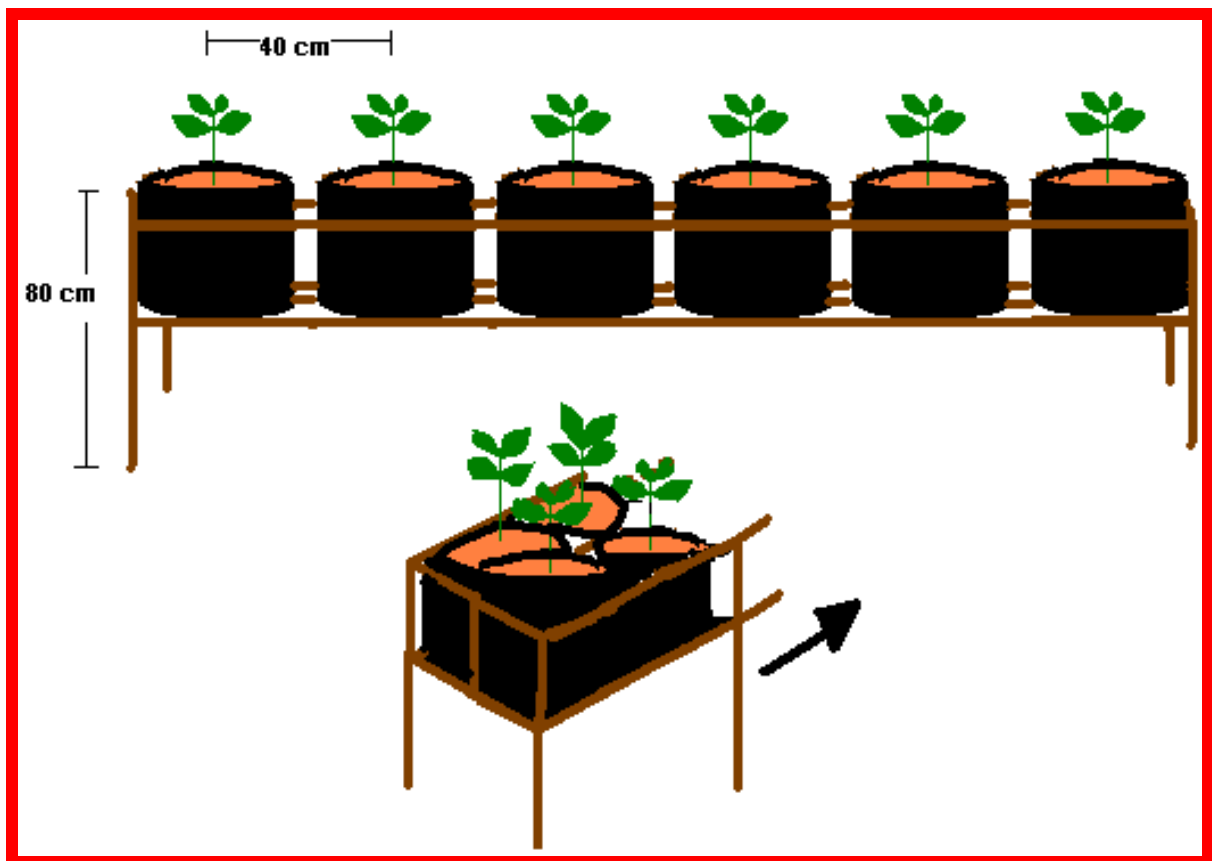


Fig. 4.24 Sistema de cultivo por bancadas dobles. Vista lateral y acomodo de las dos filas en el experimento.

El sistema llevará integrado un sistema de riego por goteo para que continuamente se esté alimentando al cultivo de acuerdo a sus necesidades diarias.

4.2 CULTIVO DE COLZA

El cultivo de la colza por el método hidropónico puede verse resumido en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Mini manual para la siembra hidropónica de colza

Periodo	Requerimientos	Cuidados	Materiales y sustancias
Almácigo	T= 18-40 °C Siendo lo mas adecuado mantenerla en 30 ° C aproximadamente para la germinación de las semillas y después, cuando ya hayan emergido los cotiledones se puede mantener a temperatura ambiente (condiciones en CU). PH entre 6-7	La siembra se llevará a cabo en la mezcla de sustratos conformada por peat moss y perlita (en proporción 5:1, respectivamente), en vasitos ya adaptados para la siembra. Donde no se necesitará de la tira de toalla pues las charolas al tener ya la forma del vasito lo único que se hará es ponerla sobre la solución nutritiva. Se coloca la semilla en el agujerito y se cubre sin llegar a apretar la semilla. Una vez hecho esto se colocan en las charolas llenas de solución nutritiva (el llenado de la charola se lleva a cabo dejando un espacio de 2 cm entre la charola y el nivel de la solución). Dejar en esta etapa hasta que las plantas midan aproximadamente 15 cm. Si se observara durante este periodo la presencia de algún cambio en el aspecto del cultivo hay que consultar el apartado 3.7 para el tratamiento de plagas y enfermedades.	Materiales: Vasitos de plástico gelatineros, caudín (para hacer los agujeritos en la base de los vasitos). Vasos de crema o cucharas de plástico (bien lavados) para ayudarse en el llenado de los vasitos. Instrumentos agrícolas. Charolas de plástico (estas son especiales para la siembra en almácigo como la que se muestra en la Figura 4.25). Invernadero con control de temperatura. Sustancias: Perlita, peat moss, solución nutritiva.
Trasplante	Temperatura ambiente, ambiente libre de plagas, luz moderada, podas, riego, pH entre 6-7	Cuando la planta llega a los 15 cm aproximadamente, se pueden trasplantar al sustrato definitivo. El sustrato se debe preparar primero. Se utilizará tezontle con un poco de fibra de coco en proporción 5:1 respectivamente. Para una producción como la que pretende este estudio no se utilizarán bolsas individuales, sino que se utilizará un sistema continuo de plástico (Fig. 4.23) el cual se llena del sustrato húmedo y después se hacen agujeros con una profundidad de 5 cm aproximadamente. Para el trasplante se debe tener cuidado con no maltratar las raíces al desprender el vasito del sustrato. La plántula, junto con lo que se queda pegado del sustrato en sus raíces, se coloca en el agujero cubriendo toda la raíz con sustrato. Las plántulas se siembran con una separación de 20 cm entre ellas (Fig. 4.24). El riego se llevará a cabo por el método de goteo. En este periodo hay que tomar medidas de prevención de plagas y enfermedades. Las plantas permanecerán aquí durante todo lo que le resta del ciclo de vida, esto será de aproximadamente 4 meses.	Materiales: Tiras de polietileno (especiales para siembra), soportes hechos de herrería, sistema de riego por goteo, red para evitar el exceso de luz y el ataque de plagas, guantes multiusos. Sustancias: Solución nutritiva, agua, tezontle, fibra de coco. Insecticidas y/o pesticidas. Jabón detergente y cloro para el lavado de los vasitos desocupados y de los instrumentos de trabajo.
Solución hidropónica	N:60 P:15 K:65 Ca:33 Mg:10 S:12	Por cada m ³ de agua de CU., agregar 1 kg de CaNO ₃ ; 220 g de KPO ₄ ; 500 g de MgSO ₄ ; 450 g de KNO ₃ ; 80 g de ácido cítrico; 40 g de Brexil combi y 5 g de quelato de hierro.	Materiales: Balanza granataria, Recipientes de plástico, Tanque de almacenamiento para la solución, conductímetro, pHmetro. Sustancias: Agua y compuestos necesarios.
Podas	La colza no necesita podarse muy seguido, solo cuando se detecte alguna hoja amarillenta o enferma hay que podarla. Así también cuando se suscite una mala distribución de luz entre las hojas superiores e inferiores hay que podar un poco en la parte superior de la planta.	La colza no necesita podarse muy seguido, solo cuando se detecte alguna hoja amarillenta o enferma hay que podarla. Así también cuando se suscite una mala distribución de luz entre las hojas superiores e inferiores hay que podar un poco en la parte superior de la planta. Hay que procurar mucha higiene para no convertirse en el transporte de esporas y plagas que puedan dañar al cultivo.	Materiales: Tijeras para podas, una bolsa para los desechos, guantes multiusos. Sustancias: Jabón detergente para lavar los materiales utilizados.

Continuación Tabla 4.1

Periodo	Requerimientos	Cuidados	Materiales y sustancias
Plagas y enfermedades	Las plagas más importantes son los pulgones y gusanos defoliadores los cuales son controlados mediante insecticidas convencionales como el dimetoato y piretroides	Existen productos preventivos inocuos, de plagas, como el biocrack, contracar, thurinsect o soluciones jabonosas. Y por otro lado están los correctivos como el confidor para los chupadores, el decis para orugas y pulgones o el karate que sirve para cualquier plaga o los remedios caseros como la capsaicina. Para el control de las plagas también suelen utilizarse las trampas cromáticas, también hay que tener un control de la humedad y un buen riego pues algunas veces el agua puede ayudar con el arrastre de las plagas, hay que podar las hojas enfermas con mucha higiene y verificar que haya buena aireación en el cultivo.	Materiales: Recipientes de plástico, tijeras para poda, una bolsa para los desechos, tapa bocas, cartulinas de color amarillo fosforescente, guantes multiusos, higrómetro. Sustancias: Agua, pesticidas.
Almacén	Se llevan a cabo análisis de contenido de ácidos grasos, conductividad, pH y del olor de las semillas al abrirlas. Se juzga la apariencia de las semillas (su color), su grado de humedad.	Se llevan a cabo análisis de contenido de ácidos grasos, conductividad, pH y del olor de las semillas al abrirlas. Se juzga la apariencia de las semillas (su color), su grado de humedad.	Laboratorio



Fig.4.25 Charolas especiales para la siembra en almácigo

4.3 CASO DE ESTUDIO

Se busca la producción de biodiésel con el fin de abastecer la línea de camiones conocidos como Pumabús, del sistema de transporte colectivo, que circula dentro del circuito de Ciudad Universitaria. Para lo cual se propone la siembra del cultivo llamado Colza, el cual es sembrado a partir de sus semillas.

El estudio se enfoca en el cultivo de Colza en un medio distinto del suelo agrícola conocido como hidropónico, con el fin: de obtener un rendimiento mayor del cultivo (del que se obtendría sembrando en tierra), hacer a un lado el dilema de la prioridad en el uso del suelo, aprovechar los espacios inutilizados (azoteas de los edificios) para obtener un beneficio comunal (generación del biocombustible y la creación de un nuevo enfoque para la investigación), y en general con el fin de frenar el cambio climático global coadyuvado, en gran medida, por el uso indiscriminado de los combustibles fósiles.

4.4 TRANSPORTE UNIVERSITARIO

La red de transporte interno es un sistema que cuenta con autobuses tipo urbano de servicio medio-pesado que se caracterizan por realizar recorridos cortos y paradas frecuentes, así como también por la ausencia de equipo e instalaciones para viajes de largas distancias. Son camiones de marca Mercedes Benz con modelos desde 1995 a 2005 y usan motores de combustión interna con diésel como combustible. La inyección es directa y utiliza el sistema UPS para su operación. Operan bajo la normatividad americana EPA 2004 para la regulación en emisión de contaminantes y con especificaciones de hasta 250 HP de potencia. En 2008, la red de transporte universitaria aumento la flota vehicular a 61 unidades, manteniendo de 50 a 55 unidades circulando continuamente de lunes a viernes, según la demanda del servicio, fallas en transportes, mantenimiento, entre otras. Actualmente cubren 10 rutas establecidas con 2 paraderos principales: el paradero oriente, situado en la estación del metro CU, donde parten las rutas 1, 2, 3, 4 y 5, el paradero poniente, ubicado en el estacionamiento 1 del Estadio Olímpico Universitario para las rutas 6, 7 y 8, y un tercer punto de partida con dos paraderos ubicados en ambas salidas de la nueva estación del MetroBús para las rutas 9 y 10. En la Figura 4.26 se muestra la red del transporte interno universitario.

Para los fines de este estudio se ha elegido la ruta 6 (Figura 4.27), como base para el cálculo del combustible requerido, al ser la de mayor consumo de combustible diésel dado el mayor kilometraje de recorrido. Esta ruta cuenta con una longitud de 10.2 km y cada unidad de Pumabús circula un aproximado de 45 vueltas por día, resultando en 4,599 km de distancia recorrida diariamente y 113,832 km durante el periodo laboral de 248 días al año.

Según datos técnicos de los camiones, el rendimiento del combustible por motor a carga plena es de 0.5 L/km, siendo un total de 54,427 L/año de diésel consumido por unidad de transporte y representando un gasto económico de 482,387 pesos/año en combustible ya que el precio actual del diésel (PEMEX, 2010) es de 8.4 pesos/L.

La información de la red interna del transporte universitario empleada para el desarrollo de este trabajo fue proporcionada por la Secretaría General de Servicios Generales (SGSG), área del transporte interno universitario Pumabús a cargo del Sr. Agustín Valdez y Sr. Heberto Olivos.

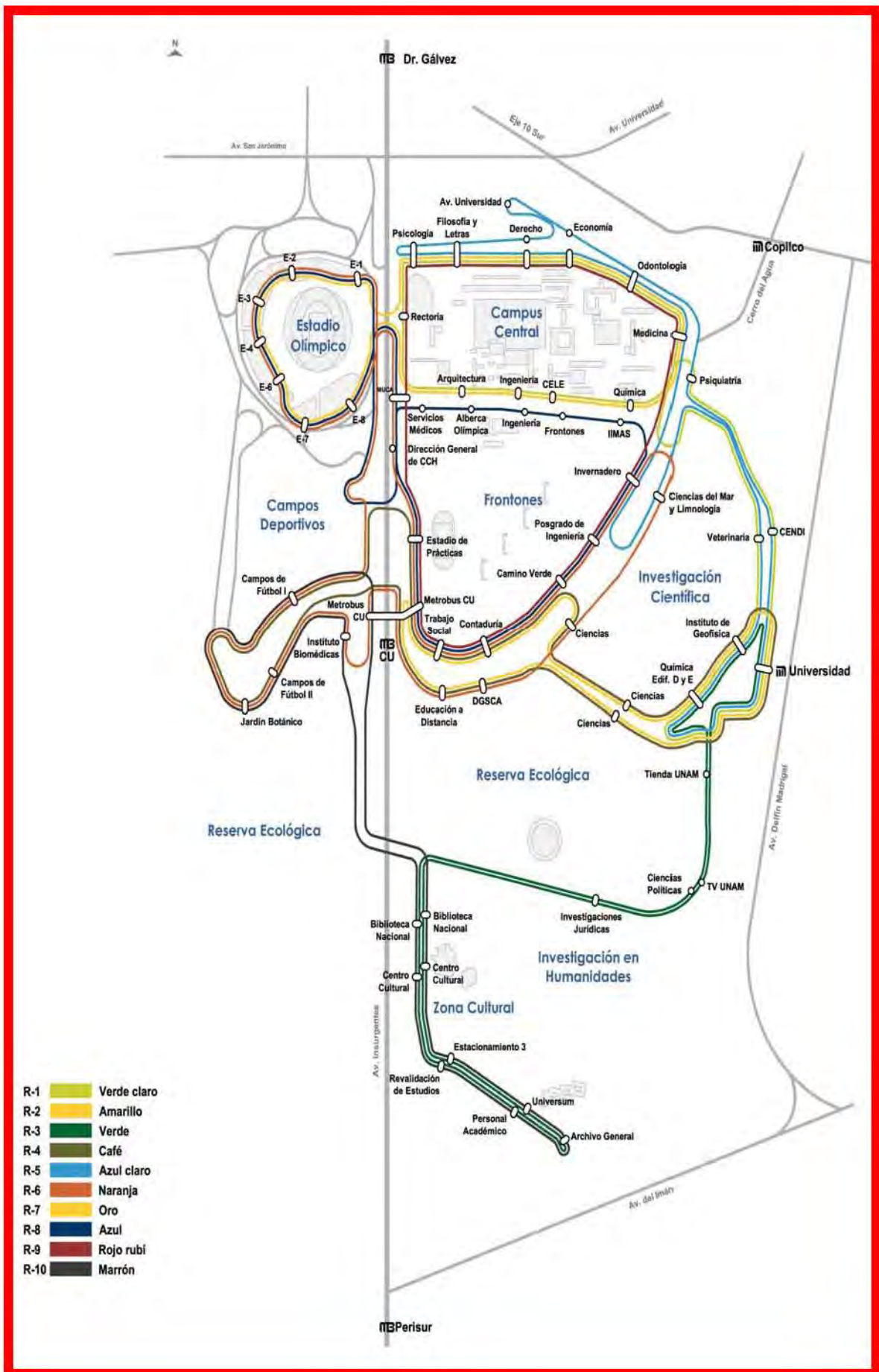


Fig. 4.26 Red de transporte interno en Ciudad Universitaria



Fig. 4.27 Ruta 6 de la Red del transporte universitario en CU

Para la obtención del biocombustible requerido por un Pumabús se llevó a cabo una hoja de cálculo, la cual se resumen en las Tablas 4.2 a 4.7.

Tabla 4.2. Datos de operación del Pumabús

Pumabús	
Recorrido	10.2 km/vuelta
Vueltas/día	45
Gasto de diésel	0.5 L/km
Periodo laboral	248 días/año

Tabla 4.3. Datos químicos y energéticos del diésel

Diésel		Referencias
PCs	44.7 MJ/kg	(Conuee, 2010)
$\rho(15.5^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})$	0.8 kg/L	(Conuee, 2010)
Precio	8.4 \$/L	(PEMEX, 2010)

Tabla 4.4. Datos del biodiésel de colza

Biodiésel de colza		Referencias
PCs	40.7 MJ/kg	(Charles y Todd, 1998)
$\rho(15^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})$	0.8 kg/L	(Abderrahim y col., 2005)
Rendimiento	1,416 L/ha	Hidropónico

Para un remplazo al 100% (B100):

Tabla 4.5. Recorrido del autobús por día y consumo de diésel

Pumabús			
Recorrido	459 km/día		
Consumo de diésel	230 L/día	56,916 L/año	4,743 L/mes

Tabla 4.6. Especificaciones energéticas del diésel y el gasto económico por su uso

Diésel			
Densidad energética	38.68 MJ/L		
Consumo energético	8,877 MJ/día	2,201,424 MJ/año	183,452 MJ/mes
Costo en pesos	1,928 \$/día	478,094 \$/año	39,841 \$/mes

Tabla 4.7. Litros requeridos de biodiésel para un Pumabús, así como las hectáreas a sembrar

Biodiésel			
Consumo	269 L/día	66,777 L/año	5,565 L/mes
Área de siembra	0.2 ha/día	47 ha/año	3.9 ha/mes

La Tabla 4.8 muestra los resultados del aporte energético por parte de cada combustible, flujo requerido de biodiésel para cada mezcla y hectáreas a sembrar por caso

Tabla 4.8. Requerimientos para varias mezclas diésel-biodiésel

Mezcla	Diésel MJ	Biodiésel MJ	Consumo			Área de sembrado		
			(L/día)	(L/año)	(L/mes)	Ha/día	Ha/año	Ha/mes
B5	8,496	381	12	2,268	189	0.01	2.02	0.17
B20	7,317	1,559	47	11,730	977	0.03	8.28	0.69
B50	4,792	4,085	124	30,727	2,561	0.09	21.70	1.81
B80	2,013	6,864	208	51,632	4,303	0.15	36.46	3.04

Se observa que si se reemplaza en 100 % el uso de diésel en un solo Pumabús habrían que sembrarse 47 ha/año y si se realiza para los 55 Pumabuses que operan diariamente se tendrían que sembrar un aproximado de 2,585 ha/año. Lo cual implicaría una gran inversión.

Por otro lado, ya que el incremento en las emisiones de NOx, están directamente relacionadas con la cantidad de biodiésel adicionada en la mezcla, se ha decidido cubrir solo el 5 % del requerimiento en un primer alcance de este proyecto.

CAPÍTULO V: FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

5.1.1 Ubicación

El proyecto está planeado para el abastecimiento en combustible de los autobuses conocidos como *Pumabus*, que operan dentro del circuito de Ciudad Universitaria, cede de estudios perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada al Sur de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en las coordenadas 19° 20' 01" latitud Norte y 99° 11' 54" longitud Oeste, a una altitud de 2268 msnm. Aunque se encuentra dentro de la zona urbana, esta rodeada por áreas verdes, su clima es templado con lluvias en verano según el sistema de clasificación climática de Köppen (Cw).

Para el proceso de cultivo se han tomado en consideración los edificios A y B de la división de estudios de posgrado en la Facultad de Ingeniería y los edificios A, B y C de la Facultad de Química. Ubicados en la parte noreste de Ciudad Universitaria (Fig. 5.1)



Fig. 5.1 Ubicación de los edificios propuestos para el cultivo hidropónico en Ciudad Universitaria

El área construida destinada a la división de estudios de posgrado es de 14,389 m² y para la Facultad de Química de 55,476 m². De lo cual hay que restar el espacio utilizado para diversos fines como sistemas de ventilación, techos de arquitectura no plana (como es el caso del laboratorio de ingeniería química), entre otros. En las Figuras 5.2 y 5.3 se observa el espacio disponible en el área propuesta para la siembra.



Fig. 5.2 Vista aérea de la Facultad de Química: Edificios A, B, C y el Laboratorio de IQ



Fig. 5.3 Vista aérea del Posgrado de Ingeniería: Edificios A y B

Para fines de diseño se tomará como ejemplo el edificio B del posgrado de Ingeniería (ANEXO 2). La distribución planeada para esta azotea es la que se muestra en la Figura 5.4 para la siembra y almacenamiento de la colza.

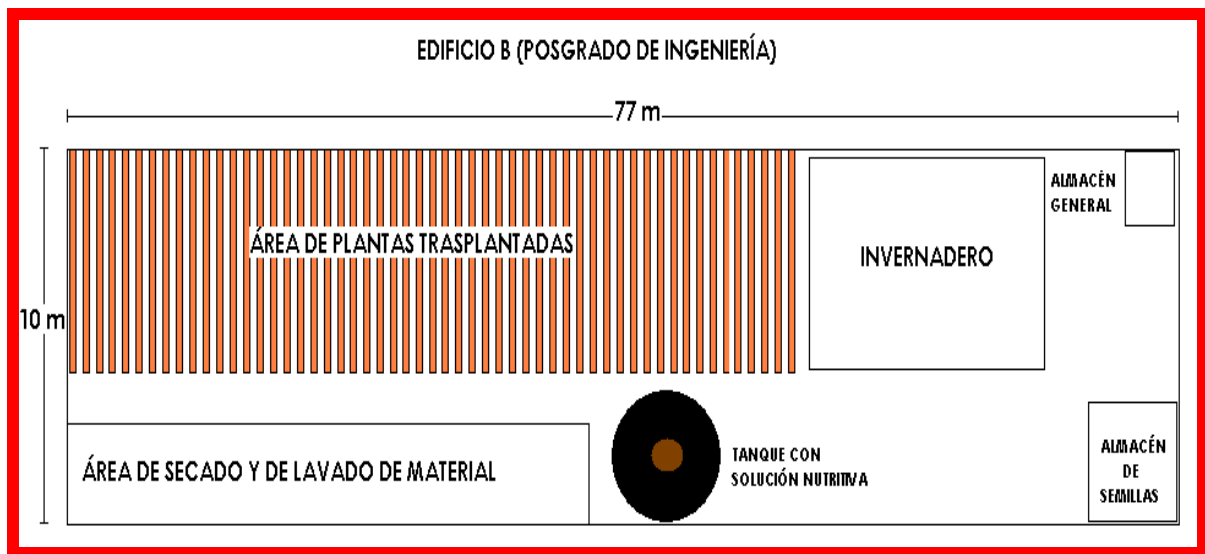


Fig. 5.4 Edificio B del posgrado de ingeniería con la distribución del área propuesta para la siembra hidropónica

5.1.2 Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento de equipos e instalaciones se llevarán a cabo dividiendo todo el proceso. Considerando, primero el análisis para la parte del cultivo de la materia prima y después para la parte del procesamiento de la misma.

5.1.2.1 Cultivo hidropónico

Se llevarán a cabo siembras cada 3 semanas con el plan de trabajo que se muestra en la Tabla 5.1 (realizado utilizando el software para planeación Microsoft Project 2000).

Ya que la producción para este proyecto es por hectáreas, entonces el periodo de germinación se llevará a cabo en el almácigo directamente y dentro del invernadero, donde habrá un sistema de control de temperatura. Se especificó que la semana laboral es de 5 días, con 8 horas diarias de trabajo. Se especificó asimismo la duración estimada de cada actividad para que el programa pudiera calcular la duración total del proyecto.

Otro aspecto es la mano de obra, para lo cual se utilizaron como supuesto 26 personas laborando durante todo el ciclo de siembra. Se distribuyó al personal de acuerdo al tiempo y dificultad de cada actividad.

El programa dió un resultado de 194 días como duración total del ciclo de siembra.

Con respecto al personal, en el caso de la siembra se espera formar un programa para los alumnos que quieran llevar a cabo su servicio social, en el cual ellos podrán obtener experiencia en el cultivo hidropónico, además conocer el proceso de la obtención del biodiésel se emplearían las 480 horas del servicio en colaboración con este plan de trabajo.

Tabla 5.1 Plan de trabajo para el cultivo de la colza

Nombre de la actividad	Duración (días)	Comienza	Termina	Recursos humanos
Siembra hidropónica	194	30/03/2010	24/12/2010	
Almácigo	60	30/03/2010	21/06/2010	
Preparación de la solución nutritiva	1	30/03/2010	30/03/2010	M,G
Desinfección de los materiales e instrumentos	0.5	30/03/2010	30/03/2010	M,P
Desinfección de las semillas	0.5	30/03/2010	30/03/2010	M,P
Preparación de la mezcla de sustratos	1	30/03/2010	30/03/2010	R,G,J
Preparación de los soportes	2	31/03/2010	01/04/2010	Ma,Ka,Xo,Na,Pa,Lu
Preparación de los almácigos	2	02/04/2010	05/04/2010	Ma,Ka,Xo,Na,Pa,Lu,M,P,R,G,J,L
Siembra de las plántulas en el almácigo	1	06/04/2010	06/04/2010	Ma,Ka,Xo,Na,Pa,Lu,M,P,R,G,J,L
Periodo de crecimiento	55	06/04/2010	21/06/2010	M
Trasplante	106	30/03/2010	24/08/2010	
Preparación de la solución nutritiva	1	18/06/2010	18/06/2010	Na,P
Desinfección de materiales	0.5	30/03/2010	30/03/2010	Ma,Ka
Preparación de la mezcla de sustratos	1	18/06/2010	18/06/2010	Ta,Om,Ca,Pi,Sa,Bl,Ye,Da,Ab,Ro,Du
Llenado de las líneas de siembra con el sustrato	2	21/06/2010	22/06/2010	Ta,Om,Ca,Pi,Sa,Bl,Ye,Da,Ab,Ro,Du
Trasplante de las plantas	2	23/06/2010	24/06/2010	Ta,Om,Ca,Pi,Sa,Bl,Ye,Da,Ab,Ro,Du
Periodo de floración	45	23/06/2010	24/08/2010	Bl
Poda	181	30/03/2010	07/12/2010	
Desinfección de los instrumentos	0.5	30/03/2010	30/03/2010	L,J
Poda de las plantas	1	25/08/2010	25/08/2010	Xo,Ka,Na
Periodo de fructificación	75	25/08/2010	07/12/2010	
Cosecha	194	30/03/2010	24/12/2010	
Desinfección de materiales e instrumentos	0.5	30/03/2010	30/03/2010	Pa,Lu
Cosecha de las vainas	2	08/12/2010	09/12/2010	Ta,Om,Ca,Pi,Sa,Bl,Ye,Da,Ab,Ro,Du
Desgranado	2	10/12/2010	13/12/2010	Ma,Ka,Xo,Na,Pa,Lu,M,P,R,G,J,L
Limpieza de las semillas	1	14/12/2010	14/12/2010	Ta,Om,Ca,Pi,Sa,Bl,M,P,R,G,J,L
Análisis de las semillas	8	15/12/2010	24/12/2010	Ya
Recopilación de los restos del cultivo	1	10/12/2010	10/12/2010	Ta,Om,Ca,Pi,Sa,Bl,Ye,Da,Ab,Ro,Du
Limpieza general del área	1	13/12/2010	13/12/2010	Ma,Ka,Xo,Na,Pa,Lu
Transporte de los residuos al área de composta	1	13/12/2010	13/12/2010	Tr
Almacenamiento	2	14/12/2010	15/12/2010	
Puesta en silos	1	14/12/2010	14/12/2010	Ye,Da,Ab,Ro,Du,Ma,Ka,Xo,Na,Pa,Lu
Transporte de las semillas al almacén	1	15/12/2010	15/12/2010	Tr

Las sílabas y letras utilizadas en la parte de recursos humanos suponen ser las primeras letras de los nombres de las personas involucradas en el trabajo.

Los periodos de siembra se distribuirán mensualmente como se muestra en la Tabla 5.2. De acuerdo al programa de siembra, en el primer año se tendrán casi 4 lotes cosechados y después de

este periodo se continúa con la siembra continua para el abastecimiento de la materia prima para la producción de biodiésel.

Tabla 5.2 Organización de los periodos de siembra por lote

Periodo \ Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Almácigo	Siembra Lote 1	Crece Lote 1										
Almácigo			Siembra Lote 2	Crece Lote 2								
Almácigo					Siembra Lote 3	Crece Lote 3						
Almácigo							Siembra Lote 4	Crece Lote 4				
Sustrato			Tras Lote 1	Crece Lote 1	Crece Lote 1	Crece Lote 1	Cosecha Lote 1					
Sustrato					Tras Lote 2	Crece Lote 2	Crece Lote 2	Crece Lote 2	Cosecha Lote 2			
Sustrato							Tras Lote 3	Crece Lote 3	Crece Lote 3	Crece Lote 3	Cosecha Lote 3	
Sustrato									Tras Lote 4	Crece Lote 4	Crece Lote 4	Crece Lote 4

El número de plantas por lote se define de acuerdo a los requerimientos mensuales de los autobuses, que acorde a los cálculos hechos en el apartado 4.4. Del área construida de 14,389 m² y 55,476 m² suponemos que las azoteas representan el 1 %, por lo que se contaría con un área total de 1 hectárea, aproximadamente.

Existe una secuencia del uso del área de siembra entre almácigo y trasplante, así se tiene, que cuando se trasplanta el lote 1 en el espacio desocupado entra el lote 3 y cuando se cosecha el lote 1 se trasplanta el lote 3 y este a su vez le deja el espacio al lote 4 para su siembra.

Con respecto al área de siembra en el edificio B del posgrado de ingeniería, se muestra la distribución en la Figura 5.4. Éste será el único edificio con un invernadero de 3 m x 6 m, un cuarto de herramientas de 2 m x 3 m y un almacén de semillas de 2 m x 3 m. Con lo cual para el área de trasplante queda un área de 62 m de largo por 10 de ancho, pero se dejarán 1.5 m para el área de lavado y secado. El área neta de siembra será de 8 m x 62 m. Con lo que se pueden sembrar un total de 1550 plantas en 460 m² obteniendo de ésta área aproximadamente 48 L de aceite. Ahora bien, dependiendo del área disponible en los demás edificios es como se sabe el número de autobuses que se pueden abastecer. Se supone que los demás edificios cuentan con un área equivalente a la del edificio B, entonces con una producción de 318 L/mes, se abastece solo un autobús y para una mezcla B5.

En el caso del mantenimiento hay que impermeabilizar las azoteas antes de montar las instalaciones. Después se tiene que impermeabilizar de acuerdo a la duración que especifique el

producto que se utilice. La mayoría de los impermeabilizantes tienen una vida útil aproximada de 3 años.

Todos los materiales deben lavarse después de utilizarse y guardarse en el sitio establecido para ello. Las instalaciones de siembra deben lavarse con agua y jabón cada que se retire de la zona el cultivo.

Los materiales como las bolsas y el tezontle se pueden reutilizar. Solo se debe tener cuidado, en el caso del tezontle de no reutilizarlo más de 2 veces, pues sus propiedades fisicoquímicas cambian y podrían causar daños al cultivo. En el caso del plástico se lava y desinfecta perfectamente para seguirlo utilizando, aunque hay que verificar que no tenga daños físicos que puedan causar algún problema de fugas de la solución nutritiva.

Los invernaderos se pueden construir con materiales no muy caros y que pueden llegar a durar hasta 20 años.

5.1.2.2 Producción de biodiésel

La producción del biodiésel, como ya se mencionó en el capítulo 2, se puede llevar a cabo por varios métodos de purificación. Ahora se sabe que el más aceptable es el proceso de transesterificación pues además de ser un proceso eficiente es el más económico.

Hoy en día existen varias tecnologías en el mercado para llevar a cabo el proceso de transesterificación dependiendo de la capacidad deseada, el tipo de materia prima a utilizar, entre otros aspectos. Por ello existen los procesos continuos, para capacidades muy altas y los discontinuos o por lotes para capacidades bajas. Las plantas para la producción de biodiésel son construidas por varias compañías en Europa, principalmente en Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Dinamarca e Italia. Algunas de las tecnologías utilizadas en estos países se enlistan en la Tabla 5.3. Éstas están divididas de acuerdo al tipo de procesamiento requerido.

En el caso de un Pumabús la capacidad requerida anual para una mezcla B5 es de 2,867 L. Ahora bien, para abastecer a toda la flota de Pumabuses circulantes, suponiendo que todos consumen lo mismo que la ruta de mayor consumo, entonces el flujo requerido anual será de 14,335 L/año o 11,611 kg/año.

Tabla 5.3. Algunas tecnologías utilizadas para la producción de biodiésel en algunas partes del mundo (CORPODIB, 2002).

Tecnología	Producción	Condiciones del proceso
Producción continua		
Henkel	170 mil toneladas por año	P= 400-500 kPa; T= 343-353 K
Deglicerolización continua (CD)	8 mil-150 mil toneladas por año	P= ambiente; T= 338-343 K
Estereco		Moderadas
Ballestra		P<0.5 bar; T<50°C
OceanAir Environmental	3 mil toneladas por año	
Pacific Biodiésel Inc	660 toneladas-1320 toneladas	
Producción por lotes		
ESTERFIP	20 mil toneladas por año	

La planta operará mensualmente con una relación de producción que va a depender de la materia prima. Así, se enlista del número de autobuses con respecto al biodiésel requerido por unidad en la Tabla 5.4).

Se mencionó anteriormente que con el área propuesta solo se puede abastecer la demanda de un autobús, con un remanente de 78 L/mes, pero si se considera que los demás edificios no contaran con un invernadero, el área total es suficiente para cubrir la demanda de 2 autobuses. Por lo tanto en una primera fase, la producción hidropónica cubrirá la demanda de dos autobuses, pero ésta solo sería una etapa de prueba, en la cual se podrían observar aspectos como el rendimiento del combustible y los posibles inconvenientes de su implementación.

Tabla 5.4 Biodiésel requerido dependiendo del número de autobuses

No unidades	Requerimiento (kg/mes)	Requerimiento (L/mes)	Ha a sembrar
1	193.59	239	0.17
2	387.18	378	0.34
3	580.77	717	0.51
4	774.36	956	0.68
5	967.95	1,195	0.85
6	1,161.54	1,434	1.02
7	1,355.13	1,673	1.19
8	1,548.72	1,912	1.36
9	1,742.31	2,151	1.53
10	1,935.90	2,390	1.70
11	2,129.49	2,629	1.87
12	2,323.08	2,868	2.04
13	2,516.67	3,107	2.21
14	2,710.26	3,346	2.38
15	2,903.85	3,585	2.55
16	3,097.44	3,824	2.72
17	3,291.03	4,063	2.89
18	3,484.62	4,302	3.06
19	3,678.21	4,541	3.23
20	3,871.80	4,780	3.40
21	4,065.39	5,019	3.57
22	4,258.98	5,258	3.74
23	4,452.57	5,497	3.91
24	4,646.16	5,736	4.08

5.1.3 Recolección y almacenamiento de las semillas

La cosecha se llevará a cabo manualmente. Ésta debe realizarse entre los 14-28 días después del término de la floración. Hay que dejar que las semillas lleguen a la etapa de maduración donde su humedad sea del 8 % (este tiempo se observa cuando las vainas ya están casi secas, de color amarillento). Ya en ese momento se abren las vainas y se tamizan para obtener solo las semillas. Para su almacenamiento una proporción de las semillas son analizadas de acuerdo a normas como la NOM-018-FITO-1995 y la NOM-028-FITO-1995 (ANEXO 1).

El almacenamiento de las semillas tiene lugar en silos o tolvas metálicos completamente sellados, libre de humedad y a temperatura ambiente, de acuerdo a la norma fitosanitaria No. 18. La humedad máxima que deben guardar las semillas es de 14.5 %. Para el almacenamiento se

requerirá que por lo menos cada semana se mida el grado de humedad de las semillas, y por lo menos una vez al día se determine la temperatura.

Para este caso, el almacenamiento de las semillas se llevará a cabo en una de las zonas destinada para este fin sobre la azotea. Como la producción de combustible será mensual entonces el área de almacenamiento solo estará ocupada por la mitad de la producción de semillas bimestralmente.

5.1.4 Extracción del aceite

La extracción del aceite se podrá llevar a cabo primero prensando las semillas, de donde se espera obtener un 70 % del aceite con pérdidas de no más del 1 %.

En el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química se cuenta con un sistema de equipos par extracción sólido-líquido marca PIGNAT (Figuras 5.5 y 5.6), el cual podría utilizarse para llevar a cabo la extracción del aceite a partir de las semillas. Utilizando como líquido extractor hexano.



Fig. 5.5 Vista frontal del extractor



Fig. 5.6 Vista perfilada del extractor

5.1.5 Conversión del aceite a biodiésel

El sistema de catálisis álcali-homogénea ha sido muy estudiado, obteniendo, que las condiciones óptimas para este proceso a una presión de 1 atm son, una temperatura de 60 °C, 1% en peso de catalizador y una relación molar 6:1 alcohol/aceite (Freedman y col., 1984).

Para un sistema de transesterificación como este se requiere que la materia prima tenga un contenido menor de 0.05 % en peso de agua y de 0.5 % en peso de ácidos grasos, por lo cual se reconoce que este proceso es más apropiado cuando la materia prima es aceite vegetal puro. Los reactivos a utilizar se presentan en la Tabla 5.5 con sus fórmulas químicas. Para el caso del aceite de colza, la fórmula química fue tomada de la literatura (Charles y Todd, 1998).

Tabla 5.5. Materia prima utilizada en los procesos de extracción y transesterificación del aceite

Proceso de extracción del aceite	
Hexano	C_6H_6
Proceso de transesterificación	
Aceite de colza	$C_{57}H_{105}O_6$
Metanol	CH_3OH
Hidróxido de sodio	$NaOH$
Ácido sulfúrico	H_2SO_4

Las condiciones de operación de los equipos deberán ser especificadas en la ingeniería básica del proyecto. Para llevar a cabo el balance de materia y energía del proceso se requiere un análisis de laboratorio de los componentes del aceite para hacer la valoración de los insumos necesarios para el proceso, este último se muestra en el DFP de la Figura 5.7. El DFP se puede revisar en el ANEXO 2, para su mejor legibilidad.

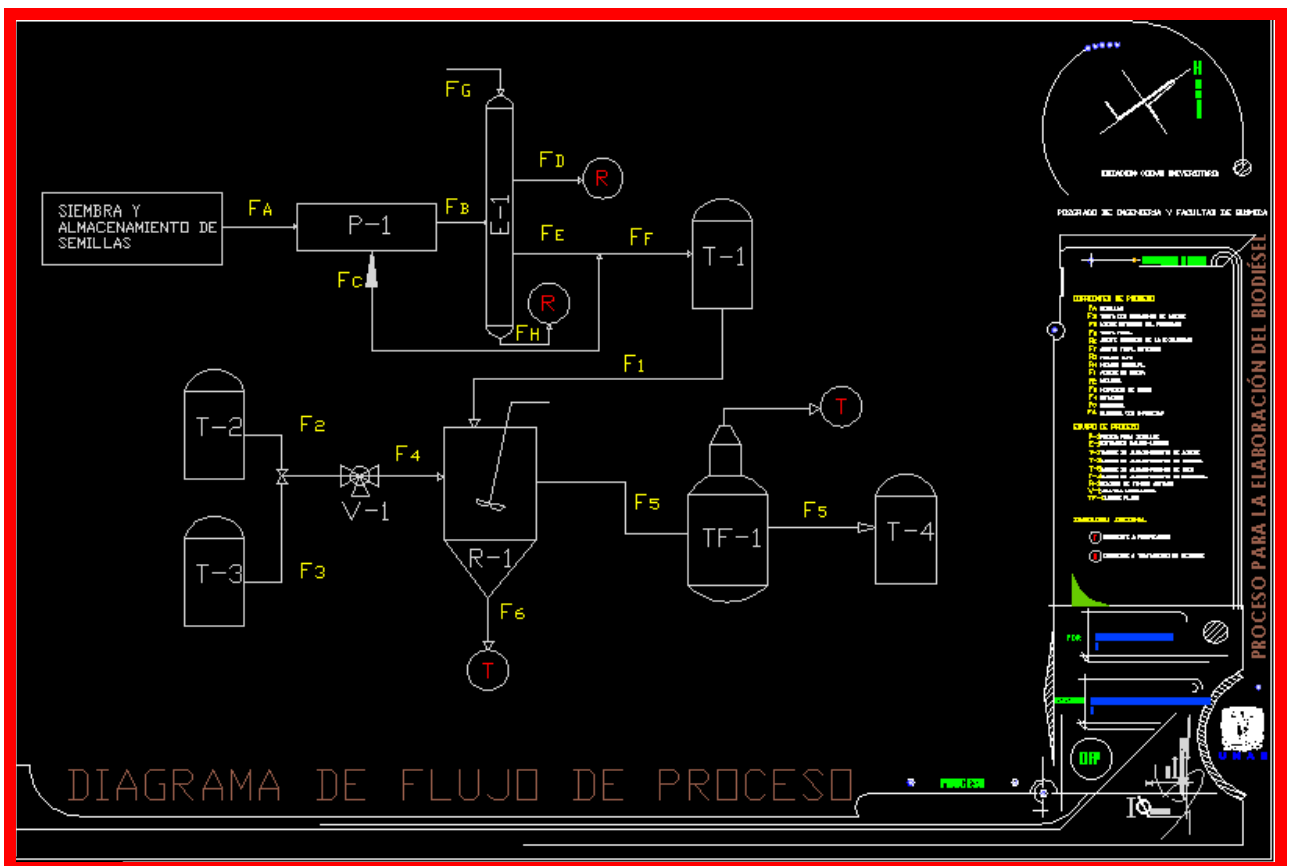


Fig. 5.7 Diagrama de flujo del proceso de producción de biodiésel a partir de colza

Para el balance de materia se consideró solo el proceso de transesterificación del aceite de colza, en el DFP se observan numeradas las corrientes involucradas en dicho proceso.

El balance de masa del proceso para una producción de 387.18 kg/mes de biodiésel se observa en la Tabla 5.6

Tabla 5.6 Balance de materia para una producción de 387.18 kg/mes

Corrientes	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Aceite B. C. (kg)	472.73					
CH ₃ OH (kg)		102.56		102.56		51.28
NaOH (kg)			5.75	5.75		5.75
Biodiésel (kg)					378.18	
Glicerol (kg)						145.79
Total	472.73	102.56	5.75	108.31	378.18	202.82

Considerando el balance de masa se realizó la especificación de los equipos principales involucrados en el proceso de producción del biodiésel, éstas se describen en la Tabla 5.7. El dimensionamiento de todos los equipos se realizará en la ingeniería básica después de llevarse a cabo los análisis químicos necesarios del aceite de colza. Con ello también se podrán realizar correcciones al DFP y al balance de masa.

Tabla 5.7 Capacidad de los equipos principales en el proceso de transesterificación

Equipo	Capacidad (L)
Tanque de almacenamiento para el aceite de colza	540
Tanque de almacenamiento para el metanol	130
Tanque de almacenamiento para el hidróxido de sodio	4
Tanque de almacenamiento para el biodiésel	470
Reactor de tanque agitado	700

Con respecto al equipo para la producción de biodiésel, como alternativa inicial, el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química cuenta con un reactor agitado con una capacidad de 170 L con un agitador que puede trabajar a revoluciones de 690-820 por minuto (Fig. 5.8). El cual se puede utilizar para llevar a cabo el proceso de transesterificación del aceite de colza. Éste reactor, aunque tiene una capacidad menor a la que se requiere para realizar en un lote la reacción, para la etapa de prueba del proyecto es factible su utilización.

Además se cuenta con dos tanques contenedores uno con capacidad de 200 L y el otro de fondo cónico con una capacidad de aproximadamente 350 L (Figuras 5.9 y 5.10). Los cuales se pueden adaptar para llevar los reactivos al reactor de tanque agitado (reactor principal, Fig. 5.8).

Si se utilizan estos equipos disponibles se reducen los costos de inversión y se les da un uso. La única desventaja será el no poder aumentar la producción por la limitante en capacidad de los equipos, pero para la producción planeada los equipos serán de gran utilidad.



Fig. 5.8 Reactor de tanque agitado



Fig. 5.9 Vista frontal de los tanques de los tanques de almacenamiento



Fig. 5.10 Vista posterior de los tanques de los tanques de almacenamiento

La segunda opción, es la adquisición de una planta piloto, con una producción por lotes ya que la operación de la planta dependerá de la temporada de trabajo de los autobuses. Esta planta podrá ser cotizada después de llevar a cabo los análisis químicos de la materia prima para conocer el porcentaje en ácidos grasos, agua e impurezas en su composición. Como sugerencia se puede llevar a cabo la simulación del proceso con el software Hysys, el cual lleva a cabo de manera simultánea el balance de materia y energía, además de hacer el diseño de los equipos y si se desea, también puede estimarse el costo de los equipos.

5.1.6 Almacenamiento del biodiésel

Una vez realizadas las pruebas de calidad del biodiésel se almacena en tanques de aluminio o acero inoxidable, a presión y temperatura ambiente, cerrados (sin exposición a la luz o al oxígeno del aire). Si se va almacenar por más de seis meses entonces hay que agregar algún aditivo antioxidante como la t-butilhidroquinona. Para el almacenamiento del biodiésel se pueden utilizar el mismo tipo de tanques que se utilizan para almacenar el diésel, si es que éstos son de aluminio o de acero inoxidable, de lo contrario el biodiésel corre el riesgo de reaccionar con el material. Así entonces, el biodiésel producido se almacenaría en la misma área que el diésel donde se deberá instalar un sistema de control de mezclado de ambos combustibles.

5.1.7 Uso

En el área de almacenamiento del combustible (en estos momentos solo de diésel) se colocará el equipo necesario para el abastecimiento a los autobuses. De tal forma que las proporciones suministradas sean las correspondientes a la mezcla B5 (ver apartado 4.4). Ya que los autobuses cuentan con un sistema de inyección directa habría que realizar algunas pruebas de resistencia de los materiales con respecto al tiempo, por el uso del biodiésel. En general no se esperan daños significativos pues la mezcla a utilizar contiene en muy baja proporción al biodiésel. La mezcla B5, según las investigaciones, es una de las más utilizadas en Europa, esta mezcla en particular, es la que más se ha utilizado como primer sustituto antes de fomentar el uso de mezclas con mayor contenido de biodiésel.

El uso del biodiésel en bajas proporciones mezclado con diésel, en el tipo de autobuses como el pumabús, no genera ningún problema en las partes del motor, además de alargar su tiempo de vida útil. Estas pruebas fueron realizadas por un grupo de investigadores norteamericanos para la American Society of Agricultural Engineers (ASAE) con aceite de colza semirefinado mezclado en una proporción del 25 % con diésel convencional (ver apartado 2.5).

La mezcla B5 con biodiésel de colza no presenta problemas en el motor aún a temperaturas bajas. En un estudio realizado por el National Renewable Energy Laboratory con un motor diésel, se concluyó que el uso de la mezcla B5 tiene la particularidad de no aumentar el punto de nube del combustible, con lo cual se puede utilizar a temperaturas hasta de 5 °C, evitando la cristalización del líquido e impidiendo la formación de depósitos en el filtro. No disminuye el número de cetano ni aumenta en una medida considerable la viscosidad del combustible.

Labeckas y Slavinskas (2006) presentaron los resultados de pruebas realizadas con un motor diésel de inyección directa (como los motores de los pumabuses) y cuatro cilindros. Se operó con diésel y se comparó su rendimiento a cuando es operado con aceite de colza de acuerdo con la Figura 5.11, la cual muestra el sistema de combustión de un motor diésel con una operación simultánea de los inyectores 1 y 2 con aceite de colza puro y 3 y 4 con diésel.

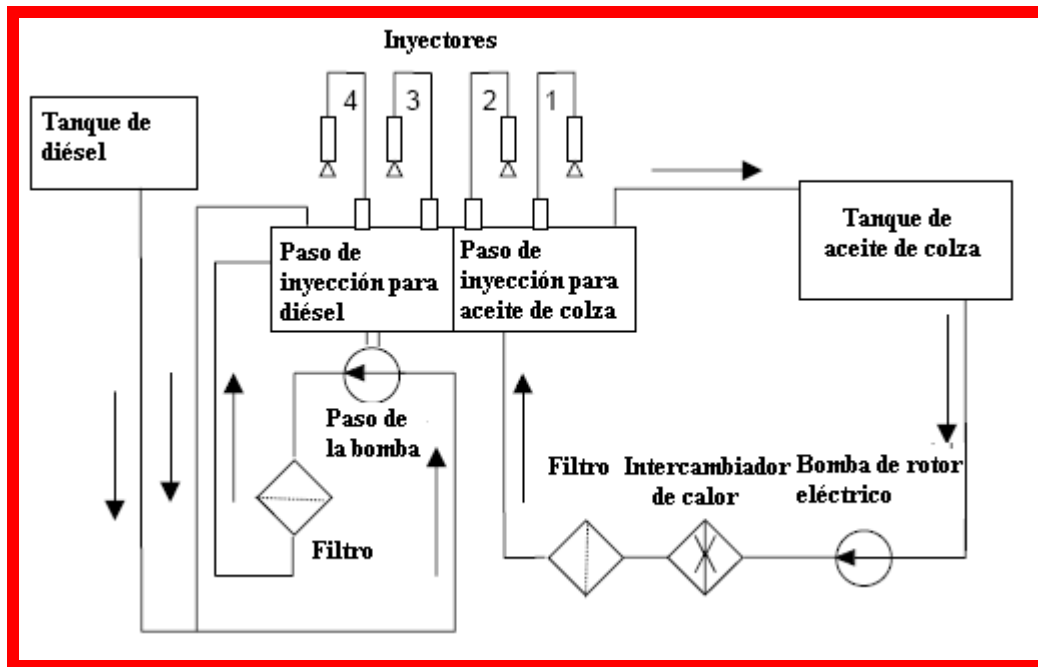


Fig. 5.11 Diagrama del sistema de combustión de un motor diésel (Labeckas y Slavinskas, 2006)

Como se puede observar en la Figura 5.11, en el sistema de inyección para el aceite de colza, se agregó un equipo de intercambio de calor, para poder aumentar la temperatura del aceite y disminuir su viscosidad con el fin de controlar la resistencia al flujo y evitar el desgaste del filtro y mangueras; además se aumentó el flujo volumétrico del aceite 7%, con respecto al del diésel, para evitar la inestabilidad en el desempeño del motor que pudiera ocurrir por efecto del menor poder calorífico del aceite.

Se llevaron a cabo pruebas variando temperatura, carga en la cámara de combustión y velocidad del cigüeñal.

Los resultados muestran que cuando se utiliza el aceite a relativamente bajas temperaturas (<35 °C) se incrementa la caída de presión en el sistema, lo cual causa el bloqueo del filtro y su deterioro en muy poco tiempo. El calentamiento del aceite a una temperatura de 60 °C asegura la fluidez del flujo a través del filtro y reduce el consumo específico de energía a baja carga en 11.7-7.4 %, dependiendo de la carga. El calentamiento del aceite a 90 °C no ofrece ventajas en términos del desempeño del motor aun incrementando el consumo de energía a moderadas y altas cargas, incrementando los humos visibles.

El mínimo consumo específico de aceite se incrementa a 250 g/kWh o en 11.1 % comparado con el diésel (225 g/kWh). El consumo a máximo torque e índice de potencia es más alto en 12.2 y 12.8 %, respectivamente.

Las pruebas con aceite caliente a 60 °C revelan que después de 2.5 horas las boquillas de los inyectores de aceite se muestran con mayor cantidad de depósitos de carbono y humedad, que los de diésel. Pero con menos depósitos de carburos quemados. Debido a la baja atomización del aceite (por su viscosidad) con baja carga y baja temperatura en el cilindro, se pueden presentar problemas de auto-ignición desestabilizando el desempeño del motor. Esto ocasiona que el filtro se tenga que cambiar más frecuentemente y que se tengan que estar checando los inyectores más frecuentemente.

Por la naturaleza orgánica del aceite, puede dañar las partes de caucho o goma del motor tales como sellos y juntas, por lo tanto estas piezas deben cambiarse por otras hechas de elastómeros especiales. El índice alto de yodo y la actividad corrosiva del aceite puro puede afectar las partes internas del motor, especialmente las fabricadas con latón, cobre, estaño y otros metales de color.

El empleo de mezclas con más de 30 % de biodiésel puede presentar problemas de solidificación en frío, lo que obstruiría el sistema de alimentación de combustible al motor.

Por otro lado Benavides y col. (2007), llevaron a cabo un estudio experimental sobre la utilización del aceite de higuera en un motor diésel monocilíndrico de encendido por compresión acoplado a un freno dinámico, tal como lo muestra la Figura 5.12. Además la Tabla 5.8 muestra sus características más importantes.

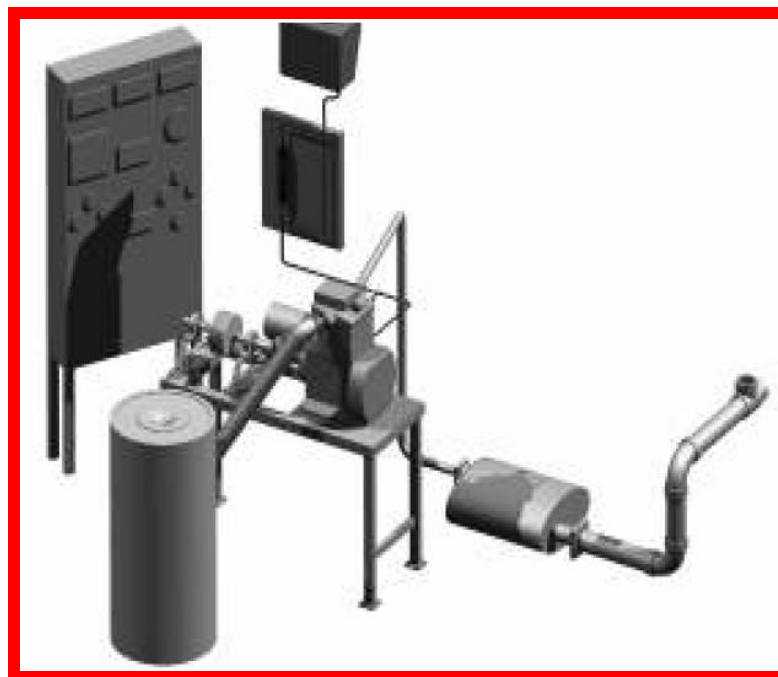


Fig. 5.12 Esquema del banco de ensayos (Benavides y col., 2007)

Tabla 5.8 Características del motor (Benavides y col., 2007)

Característica	Especificaciones
Referencia	HATZ D-94099 tipo E673R47
Número de cilindros	1
Ciclo	4 tiempos diésel
Refrigeración	Por airea
Suministro de combustible	Inyección directa
Diámetro del pistón	73 mm
Carrera	67 mm
Volumen del cilindro	280 cm ³
Masa	40 kg
Presión de inyección	135 bar

Las condiciones de régimen de giro y par se fijan en el banco de ensayos con la ayuda del acelerador y del freno dinamométrico. Su producto es la potencia del motor, la cual se selecciona procurando reproducir las condiciones más típicas a las que se encuentra sometido un motor de automoción en ruta. Este método presenta la ventaja de proporcionar datos estadísticamente confiables y muy repetitivos.

Para el análisis de los parámetros mecánicos y ambientales que determinan el desempeño del motor se realizó un diseño experimental factorial, en el cual, los factores a variar son el combustible (% de biodiésel en la mezcla) y el modo de operación o grado de carga del motor (caracterizado por un régimen de giro y una potencia dadas). La Tabla 5.9 muestra en detalle los factores y niveles del diseño experimental. Combinando los diferentes modos de operación y tipos de combustible se obtiene la matriz de ensayos que indica las combinaciones posibles para la realización del análisis. Cada combinación se llevó a cabo con dos replicas calculadas, para obtener una confiabilidad del 95 % en el diseño experimental planteado.

Tabla 5.9 Factores y niveles del diseño experimental (Benavides y col., 2007)

Factor	Características del nivel			Designación de nivel
Combustible	Diésel común			B0
	Diésel común 95 %-Biodiésel 5 %			B5
	Diésel común 85 %-Biodiésel 15 %			B15
	Diésel común 70 %-Biodiésel 30 %			B30
Modo de operación	Régimen de giro (rpm)	Carga (kg _f)	Potencia (kW)	
	1,800	0.5	0.22	1
		1	0.45	2
		1.5	0.67	3
		2	0.90	4

Como resultados mencionan que dada la alta viscosidad del biodiésel y su bajo número de cetano, su aplicación es limitada, pues la atomización del combustible se dificulta conforme se aumenta el porcentaje de biodiésel en la mezcla. Sin embargo, con las mezclas B5 y B15, el producto resultante cumple con los estándares de calidad del diésel común.

El consumo específico de combustible en el motor, aumenta con el porcentaje de biodiésel en la mezcla. Se menciona además que si se requiere mantener el consumo específico lo que hay que hacer es disminuir la potencia del motor.

El rendimiento del motor no se ve afectado con el uso del biodiésel, por lo que la proporción entre la cantidad de energía suministrada al motor, y la energía útil obtenida del mismo se conserva al utilizar las distintas mezclas de combustibles.

Por último se menciona que en las proporciones en que se utilizaron las mezclas en el motor no se alcanzaron a observar variaciones estadísticamente significativas en las emisiones de CO y CO₂. En lo que respecta a la opacidad de los humos se encontró que éste parámetro disminuye con el porcentaje de biodiésel de higuera en la mezcla, no obstante las reducciones no son de la misma magnitud que las obtenidas con otros tipos de biodiésel, como el proveniente del aceite de palma (Benavides y col., 2007).

Actualmente en México no se cuenta con un marco legal que permita el empleo de biodiésel como combustible en los vehículos automotores, así como el correspondiente que permita normar la calidad y su comercialización. Uno de los primeros pasos se dio recientemente con la aprobación de la Ley para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos y que según sus desarrolladores, permitirá impulsar la agroindustria para la producción de etanol y otros biocombustibles como alternativa para contar con la autosuficiencia energética a través de fuentes renovables. Otro instrumento que está en discusión entre los legisladores es la Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía, en la cual se pretende cubrir un amplio abanico de diversas fuentes de energía renovables y su posible aplicación (electricidad, térmico, mecánicas, biocombustibles, etc.), de forma compatible con atribuciones de planeación energética del sector. Dentro de esta ley se propone un programa con metas de penetración de las energías renovables (incluyendo el etanol y el biodiésel para su uso en el transporte), compatible con un crecimiento de la oferta energética nacional (CONAE, 2007).

México cuenta con un incipiente mercado de automóviles con motores diésel por lo que se considera que el mayor uso de este bioenergético está en los camiones dedicados al transporte de pasajeros, así como el de mercancías que generalmente emplean motores diésel. Sin embargo, cabe mencionar que Europa, principal mercado del biodiésel, cuenta con un mercado muy amplio de automóviles diésel y actualmente algunos fabricantes como Volkswagen han anunciado que sus motores diésel pueden operar con un B100, aunque otros más conservadores como Citroën y Peugeot indican que sus actuales motores pueden emplear hasta una mezcla B30. En el Reino Unido, los fabricantes de automóviles mantienen su garantía si no se excede en un 5% de biodiésel. Por su parte, Scania una de los fabricantes más importantes de Europa de vehículos para transporte de carga y pasajeros, indica a sus clientes que sus motores pueden emplear biodiésel hasta mezclas B5 sin problema alguno, por lo que se considera que este fabricante puede convertirse en un actor importante en el mercado mexicano de los biocombustibles.

En México, la empresa mexicana Biofuels de México fabricante de biodiésel a partir de aceites de desecho transesterificados, ha realizado pruebas en los motores de 10 de los turibuses de la Ciudad de México utilizando una mezcla B20. Los autobuses cumplen con la normatividad de diseño EURO IV, de plataforma Scania K 340UB4x2LB Turístico.

El Licenciado Carlos Campos líder de la iniciativa, asegura la calidad del biodiésel producido, ya que antes de venderlo el flujo de biodiesel proveniente del proceso se hace circular por dos filtros de motor, donde se verifica que el biodiésel no afecte dichos dispositivos. De las pruebas realizadas en los turibuses, el licenciado comenta que al utilizar biodiésel el rendimiento del combustible aumenta en aproximadamente 3 %, así también, se observa la disminución en la opacidad de los humos y de las emisiones de CO₂. No han realizado cambios a los motores, sin embargo, él recomienda utilizar sellos de vitón en lugar de los de caucho.

En el mismo sentido, Biofuels de México y BioTU se reúnen desde principios del 2009 para empezar a crear estrategias y diseñar estructuras para mejorar la sustentabilidad en el transporte en México. Así, la empresa Biofuels de México patrocina las pruebas de biodiésel junto con el grupo ADO. Por lo que el grupo BioTU está realizando un tour por toda la República Mexicana con el fin de promover el uso del biodiésel, dando asesorías en los temas de sustentabilidad y energías renovables. Se llevó a cabo una entrevista al director ejecutivo del grupo BioTU, Fernando Ausín, acerca de su experiencia con el uso del biodiésel en el autobús, a lo cual comento:

El tipo de autobús es Muscar modelo 99 con motor diésel serie 60, Detroit delvac 2, con inyección directa y 8 cilindros. El tanque del autobús tiene una capacidad de 600 L (Fig. 5.13). El motor se alimenta con biodiésel al 100 %. El único cambio que se lleva a cabo es el de las mangueras, cada que se observa un deterioro de las mismas (no se especificó cada cuanto se realiza dicho cambio). El rendimiento obtenido es de 4 km/L de biodiésel. Además la única ocasión en que se han taponado los filtros fue porque el biodiésel había sido filtrado de manera inadecuada.



Fig. 5.13 Llenado del tanque de almacenamiento del biodiésel en el autobús

El resumen de la factibilidad técnica del proyecto se muestra en la Tabla 5.10

Para el abastecimiento de 2 pumabuses con un consumo de 378 L/mes, como parte de la mezcla B5 con diésel de petróleo.

Tabla 5.10 Resumen de la factibilidad técnica del proyecto

Proceso hidropónico		
Descripción	Especificación/capacidad	Observaciones
Área de siembra	0.34 ha	Área total, considerando los 5 edificios propuestos
Almacén de semillas	2 x 3 m	Cuarto cemento con control de humedad y temperatura
Proceso de extracción del aceite		
Descripción	Especificación/capacidad	Observaciones
Prensa para semillas	240 kg de semilla	Equipo opcional
Extractor sólido-líquido	240 kg de semilla	Equipo existente en el laboratorio de la Facultad de química
Proceso de transesterificación		
Descripción	Especificación/capacidad	Observaciones
Tanque de almacenamiento del aceite	540 L	En aluminio o acero inoxidable
Tanque de almacenamiento del alcohol	130 L	Dimensionamiento de acuerdo al código API 650 (ANEXO 1)
Tanque de almacenamiento del catalizador	4 L	Dimensionamiento de acuerdo al código API 650 (ANEXO 1)
Tanque de almacenamiento del biodiésel	470 L	En aluminio o acero inoxidable
Reactor de tanque agitado	700 L	En acero inoxidable
Uso del biodiésel en los pumabuses		
Descripción	Especificación/capacidad	Observaciones
Mezcla de biodiésel de colza-diésel de petróleo	5 % biodiésel-95 % diésel volumen/volumen	Sin afecciones considerables al motor. Aunque se recomienda un cambio en los materiales de caucho por elastómeros especiales como el vitón.

5.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

5.2.1 Costos del proyecto

La compilación de los costos se llevará a cabo en dos partes. La primera abarca los costos involucrados en el proceso de siembra de la colza y hasta el almacenamiento de las semillas. En la segunda se darán los costos del procesamiento de la materia prima para la obtención del biodiésel y su almacenamiento.

El presente proyecto fue evaluado en los términos de indicadores de rentabilidad, flujos de efectivo a lo largo del horizonte de evaluación y beneficios obtenidos por la ejecución del proyecto, que conforme a la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, forman parte de los lineamientos requeridos para efectuar análisis costo-beneficio de los programas y proyectos de inversión. Ésta evaluación financiera parte del supuesto de que como ejecutor e inversionista del proyecto, se tienen a las entidades correspondientes de la Universidad Nacional Autónoma de México para la ejecución del mismo.

Los criterios para la evaluación económica se enlistan en la Tabla 5.11

Tabla 5.11 Criterios tomados para la evaluación económica del proyecto

Criterio	Observaciones
Paridad peso-euro	16.52 pesos mexicanos por dólar americano
Depreciación	5 % anual correspondiente al valor estipulado para maquinaria y equipo de transformación y producción en el artículo 41 de la Ley del Impuesto sobre la Renta
Ingresos	Correspondientes a la fabricación del combustible utilizado en el transporte universitario y por la posible venta de los productos secundarios del proceso
Estimación de costos fijos para la planta piloto	Realización de un estimado de orden de magnitud conocido como método de escalamiento de los seis décimos
Tasa de descuento anual	12% anual, correspondiente al interés mínimo cobrado por la unidad de inversiones de la Secretaria de hacienda y crédito público al año 2010.

5.2.1.1 Hidroponía

Para los costos fijos (Tabla 5.12) se consultó al profesor Antonio, quien proporcionó la mayoría de los costos de los materiales y sustancias a utilizar en el tratamiento hidropónico y proporcionó los datos de los proveedores (ver ANEXO 1) con algunos de los cuales se ha corroborado la información.

Algunos datos como los costos por mantenimiento, laboratorio y contingencias fueron basados en aproximaciones que se encuentran en aproximaciones de la literatura (Edgar y col., 2001).

Tabla 5.12 Costos fijos en el proceso de siembra hidropónica

Cantidad	Unidades	Descripción	Especificaciones	Precio unitario (pesos)	Costo total (pesos)
52	charolas	Charolas	50 x 60 cm, en polietileno, con capacidad de 63 plántulas	25	1,300
3,880	m ²	Malla anti pájaros		10	38,800
820	m	Estructura de fierro para recubrimiento	Ancho de 1.5 pulgadas	17	13,940
37,440	m	Estructura de fierro para soporte	Ancho de 1.5 pulgadas	17	636,480
100	kg	Alambre galvanizado	Calibre 12	40	4,000
1,750	m	Mangueras de distribución	1 pulgada de diámetro	5	8,750
3,875	goteros	Goteros	Estándar	4	15,500
3,875	adaptadores	Adaptadores de dos salidas	Estándar	1.5	5,812.5
7,750	m	Túbíng	Estándar	1.85	14,337.5
7,750	estacas	Estacas	1.5 pulgadas	1.5	11,625
500	m	Tubería de distribución	1 pulgada de diámetro, PVC para plomería	10	5,000
5	bombas	Bombas	1/4 de HP	800	4,000
5	filtros	Filtros	Malla o discos	250	1,250
5	tinacos	Tinaco	1 m ³	1500	7,500
		Válvulas y accesorios	1 pulgada de diámetro, PVC para plomería		400
15	bote	Impermeabilizante	Para azoteas	300	4,500
		Costos de instalación eléctrica e hidráulica			1,500
		Cuarto de almacenamiento general	2 x 3 m		10,000
		Cuarto de almacenamiento de semillas	2 x 3 m		10,000
375	m ²	Plástico para invernadero		12	4,500
71	m	Estructura de fierro para invernadero	Ancho de 1.5 pulgadas	17	1,207
2.25	m ²	Malla antiáfidos		20	45
		Herrajes	Tornillos, tuercas, clavos, entre otros		200
5	básculas	Báscula	Granataria	300	1,500
		Herramientas agrícolas	Tijeras, palas, entre otros		500
Costos totales					802,647

Ahora bien para los costos variables no se consideraron los costos por el tratamiento de los residuos, costos por supervisión ni los costos por el transporte de la materia prima, estos costos se deberán especificar durante la planeación del proyecto. Así entonces, en la Tabla 5.13 se enuncian los costos anuales para la siembra hidropónica.

Tabla 5.13 Costos variables en el proceso de siembra hidropónica

Cantidad	Unidades	Descripción	Especificaciones	Precio unitario (pesos)	Costo/año (pesos)
500	kg	Mezcla de nutrientes	Hidrociencias (ver apartado 3.6.1.2)	25	150,000
100	kg	Bolsas	40 x 40 cm	12	14,400
200	pacas	Peat moss	Paca de 107 L	400	960,000
40	m ³	Perlita	Bulto de 40 m ³	800	384,000
40	m ³	Tezontle	Orden	200	96,000
40	m ³	Fibra de coco	Orden	1,300	624,000
10	galones	Insecticidas	Galón, ya sea preventivo o correctivo		12,000
Costos subtotales					2,240,400
		Laboratorio			224,040
		Contingencias			22,404
		Depreciación			112,020
		Gastos generales administrativos			1,000
Costos totales					7,080,664

Los costos totales (C_T) son los costos fijos (C_F) más los costos variables (C_V), como se muestra en la ecuación (1).

$$C_T = C_F + C_V \quad (1)$$

Por lo tanto, solo para el proceso del cultivo hidropónico se necesita de una inversión de 7,601,059 de pesos mexicanos.

Desde éste último cálculo se prevé que la factibilidad económica del proyecto es una variable dependiente en gran medida del aumento en los precios del diésel, pues actualmente, como se mencionó en el capítulo 4, se gastan 482,387 pesos anualmente en la compra de diésel por autobús. Así pues, para 2 unidades la inversión es de 964,774 pesos.

En el caso del cultivo hidropónico, anualmente la inversión debe ser de 7 millones de pesos, para cubrir la demanda de 2 autobuses y en 5 % de su capacidad, con lo cual se requiere seguir comprando el combustible fósil.

Ahora bien, si el aumento del diésel se proyecta a un plazo de 20 años como horizonte de evaluación del proyecto, se encontrará, considerando los flujos de efectivo la factibilidad futura del proyecto propuesto.

5.2.2.2 Proceso de producción

La estimación de los costos del equipo principal de producción de biodiésel se llevó a cabo con el método de escalamiento de los seis décimos que toma la forma matemática de la ecuación (2) (Peters, 1991).

Un estimado de orden de magnitud como el escalamiento de los seis decimos, se aplica a proyectos en las primeras etapas de desarrollo, evaluación y planeación, con el objeto de que ayude en las evaluaciones económicas y financieras de la inversión. Consiste en escalar un proceso o equipo, es decir, llevar de un tamaño dado a otro tamaño mayor o menor una operación u objeto, basándose en estudios publicados sobre plantas que cumplen con el principio de similitud con respecto a analogías físicas de tipo mecánico, geométrico, químico, etc., para con la planta objetivo, pero presenta poca precisión ya que su grado de desviación es de $\pm 40\%$. Pero aún así permite tener una idea de la magnitud del costo del proyecto y con ello tomar una decisión entre continuar o elegir otra alternativa (Peters, 1991).

Ya que este proyecto cumple con los principios de uso del método de escalamiento de los seis décimos, fue empleada la información del costo de los equipos para una planta registrada en la literatura con datos muy recientes y con proceso similar de transesterificación al propuesto.

$$\frac{C_2}{C_1} := \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{0.6} \quad (2)$$

C_1 : Costo del insumo analizado

C_2 : Costo del insumo nuevo

S_1 : Especificación de un parámetro del insumo analizado

S_2 : Especificación del mismo parámetro ahora para el insumo nuevo

En el ANEXO 1 se ha adjuntado la lista de proveedores de equipo y materia prima para la producción de biodiésel. Se debe señalar que las cotizaciones se realizan una vez caracterizado el aceite y corregido el DFP y el balance de masa. Por el momento, los costos estimados basados en los costos reportados por Haas y col. (2006) se enlistan, en la Tabla 5.14 los costos fijos y en la Tabla 5.15 los costos variables.

Tabla 5.14 Costos fijos del proceso de transesterificación de biodiésel

Equipo	S ₁ (L)	Costo (€)	S ₂ (L)	Costo (\$)
Tanque de almacenamiento del aceite	173,000	14,180	540	7,350.1
Tanque de almacenamiento del biodiésel	4,000	47,060	470	215,121.9
Tanque de almacenamiento del metanol	75,000	102,837	130	37,453.1
Tanque de almacenamiento del catalizador	5,600	34,970	4	7,482.1
Tanque de almacenamiento para glicerina	40,000	51,350	120	25,991.0
Reactor	44,921	76,505	700	104,061.2
Costo subtotal				397,459.7
Servicios				19,872.9
Instalación				19,872.9
Costos totales				834,665.3

Tabla 5.15 Costos variables del procesos de transesterificación del biodiésel

	S ₁ (kg)	Costo (€)	S ₂ (kg)	Costo (\$)
Materia prima				
Aceite de colza	1	0.520	5,684.76	1,209.9
Metanol	1	0.286	1,230.72	265.7
Hidróxido de sodio	1	0.617	69.00	101.7
Costo subtotal				1,577.4
Costos adicionales				
Servicios generales				473.2
Mantenimiento				15.7
Administración				78.9
Depreciación				78.9
Costos totales				3,722.7

Considerando la ecuación (1) se obtiene que el costo total involucrado en el proceso de purificación del aceite de colza, resultando en 838,338 pesos.

Por lo que para la producción de 5640 L de metil ésteres, se requiere de una inversión inicial dada por la suma de los costos por el proceso hidropónico más los costos por el tratamiento del aceite. Esto es 8,439,447 pesos mexicanos.

Como ya se mencionó, la factibilidad de este proyecto estará dada por la tendencia de los precios del diésel, por las ganancias de la venta de los productos secundarios como la torta de semillas, la glicerina. En el caso de ésta última del balance de masa se obtuvo una producción de 115 L mensuales, por lo que en un año la producción es de 1,380 L. Si el precio de venta de la glicerina es de 20 pesos/L las ganancias anuales es de 27,600 pesos.

Para la gráfica mostrada en la Fig. 5.14 se llevó a cabo una proyección de los precios del diésel, tomando en cuenta la tendencia que ha tenido en los últimos 10 años (PEMEX, 2010).

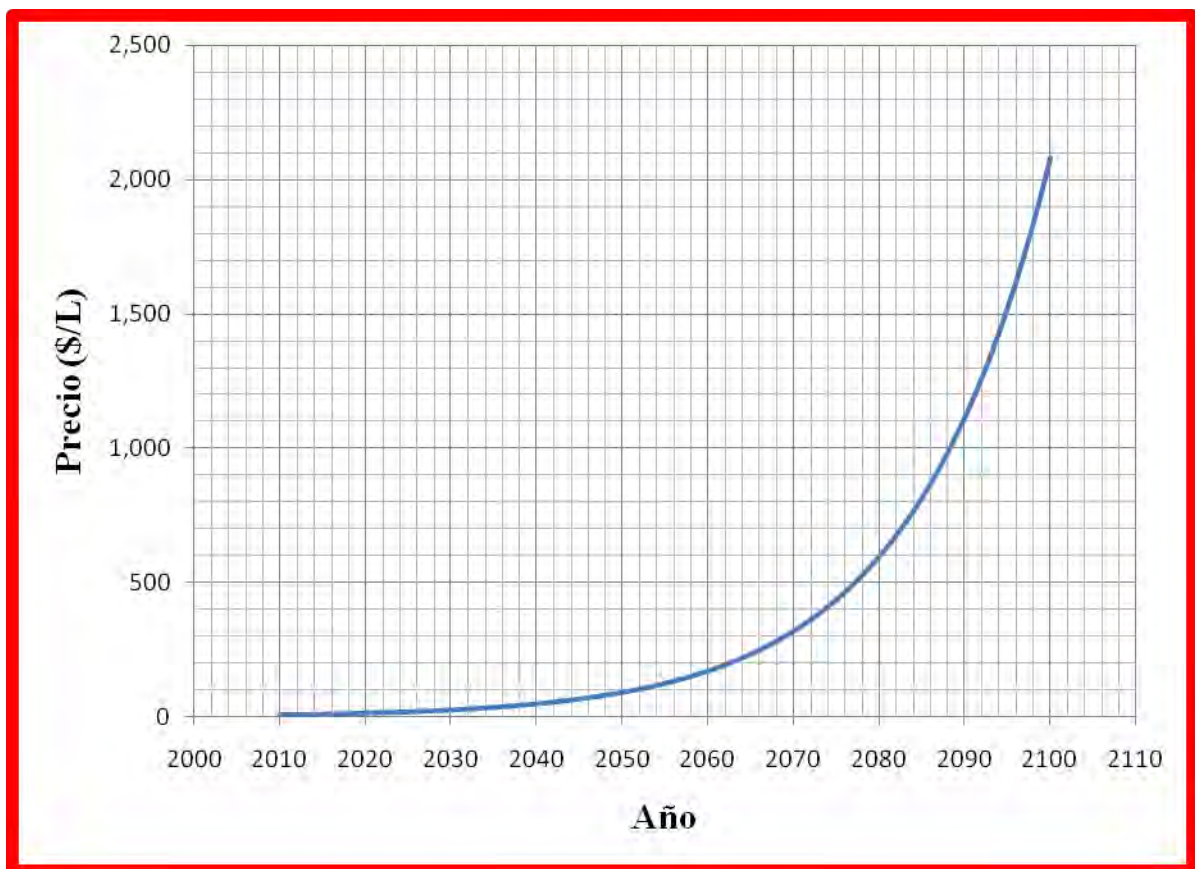


Fig. 5.14 Tendencia en aumento del precio del diésel

Con el objeto de hacer valer este proyecto para la institución inversionista se debe probar que su inversión hoy tendrá una remuneración en el futuro. Para este fin se pueden utilizar criterios basados en indicadores financieros, para la toma de decisiones. Entre los indicadores más utilizados para elaborar un análisis financiero se encuentran: El valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el periodo de recuperación de la inversión, entre otros.

En concreto, para el proyecto en evaluación los indicadores que se desarrollan en este documento son el VPN y la TIR.

5.2.2 Valor Presente Neto (VPN)

Para definir éste indicador primero hay que citar un término importante básico, el valor presente de la inversión. Debido a que en un proyecto de inversión se tienen flujos de efectivo (ingresos y egresos) en diferentes tiempos, desde el inicio del proyecto hasta el cierre definitivo de la instalación, es necesario llevar el valor del dinero a una base común, es decir, un solo momento en el tiempo, el cual se acepta como punto de partida del proyecto (tiempo cero), mejor conocido como valor presente de la inversión (Aguilar, 2007). Después de dicho punto y durante el tiempo de vida del proyecto se generan fondos debido a los flujos de caja los cuales son positivos si se trata de ingresos y negativos si se trata de egresos.

Bien, el dinero tiene un valor que cambia con el tiempo, es decir, un peso hoy tendrá un valor diferente dentro de un año o más, dependiendo de la tasa de interés (i) que ofrezcan los bancos en el periodo de estudio. La lógica de este concepto es determinar la equivalencia en tiempo presente, de flujos de efectivo futuros que genera un proyecto, y compararla con la inversión inicial (valor presente de la inversión). Por lo tanto, el VPN es la diferencia entre el valor inicial de la inversión y el valor presente o actual del flujo de efectivo neto futuro de la inversión. La ecuación (3) adquiere la representación matemática de éste concepto (Silvenses, 2009).

$$VPN := \sum_{k=1}^n \frac{F_k}{(1+i)^k} - I_0 \quad (3)$$

VPN: Valor presente neto

F_k : Flujo de caja neto al final del año k

I_0 : Inversión inicial

i : Tasa de descuento

n : Vida del proyecto en años

Los criterios de decisión que el inversionista considera, para aceptar el proyecto, basándose en el VPN como indicador son:

Si el $VPN > 0$, se acepta el proyecto

Si el $VPN = 0$, la inversión se hace indiferente pues no se gana ni se pierde

Si el $VPN < 0$, el proyecto se rechaza

Para utilizar éste indicador en el proyecto de siembra de colza para la producción de biodiésel en Ciudad Universitaria, se fija el año cero de inversión como el año 2010, con una tasa de descuento anual de 12 % y un horizonte de 20 años, como tiempo de vida del proyecto. En la Tabla 5.16 se enlistan los parámetros requeridos para la evaluación. En la Tabla 5.17 se muestran los flujos de efectivo y fondos de caja para un horizonte de 20 años.

Tabla 5.16 Parámetros para la evaluación del VPN

Parámetro	Nomenclatura	Valor
Inversión inicial	I_0	8439447 pesos
Tasa de descuento	i	12%
Vida del proyecto	n	20 años

Tabla 5.17 Flujos de efectivo y flujo de caja por la implementación del proyecto

Año	Gasto diésel + insumos (\$)	Ganancias por la venta de glicerina (\$)	Ganancia por ahorro en el remplazo del diésel (\$)	Flujo de caja (\$)
0	8,439,447			-8,439,447
1	7,679,487	27,600	37,886	-7,614,002
2	7,736,007	27,600	40,326	-7,668,081
3	7,796,168	27,600	42,924	-7,725,644
4	7,860,205	27,600	45,689	-7,786,915
5	7,928,367	27,600	48,633	-7,852,134
6	8,000,920	27,601	51,766	-7,921,553
7	8,078,147	27,602	55,100	-7,995,444
8	8,160,348	27,603	58,650	-8,074,095
9	8,247,846	27,604	62,428	-8,157,814
10	8,340,980	27,605	66,450	-8,246,925
11	8,440,114	27,606	70,731	-8,341,777
12	8,545,634	27,607	75,287	-8,442,740
13	8,657,952	27,608	80,138	-8,550,207
14	8,777,506	27,609	85,300	-8,664,597
15	8,904,761	27,610	90,795	-8,786,356
16	9,040,214	27,611	96,644	-8,915,959
17	9,184,394	27,612	102,870	-9,053,912
18	9,337,861	27,613	109,497	-9,200,751
19	9,501,215	27,614	116,551	-9,357,050
20	9,675,093	27,615	124,060	-9,523,418

Sustituyendo los datos de las Tablas 5.16 y 5.17 en la ecuación (3) para el cálculo, se obtiene un VPN de -77,127,313 pesos

El valor del VPN de acuerdo a los criterios de aceptación indica que el proyecto para la sustitución de diésel en los pumabuses no se acepta.

5.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como la tasa de descuento (i_2) a la cual, se iguala el valor presente neto de los flujos de caja generados por un proyecto con la inversión inicial realizada. Es decir, es la tasa de descuento que reduce a cero el VPN. Lo cual se denota en la ecuación (4).

$$\sum_{k=1}^n \frac{F_k}{(1+i_2)^k} - I_0 := 0 \quad (4)$$

Una alternativa del cálculo de esta tasa es mediante ensayo y error. El procedimiento sugerido es el siguiente: Dado el flujo de dinero neto al final de cada año y la inversión inicial (I_0), se selecciona una tasa de descuento aleatoria y se calcula el VPN del proyecto con la ecuación (3). Si el VPN es positivo implica seleccionar una tasa de descuento mayor y se calcula nuevamente el VPN. Si éste es negativo se toma una nueva tasa de descuento, pero ésta será mayor que la seleccionada primero y menor que la seleccionada después. Se calcula una vez más el VPN y cuando su valor sea muy cercano a cero se habrá encontrado el valor de la tasa de descuento buscada que será igual al indicador TIR.

La TIR (i_2) de un proyecto se fija independientemente de la tasa de descuento (i). Así, las reglas de decisión de la TIR toman en cuenta una tasa de descuento mínima requerida que llamamos i , implícitamente. Entonces:

Si $i_2 > i$, se acepta el proyecto

Si $i_2 = i$, la inversión no obtendrá ganancias ni pérdidas

Si $i_2 < i$, se rechaza el proyecto

Realizando el procedimiento antes descrito se encuentra una tasa con valores extremadamente mayores a la tasa de descuento (i), y aún así el VPN nunca llega a ser cero, continúa siendo negativo. En la Tabla 5.18 se resumen los resultados del estudio para la factibilidad económica del proyecto.

Tabla 5.18 Resumen de la factibilidad económica del proyecto

Indicador	Observaciones
VPN \ll 0	El VPN obtenido es extremadamente negativo por lo cual de acuerdo a los criterios de decisión, el proyecto debe rechazarse.
TIR \gg i	El valor de la TIR no se encontró ya que tiene un valor muy grande y el VPN nunca toma el valor de cero.

Estos resultados ya se esperaban cuando se realizó el cálculo de los costos de operación por siembra hidropónica del cultivo, ya que el gasto anual en los sustratos y nutrientes es muy elevado. Además, se requiere de una inversión millonaria para obtener una cantidad de biodiésel que solo abastece 2 autobuses de un total de 55 y para una mezcla B5. Una inversión en el año 2010 en este proyecto traería grandes pérdidas de dinero a la Universidad pues el precio del diésel aún es aceptable. Pero como se sabe, en los últimos años los productos provenientes del petróleo, como el diésel, se han ido agotando rápidamente y por lo menos en México, las reservas probadas para los próximos años se cuentan ya tan solo en billones de barriles. Así, éste estudio de factibilidad en algunos años puede resultar interesante económicamente.

5.3 FACTIBILIDAD AMBIENTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

5.3.1 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la producción de biodiésel a partir de colza

De acuerdo con la Oficina de Información con respecto a las Investigaciones sobre el Cambio Global, el consenso de la mayoría de los científicos alrededor del mundo es que el incremento en las concentraciones de los gases con efecto invernadero (dióxido de carbono y metano, por ejemplo) dirigirá a un significativo sobre calentamiento climático, dados los cambios en los parámetros de precipitación y el aumento en el nivel del mar; aunque la magnitud, la fecha y los patrones regionales de estos cambios no pueden ser predichos con precisión en este momento (Gibbons, 1995).

El potencial para que el biodiésel remplace al diésel de petróleo en un motor para combustible diésel, derivado a partir de grasa animal o vegetal tal como el aceite de colza; para reducir las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera como resultado de la combustión de los motores, ha sido sugerida por varios autores (Sagar, 1995). El aceite de colza es un combustible renovable entre otras cosas., el aceite se obtiene a partir de una planta anual y todo el carbón liberado por la combustión del aceite de la planta ha sido fijado por la misma, a través del proceso de fotosíntesis. El dióxido de carbono del aire ha sido absorbido por la planta, convertido a los lípidos procesados dentro del combustible, cuando el aceite es usado en un motor diésel, el carbón es una vez más liberado a la atmósfera como dióxido de carbono en gran parte, y con pequeñas cantidades de otros compuestos (Charles y Todd, 1998).

5.3.1.1 Fotosíntesis

Uno de los primeros principios básicos de la física es que la materia no se crea ni se destruye. Por lo tanto todo el carbón que está presente sobre la Tierra que siempre ha estado o estará (excepto la exploración espacial y la física nuclear). Todo ocurre de manera natural, así los hidrocarburos fueron fijados a las plantas por medio del proceso de fotosíntesis. En el caso del petróleo el proceso ocurrió millones de años antes. Puede especularse que la Tierra tenía una atmósfera rica en dióxido de carbono, el cual fue removido por las plantas en el proceso de fotosíntesis. Estos materiales fueron subsecuentemente sometidos a calor y presión, lo cual llevó a la creación de los ricos recursos de petróleo encontrados debajo de la superficie de la Tierra. Como éste petróleo es utilizado, el dióxido de carbono se regresa a la atmósfera donde se había originado, como lo muestra la Figura 5.15 (Cripps y Watkinson, 1978). Esta liberación del dióxido de carbono a través de la combustión de los combustibles de petróleo y carbón, es una de las principales cuestiones con respecto al cambio climático global. La revista *Biolque* reportó que cuando los combustibles fósiles se queman, liberan el carbón almacenado por miles de años. El combustible con mayor cantidad de carbono es el que produce mayor cantidad de CO₂. El carbón produce cerca de 225 lb por millón de BTU (97 kg por millón de KJ) de energía, el aceite produce cerca de 160 lb de CO₂ por millón de BTU (69 kg por millón de KJ), y el gas natural produce cerca de 125 lb de CO₂ por millón de BTU (54 kg por millón de KJ). Ellos también reportan que la cantidad de biomasa producida es cerca de 86 kg por millón de KJ pero este carbón no ha sido

almacenado por mucho tiempo y por lo tanto tendrá bajos efectos sobre el equilibrio global de CO_2 (Anon, 1998).

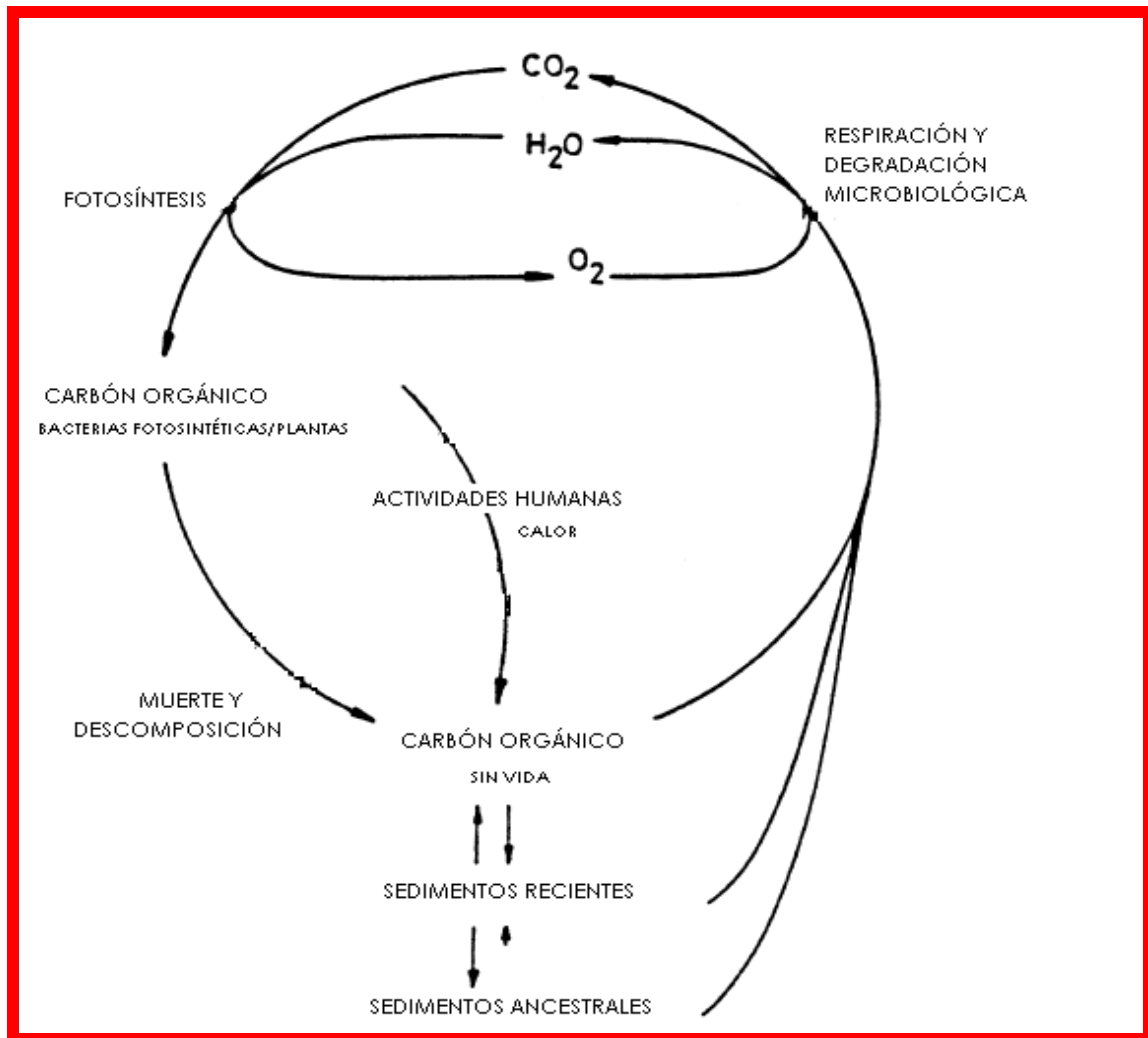


Fig. 5.15 Ciclo del carbono (Cripps y Watkinson, 1978).

La producción de biodiésel a partir del aceite de colza es una parte del proceso cíclico mostrado en la Figura 5.12. El CO_2 liberado a la atmósfera fue fijado por las plantas en el año reciente (tal vez en el mismo año de su combustión). Nuevas plantas de colza sembradas para una futura producción de biodiésel, están fijando el carbono de la atmósfera durante el actual ciclo de crecimiento. De acuerdo a la Universidad del Estado de Arizona (ASU, por sus siglas en inglés), la energía almacenada en el petróleo, en el gas natural y en el carbón, viene del sol vía fotosíntesis, así como la energía en la leña, la cual representa el mayor combustible en muchas partes del mundo. Todas nuestras necesidades energéticas biológicas son conocidas por el reino de las plantas, así como directamente o a través de animales herbívoros. Las plantas a su vez obtienen la energía sintetizando los productos alimenticios por el proceso de fotosíntesis. Sin embargo las plantas elaboran cierto material necesario a partir del suelo, agua y del dióxido de carbono del aire.

La energía que requieren las plantas para su desarrollo es totalmente obtenida por la luz solar. La energía solar es pura energía beneficiosa, la energía en la luz solar se debe convertir a otra forma para su aprovechamiento. Aquí es donde interviene el proceso fotosintético. La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas hacen el cambio de energía solar a otros tipos de energía los cuales pueden ser almacenados para su uso posterior. Las plantas llevan a cabo este proceso en el centro de la reacción fotosintética (Gust, 1995). Estas pequeñas unidades se encuentran en las hojas, y convierten la energía solar en energía química, la cual es la forma en que los organismos vivos pueden utilizarla. Uno de los mayores procesos para la obtención de energía en las plantas, envuelve el uso de la energía de la luz solar para convertir el CO_2 obtenido del aire en azúcares, almidones y féculas y otros carbohidratos de alto contenido energético.

El oxígeno se libera en el proceso, después, cuando la planta necesita comida toma la energía almacenada en esos carbohidratos. Nosotros hacemos lo mismo cuando tenemos hambre, o nuestros cuerpos se oxidan o quemamos el almidón, permitiendo su combinación con el oxígeno obtenido a partir del aire. Esto produce el dióxido de carbono que nosotros exhalamos y la energía que necesitamos para sobrevivir. Uno de los carbohidratos resultantes a partir de la fotosíntesis es la celulosa que constituye la parte de la materia seca y otras partes de la materia de una planta. Cuando quemamos madera convertimos la celulosa almacenada en dióxido de carbono y se libera la energía almacenada, en forma de calor.

Quemar un combustible es prácticamente lo mismo que un proceso de oxidación que ocurre en nuestros cuerpos, se libera la energía solar almacenada como otra forma de energía que resulte más usual y se regresa dióxido de carbono a la atmósfera.

La energía que se obtiene por la quema de biomasa es muy importante en muchas partes del mundo. En los países en vías de desarrollo la leña sigue siendo de gran importancia para su supervivencia. El etanol producido a partir de azúcares y almidones por fermentación, es una de los más importantes combustibles automovilísticos en Brasil y se mezcla con la gasolina en algunas partes de los Estados Unidos, para ayudar a la reducción de emisiones de contaminantes nocivos.

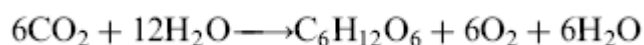
Nuestra mayor cantidad de recursos energéticos son el carbón, el petróleo y el gas natural. Todos estos materiales son derivados a partir de plantas y animales muy antiguos, y la energía almacenada dentro de ellos es energía química que originalmente llegó en forma de luz solar.

Actualmente hay mucha controversia con respecto a los posibles efectos del dióxido de carbono y otros gases con efecto invernadero sobre el medioambiente. Como se ha mencionado por medio de la fotosíntesis se convierte el dióxido de carbono del aire a carbohidratos y otro tipo de compuestos para el proceso, por ejemplo, de fijación; liberando oxígeno a la atmósfera. Cuando quemamos leña, carbón, etanol, petróleo u otros combustibles fósiles se consume oxígeno. Así el dióxido de carbono removido de la atmósfera por tantos millones de años atrás está siendo reemplazado muy rápidamente a través del consumo de dichos combustibles (Gust, 1995).

5.3.1.2 Fijación de carbón por la planta de colza

La colza como otras plantas, usa el proceso de fotosíntesis para capturar la energía solar y convertirla en energía química la cual es el tipo de energía que la planta puede utilizar. En el proceso de fotosíntesis el oxígeno y el agua se crean como productos secundarios y se liberan a la atmósfera. La planta usa la glucosa obtenida junto con los nutrientes absorbidos a partir del suelo, para su crecimiento y desarrollo. La siguiente ecuación describe el proceso de fotosíntesis basado en carbón, en términos de una ecuación química balanceada (Thomas, 1984).

Luz solar



Una observación importante considerando el ciclo del carbono es que la planta absorbe todo el carbón que necesita a partir del dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera.

Sin embargo, los estudios muestran que no todo el carbono fijado por la planta se queda dentro de la misma. Shepherd y Davies (1993), hicieron un estudio sobre las plántulas de colza (*Brassica napus L.*) en el cual ellos concluyeron que del 17-19 % del CO₂ fijado, fue transferido a las raíces en un periodo de 2 semanas. De eso, un 23-24 % fue liberado a la atmósfera vía respiración como CO₂, y un 30-34 % se liberó hacia el suelo (rizósfera).

Del carbón liberado a la rizósfera, entre el 31-51 % fue utilizado por los microorganismos que ahí existen. Con lo cual solo queda del 30-40 % de carbón trasladado hacia las raíces en el suelo. Por lo tanto las plantas toman mayor cantidad de CO₂ de lo que la biomasa de la planta requiere. El carbón acumulado en el suelo podría continuar degradándose y eventualmente sería liberado como CO₂ a través de la actividad biológica (Shepherd y Davies, 1993).

Un rendimiento de la colza de 2.24 toneladas por hectárea rendirán aproximadamente 935 L/ha de aceite, 1,400 kg/ha de torta y 5,600 kg/ha de biomasa (Peterson y col., 1995). El aceite de colza, la colza, la torta de la colza, la biomasa de la colza y con propósitos de comparación, el trigo; fueron analizados en su contenido de carbono en un laboratorio comercial, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.19

Los residuos (compuestos por aproximadamente 41.4% del carbón total) generalmente se dejan en el campo, donde a partir de las técnicas de arado y conservación del suelo, se incorporan en el suelo como materia orgánica, donde pueden ser procesados por los organismos. Estos microorganismos asimilan el carbón a partir de los residuos, reteniendo una parte de ellos e incorporan el resto liberándolo hacia la atmósfera como CO₂ vía respiración (Reicosky, 1994).

Otro posible uso para los residuos que puede ser considerado, económicamente, es la recolección de los residuos y utilizar esta biomasa como recurso energético (combustible). Éste último fin ha sido estudiado con varios otros cultivos, incluyendo el trigo, cebada y maíz (Galinato y col.,

1987). Los residuos de la colza, así como su biomasa pueden ser utilizados con fines energéticos, que al quemarse devuelven a la atmósfera los gases de combustión.

Tabla 5.19. Poder calorífico superior y contenido de carbono (Peterson y col., 1995)

	MJ/kg	% Carbono
Aceite de colza	40.4	79.5
Colza	27.3	58.4
Torta de colza	20.8	46.5
Residuos de colza	16.5	41.4
Trigo	15.3	41.2

Una estimación del carbón fijado por un promedio de cultivo de colza produciendo 2.2 t/ha se muestra en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Estimación del carbono fijado en promedio del cultivo de colza, cuando la producción es de 2.2 toneladas por hectárea (Charles y Todd, 1998).

Producto	Kg/ha	% Carbono	kg C/ha	kg CO ₂ /ha
Aceite de colza	840	0.79	270.4	2,449.8
Torta de colza	1401	0.46	263.9	2,390.9
Colza	2241	0.58	529.7	4,799.4
Biomasa de la colza	5604	0.41	938.3	8,501.1

5.3.1.3 Procesamiento

Durante el procesamiento, el ciclo de carbono en la colza llega a ser muy complicado debido a la variedad de técnicas de procesamiento que pueden ser utilizadas. El paso inicial para el procesamiento es la extracción del aceite a partir de las semillas. En la Tabla 5.15 se puede ver que la semilla tienen un contenido en carbón del 58.4 %. La extracción puede llevarse a cabo mecánicamente, químicamente o por combinación de ambos métodos (Peterson, 1986). Después de que el aceite se extrajo, la torta resultante (con un contenido en carbón de 46.5 %) puede ser dispuesta para diversos fines. Puede ser utilizada como recurso energético, fertilizante orgánico, o como comida para ganado, sin embargo existen algunas limitantes para éste último uso (Peterson y col., 1983; Ward y col., 1985; Robbelen y col., 1989).

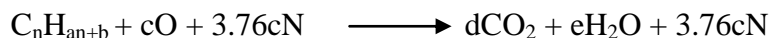
Después de recuperar el aceite de las semillas, el siguiente paso es su purificación. Este proceso envuelve la remoción de impurezas y del glicerol, a partir del aceite crudo. Un sin número de técnicas pueden ser aplicadas para éste fin, dependiendo de las características exactas que se requieren del aceite. La filtración se lleva a cabo, poniendo el aceite en tanques establecidos o forzando al aceite, o ambos (Peterson, 1986). El proceso de desgomado puede entonces aplicarse, lavando con agua caliente el aceite (Peterson, 1986; Strayer y col., 1983).

El procesamiento del aceite a biodiésel requiere de una transesterificación. Esto consiste en hacer reaccionar los triglicéridos con alcohol, para producir ésteres de ácidos grasos y glicerol. Generalmente se utiliza etanol o metanol como alcohol, formando etil o metil ésteres, respectivamente, sin embargo el butanol, que forma butilesteres, también se ha utilizado (Klopfenstein y Walker, 1983; Nye y col., 1983). Ciertamente la transesterificación mejora en gran medida las propiedades del aceite muchas ventajas, como el aumento en el número de cetano, y la disminución de la viscosidad del aceite, con lo cual se registran menos daños en el motor, cuando se utiliza éste biodiésel como combustible. La adición de alcohol al proceso, adiciona también carbón, y la separación del glicerol durante la reacción de transesterificación, también remueve carbón de la mezcla. Peterson y Reece (1996) estiman un costo en utilidades para una planta de esterificación de 1.06 centavos/L. Esto puede ser equivalente a solo 2.53 % de la energía que el aceite requiere para su procesamiento.

5.3.1.4 Combustión

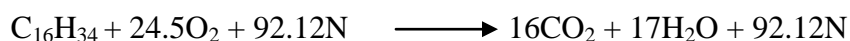
Liljedahl y col. (1979), declaran que todo el petróleo crudo está compuesto de la combinación de hidrógeno y carbono en aproximadamente 86 % carbono y 14 % hidrógeno (en base a la masa). Los átomos de carbono e hidrógeno se pueden combinar en varias y diferentes formas para la obtención de varios y diferentes hidrocarburos que componen el petróleo crudo.

La reacción de combustión para cualquier hidrocarburo es de la forma (Obert, 1973):



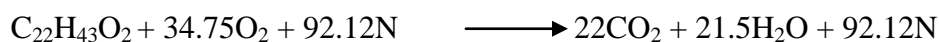
a, b, c, d, e y n son las constantes para cada combustible en específico.

Por ejemplo un combustible diésel típico $C_{16}H_{34}$, tiene una ecuación teórica de combustión:



Esta ecuación muestra que 3.11 kg de CO_2 se producen por cada kilogramo de diésel usado como combustible.

Peterson y Reece (1996) calcularon la ecuación hipotética para el metil y etil ésteres de colza (RME y REE, por sus siglas en inglés) y del aceite de canola (CME y CEE, por sus siglas en inglés) que se muestran en la Tabla 5.21. Hay que notar que los ésteres de estos aceites están oxigenados y compuestos por oxígeno en un 10 %, 78 % de carbono y 12 % de hidrógeno, en peso. La reacción de combustión para el REE es:



Esta ecuación muestra que 2.86 kg de CO_2 se producen por cada kilogramo de REE usado como combustible.

Tabla 5.21. Formula hipotética para los metil y etil ésteres de los aceites de colza y canola (Charles y Todd, 1998).

Combustible	Formula hipotética	Peso molecular (g/mol)
Metil éster de colza	$C_{21}H_{28}O_2$	323.38
Metil éster de canola	$C_{19}H_{35}O_2$	295.29
Etil éster de colza	$C_{22}H_{43}O_2$	340.12
Etil éster de canola	$C_{20}H_{37}O_2$	309.38

En un proceso de combustión teórico, todo el carbono se va hacia el dióxido de carbono y el nitrógeno a partir del aire no se ve afectado durante el proceso. En el proceso actual de combustión, parte del carbono permanece como componente de varios hidrocarburos, parte del carbono forma monóxido de carbono y aldehídos y parte del nitrógeno se convierte en NO_x . En una prueba reciente llevada a cabo por la LA MTAETF (Sede que lleva a cabo las pruebas de emisiones del tránsito en Los Ángeles), las emisiones se muestran en la Tabla 5.22 y fueron medidas a partir de las pruebas típicas (Peterson y Reece, 1996).

Los datos de dicha Tabla muestran que la mayor parte del carbono (99 %) se convierte en CO_2 , mientras que las emisiones de hidrocarburos, CO y aldehídos constituye menos del 1 % del carbón producido a partir de la combustión. Estos otros componentes son importantes, por sus efectos ambientales, pero con respecto al calentamiento global no representan tanta importancia. El biodiésel puede ayudar a reducir tanto las emisiones reguladas como las que no lo son. En el ciclo del carbono los componentes en menor cantidad forman juntos solo una pequeñísima parte del carbono involucrado. Los productos intermedios también eventualmente regresan a ser CO_2 a través de los microbios y muchos otros procesos de degradación.

Se puede concluir que si la combustión es completa, todo el carbono en el combustible se convertirá en dióxido de carbono, el cual se liberará a la atmósfera. Es más, los productos intermedios de la reacción eventualmente también regresan a la atmósfera como CO_2 , el diésel produce 8.7 % más dióxido de carbono por kilogramo, que el biodiésel; pero el diésel tiene 12.3 % más energía por kilogramo, que el biodiésel; por lo que se requiere menos diésel para una producción energética igual. El biodiésel es un combustible oxigenado y, de acuerdo a algunos reportes, tiene una eficiencia térmica ligeramente más alta que la del diésel. Sin embargo, como asunto práctico se puede asumir que por unidad de trabajo realizado, la cantidad de CO_2 producida es muy similar utilizando diésel o biodiésel.

5.3.1.5 Reducción del CO_2 por el uso de biodiésel

El dióxido de carbono producido por el cambio del diésel por el biodiésel se discutirá en dos niveles, primero el simple intercambio del diésel por el biodiésel y segundo, una discusión sobre los factores relevantes que afectan el intercambio, los cuales podrían ser considerados debido a la producción, procesamiento y transporte de ambos (Charles y Todd, 1998).

Tabla 5.22. Resultados de las pruebas de emisiones del biodiésel (Peterson y Reece, 1996).

Combustible	Kg CH/kg combustible	Kg CO/kg combustible	Kg NO _x /kg combustible	Kg CO ₂ /kg combustible	Kg partículas/kg combustible
100% metil ésteres de colza	0.003032	0.010027	0.030419	3.389756	0.002441
100% etil ésteres de colza	0.001714	0.012286	0.030336	3.366879	0.001363
Diésel	0.004748	0.033727	0.03708	3.721776	0.001729

5.3.1.5.1 El CO₂ cuando el diésel se reemplaza por biodiésel

Por cada libra de diésel utilizado se producen 3.11 libras de dióxido de carbono, y aproximadamente la misma cantidad se produciría si se utilizara la misma cantidad (en términos energéticos) de biodiésel. Peterson y Reece (1996) reportaron que el etil éster de colza tiene un muy alto calor de combustión de 40.7 mJ/kg y el del diésel es de 45.7 mJ/kg. Esto significa que se necesita 12.3 % más REE (en base másica) para producir la misma energía que el diésel, mientras que el balance teórico de carbón muestra que 8.7 % más REE producirá la misma cantidad de CO₂. La diferencia se debe a que el biodiésel está oxigenado y al teórico contra el actual procesos.

La transesterificación requiere de alcohol ya sea metílico (CH₃OH) o etílico (C₂H₅OH) y la glicerina removida (C₃H₈O₃). Aproximadamente el 10 % del alcohol reacciona y aproximadamente el 10 %, por el peso de la glicerina, se remueve, así que la cantidad de éster producido es aproximadamente la misma que la del aceite utilizado. En el etil éster el 78 % en peso es carbón, peso 0.876 kg/L y tiene un alto calor de combustión de 40.7 mJ/kg. Generalmente un acre de colza produce 378 L de REE lo cual puede reemplazar aproximadamente 348 L de diésel y reemplazarían aproximadamente 918 kg de CO₂ a partir del petróleo con 948 kg de CO₂ a partir del recurso renovable vegetal. Es más, las plantas en cada acre procesarían 5375 kg de CO₂, incluyendo el 18 % que se ha estimado que se traspa a la tierra a través del sistema de raíces. La Figura 5.16 muestra los diferentes caminos que puede tomar el carbono. Eventualmente la mayoría de éstos regresaría a la atmósfera en forma de dióxido de carbono a través de los procesos de biodegradación. Sin embargo algo tal vez sea fijado como carbono libre y algo se almacena en pocas formas biodegradables. Así entonces vemos que el combustible renovable potencialmente remueve mayor cantidad de dióxido de carbono que por el simple cambio en cuanto a su uso como combustible.

Peterson y col. (1995), estimaron que 27.5 millones de hectáreas de tierra agrícola en Estados Unidos fue desocupada y que esas tierras producirían cerca de 25.7 billones de litros de aceite vegetal por año o el 27 % del diésel utilizado en el transporte. Reportaron que en adición 25.1

millones de hectáreas en Estados Unidos fueron utilizadas para producir exportaciones, y que la menor parte de esa tierra podría estar siendo utilizada para producir biodiésel.

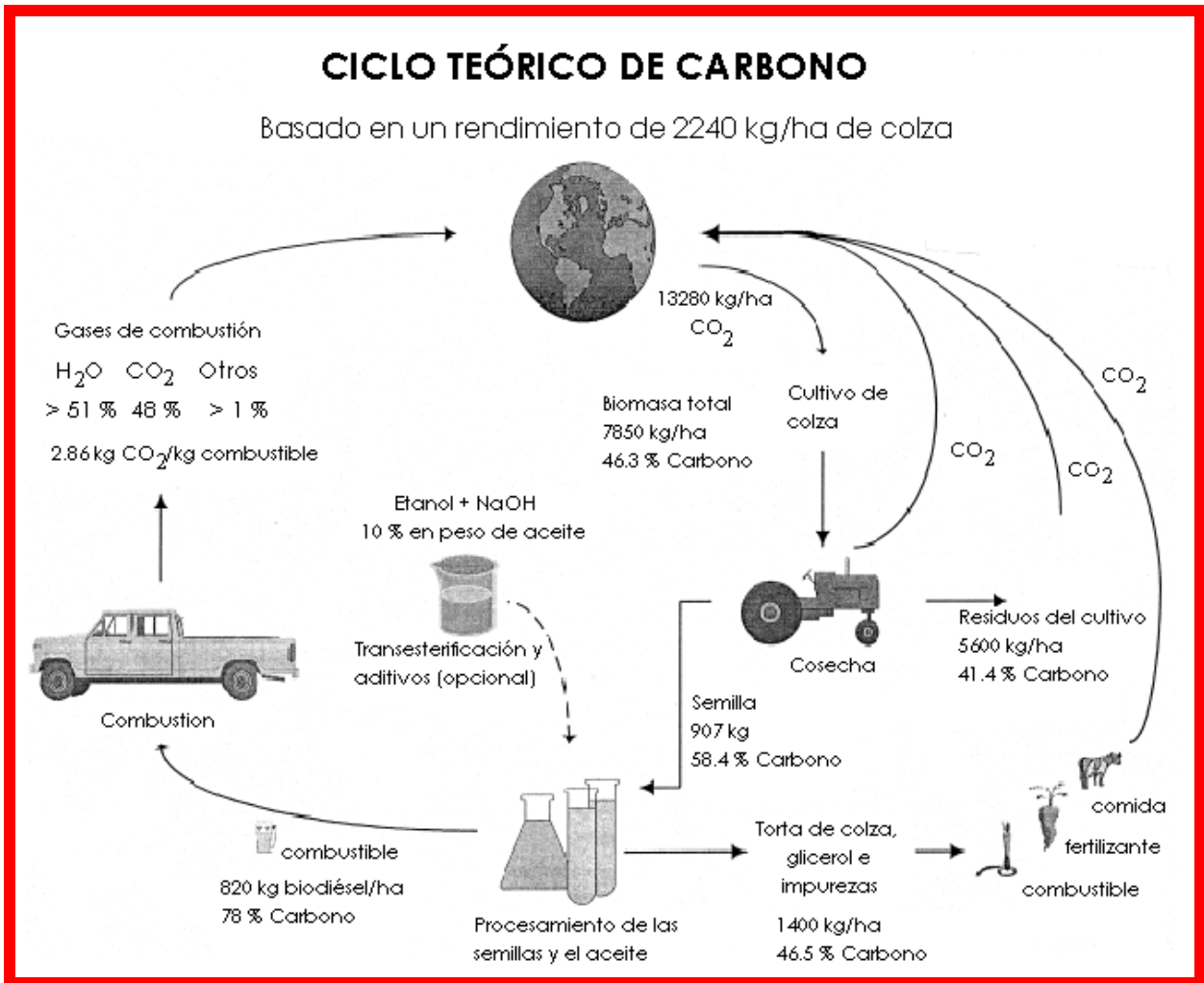


Fig. 5.16. Ciclo teórico de carbono para la colza (Peterson y Reece, 1996).

En Estados Unidos otros 4.73 billones de litros de aceite fueron producidos a partir de cebo, grasas, mantequilla, manteca y aceite de pescado, de lo cual el 34 % fue exportado. Una producción total en el orden 45-54 de billones de litros, aproximadamente el 50 % del diésel utilizado para el transporte. La reducción del dióxido de carbono liberado a la atmósfera a partir del petróleo contra el uso de estos recursos renovables ha estado en el rango de los 113-136 billones de kilogramos por año. Esto fue calculado asumiendo una reducción en CO_2 de 3.11 kg por cada kilogramo de diésel remplazado por biodiésel, y asumiendo que se requirieron 1.1 L de biodiésel por cada litro de diésel remplazado.

5.3.1.5.2 Factores que afectan la sustitución de diésel por biodiésel

Una discusión adicional de las emisiones de dióxido de carbono a partir del biodiésel, comparado con el combustible diésel, requeriría un análisis del sistema completo. El biodiésel viene de la

siembra en tierras agrícolas, las cuales necesitan de energía para el arado, la aplicación de químicos, para la producción de esos químicos, producción de maquinaria, para la cosecha, transporte del cultivo, almacenamiento y labores en general. El procesamiento requiere de energía para la operación de los mezcladores y bombas, prensas, para la producción de tanques de almacenamiento y labores en general. El combustible también requiere transportarse al punto donde se va a utilizar. Auld y Peterson (1989) estimaron que se produjeron 4.2 unidades de energía con el aceite de colza, por cada unidad de energía invertida en el proceso. Otras investigaciones han estimado variaciones entre 3-4 unidades de energía obtenidas por cada unidad de energía invertida en el proceso de producción de biodiésel.

Se debería poner atención también en que la tierra no está vacía cuando no se siembran los cultivos oleaginosos. ¿Cómo se puede comparar la utilización del dióxido de carbono con otro cultivo tal como el trigo? Actualmente algunas tierras no son actualmente productivas tales como las tierras del Programa de Conservación de las Reservas (CRP, por sus siglas en inglés). Gran parte de estas tierras son pastizales los cuales no requieren de grandes inversiones. Algunos cultivos como la remolacha o los oleaginosos se cultivan intensivamente sobre estas tierras. El trigo es uno de los cultivos que utiliza mayor cantidad de CO₂ que la colza procesando aproximadamente 10,342 kg comparados con 5,375 kg que la colza utiliza por hectárea. Se considera éste punto dado que actualmente para ayudar a la reducción del dióxido de carbono en la atmósfera, las cuales lo secuestran por periodos largos de tiempo, deben ser plantadas. Así como el carbón total secuestrado por el crecimiento de las plantas excede el dióxido de carbono liberado, el carbono en la atmósfera decrecerá.

El combustible diésel también requiere de una inversión energética para la exploración, perforación, bombeo, transporte, procesamiento y almacenamiento. Sittig (1978) reportó que el combustible consumido por una refinería en el procesamiento del crudo para la obtención del producto final fue del orden del 8-11 % del crudo utilizado (diariamente, semanalmente, mensualmente o anualmente procesando un volumen de petróleo crudo. Se requirió combustible adicional para el bombeo, almacenamiento y transporte. La proyección del uso de energía por la industria de refinación en Estados Unidos (EU) se muestra en la Tabla 5.23 y se llevó a cabo por tres grupos en tres regiones seleccionadas de los EU.

USDOE (1995), declara que por cada barril de petróleo producido hasta la fecha en los EU, dos barriles se quedan sin explotar. La industria del petróleo en EU ha producido 160 billones de barriles, pero cerca de 350 billones de barriles permanecen en el yacimiento. Es muy difícil recobrar la mayor parte del petróleo remanente, pues está encerrado en complejas estructuras geológicas o simplemente no está al alcance de la capacidad de recuperación de la tecnología actual. Los suministros de petróleo crudo en EU están llegando a ser más pesados y de alto contenido en sulfuros. Esto ha creado nuevos retos para las refinerías para la producción de luz, combustibles para motores y otros productos. La exploración de EU y la industria de producción enfrentan regulaciones ambientales cada vez más estrictas, y está gastando más de \$ 1.5 mil millones de dólares por año para cumplir con los requisitos de la EPA. Si las regulaciones ambientales no se basan más en los riesgos de sitios en específico y en el grado de avance

científico, la producción se puede reducir a 330,000 barriles por día o 120 millones de barriles por año en el 2020. Estos factores llevarán a que la industria de producción del combustible diésel requiera más y más energía y con ello la liberación de más y más carbono a la atmósfera, por cada barril de petróleo aprovechable. Cualquier estimación basada en las industrias actuales se conservará para el futuro.

Tabla 5.23. Energía utilizada por las refinerías de varias regiones de EU-proyección 1985 (USDOE, 1995).

	Costa este	Costa del Golfo	Costa oeste	Total
Crudo refinado (10³) barriles/día	198	218	164	580
Combustible refinado, FOE*/día				
Gas	6990	6880	7500	21370
Petróleo	9640	10700	11690	32030
Combustible total, FOE/día	16630	17580	19190	53400
Vapor comprado, 10⁶ lb/día	5.7	0.5	0	6.2
Electricidad, 10³ kWh/día	838.7	875	897.3	2611

* FOE, fuel oil equivalent, 6.3×10^6 Btu (6.6×10^6 kJ)

Schmalzer y Zuech (1995) reportaron que por cada 10,000 barriles refinados por día se tienen pérdidas anuales de 10 millones de dólares solo por las pérdidas en eficiencia causadas por las incrustaciones en las superficies metálicas de los intercambiadores de calor en el proceso de refinación. Las refinerías consumen el equivalente de 200,000 barriles de petróleo por día simplemente para proveer el calor necesario para el proceso de destilación. Se demuestra entonces que tanto, la producción de biodiésel requiere de recursos adicionales como la producción de diésel. Es difícil citar una cantidad comparable de cada uno, sin embargo, el diésel de petróleo probablemente requiere del 15 al 20 % de la energía producida para crear el producto, mientras que el biodiésel requiere del 25 al 33 % para la obtención del producto. En términos del ciclo de carbono, esto significa que se requeriría de un 5-15 % de biodiésel adicional para compensar cada galón de diésel remplazado.

Se estima que la máxima reducción de CO₂ debido al uso del biodiésel sería de 113,136 billones de kilogramos por año (Charles y Todd, 1998).

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

La producción de biocombustibles como una alternativa, para detener el impacto ambiental de los combustibles fósiles además de la velocidad de decadencia de los mismos, ha movido al mundo. Las investigaciones acerca de tecnología más eficiente y sobre todo materia prima más rentable para la producción de los biocombustibles y en particular del biodiésel están teniendo efecto, pues ahora podemos ver que hasta en países tercermundistas como lo es México, se han llevado a cabo proyectos para la producción de biodiésel, tal es el caso de Estados como Michoacán y Chiapas, donde ya se cuenta con plantas de producción continua de dicho biocombustible.

A la mayoría de nosotros si nos dieran a escoger entre comer o tener transporte, la respuesta más obvia sería comer, y la nueva pregunta será ¿pero comer a qué precio?, pues ahora con este nuevo tema de los cultivos energéticos es muy difícil que los agricultores quieran sembrar los productos comestibles por lo cuales reciben la mitad de lo que se les está pagando por sembrar los ya mencionados cultivos energéticos. No es lo mismo tener una producción de fruta, maíz, papas, etc., y que cuando llegue la temporada de cosecha tener el precio que fija el mercado, que unos años es bueno y otros es nefasto; que tener un precio pactado, como sucede con el sistema de los cultivos ligados a la energía, en que el precio se establece al firmar el contrato de suministro, y éste tiene una vigencia de al menos 12 o 15 años, con posibles actualizaciones. Con ello viene el aumento en los precios de la canasta básica y aún más, la crisis mundial ya presentada en el año 2009 y que continúa aun. Tan solo en la Unión Europea durante el año 2005 se destinaron aproximadamente 7 millones de hectáreas a la siembra de cultivos como soya, girasol y colza (materia prima para la producción de biocombustibles), así países como España cuentan con más de 7 plantas de capacidades de hasta 100,000 toneladas por año de biodiésel, más las que están en planeación.

Se sabe que el problema del cambio climático global ya no es un mito sino un hecho, pero no puede ser posible que se quieran dar soluciones a la ligera, que se esclarezca un problema trayendo consigo otros más.

Por todo ello se han buscado otro tipo de materia prima como las grasas animales o los aceites gastados, los cuales también sirven muy bien como materia prima del proceso, pero el problema con este tipo de materia prima son los costos del procesamiento, el cual al requerirse una mayor refinación (con respecto a los aceites crudos) hacen que la inversión en equipo y reactivos sea mayor.

Existe un caso en particular que se llevó a cabo en Nueva York, que como se mencionó en el apartado 3.11 vincula operacionalmente un digestor anaeróbico con un sistema hidropónico de producción de energía a partir de la biomasa de los cultivos en siembra hidropónica, en una relación simbiótica. Este nuevo sistema de producción de energía suena muy interesante ya que, al ser un sistema anaeróbico, no se cuenta con la presencia de oxígeno, funciona de tal forma en que se da un crecimiento del cultivo, en medio acuoso (hidropónico), que cuando se cosecha la biomasa residual sirve de alimento para las nuevas generaciones. Con la generación durante el

proceso, de gases provenientes de la descomposición anaerobia de la materia, los cuales tienen un contenido en mayor proporción de metano, éste último en vez de liberarse directamente a la atmósfera, se utiliza como combustible para el mismo sistema y para otros fines. Además de que como se suelen sembrar árboles y cultivos perennes (con alto contenido de aceite) también se puede obtener biodiésel del aceite que se extrae de esos cultivos. Aunque suena muy convincente, hay una gran desventaja en este proyecto, pues como ya hemos visto en la parte del análisis del ciclo de vida de la colza, el biodiésel al ser utilizado como combustible no disminuye las emisiones de los gases con efecto invernadero, lo que en realidad lo hace aceptable en términos ambientales, es la cantidad de CO₂ que consumen de la atmósfera durante su desarrollo, y como se dijo el sistema que maneja David Tessel es un sistema cerrado. Otra desventaja son los costos de la tecnología, que aunque en la patente no hablan de costos, ahora que se ha llevado a cabo toda la investigación en el medio abierto (supuestamente más barato) la inversión en un proyecto para la producción de biocombustibles, hoy en día no es tan fácil de aceptar. Por otro lado si se producen los cultivos oleaginosos en los techos se logrará disminuir costos por terreno, que en el caso del digestor tendría que ser enorme si se pretende reemplazar a los combustibles fósiles, ello más lo que costaría la estructuración del sistema de producción.

En general, algunos proyectos que se han estudiado para la producción de biodiésel se enlistan en la Tabla 6.1 para su comparación.

Tabla 6.1 Características y factores disyuntivos entre diferentes proyectos para la producción de biodiésel.

Estudio	Costo por la producción de biodiesel (\$/L)	Observaciones	Referencias
Producción de biodiésel a partir de colza sembrada por hidroponía	1,496	Con el plan de siembra se capturan 16,500 kg de CO ₂ del aire anualmente. El aceite de colza presenta buenos resultados al utilizarse en motores diésel.	Este documento
Producción de biodiésel a partir de microalgas	536.25	Sistema de captura directa del CO ₂ emitido por las fábricas, para el crecimiento de las microalgas.	Sheehan y col., 1998
Producción de biodiésel con sebo y grasa	346.71	Con 45-54 billones de litros de biodiésel producidos han mostrado reducciones de entre 113-136 billones de kilogramos de CO ₂ . El uso de biodiésel de éste tipo de materia prima, ocasiona muchos problemas en las partes del motor.	WMRC, desconocido; Peterson y Reece, 1996
Producción de biodiésel con aceites comestibles de desecho	421.59	Captura de 0.27 kg de CO ₂ /año al utilizar 8,134 L de biodiésel en lugar del diésel. Requiere de un proceso largo de purificación y la duración del biodiésel en almacén disminuye con respecto al uso de los aceites vegetales puros como materia prima	Plascencia, 2010

CAPÍTULO VII: ALTERNATIVA DE FACTIBILIDAD

Como se puede ver en el capítulo V, el análisis financiero del proyecto lo hace no atractivo, por lo cual en este capítulo se sugieren algunas alternativas que lo hacen atractivo.

Los costos para llevar a cabo la siembra hidropónica de la colza son el factor principal que se debe reducir para poder obtener datos financieros atractivos.

Se ha consultado a los proveedores “Todo para hidroponía” (ver anexo B) quienes han sugerido utilizar solución nutritiva como único sustrato. Con ello las Tablas 5.12 y 5.13 del capítulo V quedan como se muestra en las Tablas 7.1 y 7.2, respectivamente.

De las Tablas 5.12 y 5.13 se ha descartado parte del material que se necesitaba adquirir en el caso de utilizar sustratos sólidos, lo cual reduce la inversión inicial y los costos de operación.

Ahora bien, en las Tablas 5.14 y 5.15 se observan los costos a efecto de adquirir los equipos de producción en acero inoxidable y sin considerar la utilización de los equipos ya existentes en el laboratorio de Ingeniería química. Al considerar dichos equipos y tomar en cuenta que en la visita que se realizó a la planta piloto de la empresa Biofuels de México el Licenciado Carlos Campos sugirió la utilización de Tótems de plástico (Fig. 7.1) para el almacenamiento del biodiésel, así como para la separación de éste último de la glicerina. Entonces los costos finales para procesar el aceite obtenido se enlistan en las Tablas 7.3 y 7.4



Fig. 7.1 Tótems de plástico donde se almacena el biodiésel

Tabla 7.1 Costos fijos por la siembra hidropónica en agua

Cantidad	Unidades	Descripción	Especificaciones	Precio unitario (pesos)	Costo total (pesos)
52	charolas	Charolas	50 x 60 cm, en poliestireno, con capacidad de 63 plántulas	25	1300
776	m2	Malla antipajaros		10	7760
14976	m	Estructura de fierro para soporte	Ancho de 1.5 pulgadas	13	194688
100	kg	Alambre galvanizado	Calibre 12	40	4000
1750	m	Mangueras de distribución	1 pulgada de diámetro	5	8750
300	m	Tubería de distribución	1 pulgada de diámetro, PVC para plomería	10	3000
5	bombas	Bombas	1/4 de HP	800	4000
5	filtros	Filtros	Malla o discos	250	1250
5	tinacos	Tinaco	1 m3	1500	7500
		Válvulas y accesorios	1 pulgada de diámetro, PVC para plomería		400
		Costos de instalación eléctrica e hidráulica			1500
		Cuarto de almacenamiento general	2 x 3 m		2000
		Cuarto de almacenamiento de semillas	2 x 3 m		5000
75	m2	Plástico para invernadero		12	900
71	m	Estructura de fierro para invernadero	Ancho de 1.5 pulgadas	17	1207
2.25	m2	Malla antiáfidos		20	45
		Herrajes	Tornillos, tuercas, clavos, entre otros		200
5	básculas	Báscula	Granataria	300	1500
		Herramientas agrícolas	Tijeras, palas, entre otros		500
Costos totales					245500

Tabla 7.2 Costos variables por la siembra hidropónica en agua

Cantidad	Unidades	Descripción	Especificaciones	Precio unitario (pesos)	Costo/mes (pesos)	Costo/año (pesos)
300	kg	Mezcla de nutrientes	Hidrociencias (ver apartado 3.6.1.2)	2.5	750	9000
10	galones	Insecticidas	Galón, ya sea preventivo o correctivo		700	8400
		Total inversión 1			1450	17400
Costos subtotales						17400
		Laboratorio			145	174
		Contingencias			14.5	174
		Depreciación			145	174
		Gastos generales administrativos			725	1000
Costos totales						18922

Tabla 7.3 Costos fijos por la producción de biodiésel

Equipo	Costo (\$)
Tanque de almacenamiento del aceite	5000
Tanque de almacenamiento del biodiésel	5000
Costo subtotal	10000
Servicios	50
Instalación	500
Costos totales	10550

Tabla 7.4 Costos variables por la producción de biodiésel

Materia prima	S1 (kg)	Costo (dolares)	S2 (kg)	Costo (\$)
Metanol	1	0.286	1230.720	265.708
Hidróxido de sodio	1	0.617	69.000	101.751
Costo subtotal				367.459
Depreciación				18.373
Costos totales				734.918

Así entonces la inversión inicial será de 275,707 pesos si se utiliza solo agua como sustrato para el cultivo de la colza. Con lo cual cambian los flujos de efectivo (Tabla 7.5) y los valores para el valor presente neto y para la tasa interna de retorno.

Se debe aclarar que éste método de siembra no se había tomado en consideración porque cuando se realizó la metodología solo se contaba con las instalaciones adecuadas para el tipo de siembra que se llevó a cabo (ver capítulo IV).

Tabla 7.5 Flujos de efectivo para el proyecto alternativo

Año	Gasto (\$)	Ganancias por la venta de glicerina (\$)	Ganancia por ahorro en el remplazo del diésel (\$)	Flujo de caja (\$)
0	-275,707			-275,707
1	-19,657	27,600	37,886	45,829
2	-19,657	27,600	40,326	48,269
3	-19,657	27,600	42,924	50,867
4	-19,657	27,600	45,689	53,632
5	-19,657	27,600	48,633	56,576
6	-19,657	27,601	51,766	59,709
7	-19,657	27,602	55,100	63,044
8	-19,657	27,603	58,650	66,593
9	-19,657	27,604	62,428	70,372
10	-19,657	27,605	66,450	74,393
11	-19,657	27,606	70,731	78,674
12	-19,657	27,607	75,287	83,231
13	-19,657	27,608	80,138	88,081
14	-19,657	27,609	85,300	93,243
15	-19,657	27,610	90,795	98,738
16	-19,657	27,611	96,644	104,587
17	-19,657	27,612	102,870	110,813
18	-19,657	27,613	109,497	117,440
19	-19,657	27,614	116,551	124,494
20	-19,657	27,615	124,060	132,003

La Tabla 7.5 muestra un cambio rotundo en los flujos de efectivo con respecto a los correspondientes al método practicado para realizar éste documento. Lo cual hace que el método alternativo haga de éste trabajo una interesante visión para los biocombustibles.

Tomando en cuenta las Tablas 5.11 y 5.16 del capítulo V, para calcular los indicadores financieros de rentabilidad se obtienen los resultados que se desglosan en la Tabla 7.6

Tabla 7.6 Resumen de la factibilidad económica del proyecto alternativo

Indicador	Observaciones
VPN = 41,078	El valor del VPN positivo, indica que el proyecto puede ser una buena inversión
TIR = 15.2 %	El valor de la TIR al ser mayor al 12 % correspondiente a la tasa de descuento anual solo corrobora la viabilidad del proyecto

Los resultados muestran que la siembra hidropónica con agua es la forma más viable para el cultivo de la colza, así como la utilización de los equipos ya existentes en el laboratorio de Ingeniería química para la producción de biodiésel, habiendo que adquirir sólo dos Tótems como los que se muestran en la Figura 7.1, para el almacenamiento del biodiesel y del aceite.

Esta propuesta no conlleva a un nuevo plan de trabajo, ya que los ciclos de siembra serán los mismos. La cuestión técnica es muy similar a la presentada en el capítulo V, pues el plan de siembra en las azoteas sigue siendo el mismo, los únicos cambios que se deben realizar son en el tipo de siembra pues al utilizar agua como sustrato no se utilizara el riego por goteo sino solo el sistema raíz flotante como el que se muestra en la Fig. 7.2 (ver capítulo III apartado 3.3).



Fig. 7.2 Ejemplo de un sistema de raíz flotante

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES

Mediante el análisis técnico se obtiene que el área disponible en los 5 edificios propuestos es de 0.34 ha, con lo que la producción mensual de biodiésel será de 378 L mensuales que abastecen a 2 pumabuses en un 5 % de su demanda de combustible sustituyendo 340 L de diésel. Entonces la producción de biodiésel será de 1111 L por hectárea de siembra.

El método hidropónico proporcionará un mayor control sobre el cultivo de la colza, la cual siendo sembrada por dicho método obtendrá un mejor cuidado durante su desarrollo. Por lo anterior y dado que la cosecha y desgrane de las vainas será manual el rendimiento con respecto a la siembra común aumenta en 50 %. Así, se estima que por el método hidropónico se pueden producir hasta 1416 L de aceite/ha en comparación con los 934 L/ha que se obtienen al sembrar la colza en tierra.

Se puede utilizar la mezcla en los motores diésel de los pumabuses sin la necesidad de realizar algún cambio, pero si en algún momento se llega a aumentar la proporción de biodiésel en la mezcla, a proporciones arriba de las de la B15, se recomienda cambiar las partes que sean hechas de goma o caucho por piezas de elastómeros especiales como el vitón, en caso de llevar a cabo una sustitución completa, también se recomienda agregar un intercambiador de calor para calentar el biodiésel y disminuir su viscosidad. Estas recomendaciones también dependerán de la calidad del biodiésel que se obtenga después del proceso de transesterificación. En México aún no se cuenta con normas de calidad para el uso del biodiésel por lo cual la caracterización del biocombustible puede basarse en la norma europea EN-14214.

Del análisis económico se concluye que los costos de producción de la materia prima (semillas) son bastante elevados (llegando casi a los 7 millones de pesos) solo para la construcción de las áreas de siembra, aunado a que anualmente se tendrían que invertir más 5 millones de pesos en la compra de sustratos y otros materiales requeridos para seguir con dicho proceso si se utilizan sustratos sólido. Los indicadores financieros obtenidos de -7 millones y un número indefinido, para el VPN y la TIR respectivamente, hacen del proyecto una inversión no redituable cuando se utiliza el método de siembra practicado. Por otro lado en el caso de utilizar solo solución nutritiva los costos disminuyen resultando en 275,707 pesos la inversión inicial. Así, si se toma el método alternativo de siembra los indicadores cambian obteniendo un VPN de 41,078 y una TIR de 15.2 %, dichos valores hacen factible la inversión económica sobre el proyecto alternativo, el cual no altera los objetivos iniciales de la implementación del proyecto.

En el caso del análisis ambiental se obtuvieron resultados positivos, pues el ACV para la siembra de colza (en tierra agrícola) cumple con la captura de 18,141 kg de CO₂/ha, no por su utilización como cultivo energético sino por su contribución en la absorción de CO₂, de la atmósfera, durante su ciclo de crecimiento. Además de tener la ventaja de ser renovable y biodegradable.

El uso del biodiésel será una buena opción de inversión cuando se creen esquemas de incentivos por parte del gobierno, solo así su producción será más barata que la del diésel. A nivel industrial un proyecto como éste puede a bien figurar entre los proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) donde se consiguen bonos de carbono y con ellos se entra al mercado de carbono. Obteniendo así ganancias tanto ambientales, por evitar las emisiones de gases con efecto invernadero, como económicas por la venta de los bonos que se ofrecen por el MDL al no emitir contaminantes.

REFERENCIAS

- Abad, M. y Noguera, P. 2000. Sustratos en cultivos sin suelo en: Manual de cultivos sin suelo. M. Urrestarazu, Editorial Manuales Universidad de Almería, servicio de publicaciones España., Madrid, España.
- Abderrahim, D., Martínez, M. y Aracil, J. 2005. Pilot plant studies of biodiesel production using *Brassica carinata* as raw material. *Catalysis Today*. 106:193–196. Madrid, España.
- Acharya, N., Dueck, J. y Downey, K. 1983. Selection and heritability studies on canola/rapeseed for low temperature germination. *Can. J. Plant Sci.* 63:377-384.
- Aguilar, E. 2007. Diseño de procesos en ingeniería química. Publicación del Instituto Mexicano del Petróleo en colaboración con el Instituto Politécnico Nacional (IMP/IPN). México D.F. México.
- Anon, 1998. The greenhouse effect: another kind of energy crisis, *Biologue*. 5:10-11.
- Anónimo, 1987. Manual de procedimientos de muestreo y análisis de granos. Gerencia de conservación de mercancías. Publicación de Almacenes Nacionales de Depósito (ANDSA). D.F, México.
- Aregheore, E. y Bekker, K. 2003. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha Curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation whit rats. *S. Pac. J. National Sci.* 21:50-56.
- ASA, 2005a. Conferencia de la Soya en México. (Folleto técnico s/n). Publicado por la Asociación Americana de Soya. D.F, México.
- ASA, 2005b. Tópicos sobre el procesamiento de la soya. Fascículos 1, 2, 3, 4. Publicados por la Asociación Americana de Soya. D.F, México.
- Auld, D. y Peterson, C., 1989. Biodiesel as a Means of Reducing U.S. Dependence on Imported Oil. Brochure, College of Agriculture. Moscú, Rusia.
- Azar, C. 2003. Emerging scarcities: bioenergy–food competition in a carbon constrained world. En: Simpson D, Toman M, Ayres R, editores. Scarcity and growth in the new millennium. Resources for the future. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. EEUUA.
- Ballesteros, M. 2003. Fuentes, cultivos y PAC. Producciones aspectos legislativos. Publicación del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). España. Pp. 31

- Barsic, N. y Humke, A. 1981. Vegetable oils: diesel fuel supplements? *Automotive Eng.* 89(4):37–41.
- Benavides, A., Benjumea, P. y Pashova, V. 2007. El biodiésel de aceite de higuerilla como combustible alternative para motores diésel. *Dyna* 74(153):141-150.
- Benedetti, B., Rathmann, R., Padula, D. y Steinhorst, P. 2007. Usage competition between oilseeds and biofuels: impact assessment on the Brazilian food production. En: 17th annual world food and agribusiness forum and symposium – IFAMA. Parma, Brasil.
- Benítez, G. y Ortiz, E. 2006. Diseño de un sistema de producción de cultivos hidropónicos como un proyecto de desarrollo integral para la comunidad de Amacuzac, Morelos. Tesis de Licenciatura en ingeniería industrial. Facultad de Ingeniería. UNAM. Ciudad Universitaria. México D.F., México.
- Berj, S. 2002. Pilot plant studies of biodiesel production using *Brassica Carinata* as raw material. *Energy Fuels* 106(4):193-196.
- Bernardino, R. y Zapata, V. 2007. La producción de jitomate bajo cubierta en sistema hidropónico, estudio de caso Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura en planificación para el desarrollo agropecuario. Facultad de Estudios Superiores Aragón. UNAM. D.F, México.
- Bhatt, V. y Kongshaug, R. 2000. Making the Edible Landscape: A Study of Urban Agriculture in Montreal. Ed. Mc Gill. Pp.16. Canada.
- Billaud, F., Dominguez, V., Broutin, P. y Busson, C. 1995. Production of hydrocarbons by pyrolysis of methyl esters from rapeseed oil. *JAOCs*. 72:1149-1154.
- Bondioli, P., Gasparoli, A., Bella, D., Tagliabue, S. y Toso, G. 2003. Biodiesel stability under commercial storage conditions over one year. *Eur. J. Lipid Soc. Technol.* 105(12):735–741.
- Bozzini, A., Calcagno, F. y Soare, T. 2007. “SINCRON”, a new *Brassica carinata* cultivar for biodiesel production. *HELIA*, 30(46):207-214. Publicación de *Eurogen-Proseme, ENNA*, Italia.
- Braun, E. y Stephenson, K.O. 1982. Alternative fuel blends and diesel engine tests. Proceedings of the international conference on plant and vegetable oils as fuels. Publicado por American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Pp. 294–299. EEUUA.
- Brown, R. 1980. Food or fuel: new competition for the world’s cropland. Publicación del Worldwatch Institute. *Worldwatch*. Pp. 35. EEUUA.
- Calais, P. y Clark, A. 2008. Waste Vegetable Oil As A Diesel Replacement Fuel, Environmental Science, Murdoch University, Perth, Australia. (Western Australian Renewable Fuels Association Inc, tony.clark_NO-SPAM@arach.net.au).

Cardone, M., Mazzoncini, M., Menini, S. y Senatore, A. 2003. *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. ***Biomass Bioenergy***. 25(6):623-636.

Castellanos, Z. y Vargas, T. 2003. El uso de sustratos en la Horticultura bajo invernadero en: Manual de producción hortícola en invernadero. Patrocinado por INTECA (Innovaciones Tecnológicas en Agricultura). Guanajuato, México.

Castillo, N. 2008. El cultivo de canola en México. Alternativas para el desarrollo. Publicación del Comité Nacional Sistema-Producto, Oleaginosas. México. <http://www.oleaginosas.org>.

Castro, P., Castillo, L., Nazario, M., Coello, J. y Calle, J. 2006. Producción de biodiésel a pequeña escala a partir de aceites usados en la ciudad de Lima. Intermediate Technology Development Group (ITDG) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Pp. 5. Lima, Perú.

Charles, P. y Todd, H. 1998. Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels. ***Biomass and Bioenergy***. 14 (2):91-101.

Chay, P. y Thurling, N. 1989a. Identification of genes controlling pod length in spring rapeseed, *Brassica napus* L., and their utilization for yield improvement. ***Plant Breeding***. 103:54-62.

Chay, P. y Thurling, N. 1989b. Variation in pod length in spring rape (*Brassica napus*) and its effect on seed yield and yield components. ***J. Agric. Sci. Camb.*** 113:139-147.

Chimombe, C. 1998. *Jatropha curcas*: a multi-purpose plant for Southern Africa. Publicación de Plant Oil Meeting. Rockefeller Foundation. Harare, Zimbabwe y New York.

Cripps, R. y Watkinson, R. 1978. Polycyclic aromatic hydrocarbons: metabolism and environmental aspects. En *Developments in Biodegradation of Hydrocarbons-1*. Ed. R. J. Watkinson. Applied Science Publishers. Pp. 113-134. Londres, Inglaterra.

CONAE, 2007. Dirección de ahorro de energía en el transporte. Publicación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. México.

Conuee, 2010. Visión al 2003. Publicación de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee). México, DF. www.conuee.gob.mx.

CORPODIB, 2002. Estado del arte de las tecnologías de producción de biodiésel. Publicación de la Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología (CORPODIB). Pp. 332-351. www.corpodib.com

Cubero, I. y Moreno, T. 1984. Las leguminosas de grano. Leguminosa de grano, una visión de conjunto. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Dale, B., 2007. Cellulosic ethanol and sustainability: there is no “food vs. fuel” conflict. En: *National meeting engineering chemistry*. Illinois, EEUUA.
- Díaz, A. 2006. Biodiésel como sustituto del gas natural o diésel en calentadores a fuego directo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México. Pp 39.
- Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*): A review. *Field Crops Research*. 67:35-49.
- Diepenbrock, W. y Geisler, G. 1979. Compositional changes in developing pods and seeds of oilseed rape (*Brassica napus L.*) as affected by pod position on the plant. *Can. J. Plant Sci.* 59:819–830.
- Douglas J. 1997. Hidroponía: Como cultivar sin tierra. 7ª edición. Ed. Ateneo. Buenos Aires, Argentina. Pág. 127.
- Downey, R. 1983. The original description of the *Brassica* oilseed crops, in high and low Erucic Acid Rapeseed oils, Kramer, J. K. G.; Sauer, F. D. y Pigden, W. J. Ed. Toronto: Academic Press. Pp. 61-83.
- Edgar, F., Himmelblau, M., y Lasdon, S., 2001. Optimization of chemical processes. 2a edición. Ed. Mc Graw Hill. Pp. 94, 604-629.
- Eggen, D. 2006. Corn farmers smile as ethanol prices rise, but experts on food supplies worry. Periódico *The New York Times*. Enero 16. Nueva York, EEUUA.
- EnAu. 2003. National Standard for Biodiesel –Discussion Paper; Environment Australia publication. Commonwealth of Australia.
- Engelman, W., Guenther, A. y Silvis, W. 1978. Vegetable oil as a diesel fuel. Diesel and Gas Engine Power Division of ASME paper number 78-DGP-19. New York: ASME.
- Engler, R., Johnson, A., Lepori, A. y Yarbough, M. 1983. Effects of processing and chemical characteristics of plant oils on performance of an indirect injection diesel engine. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 60(8):1592–1596.
- Evans, J. 1984. Pre-anthesis growth and its influence on seed yield in winter oilseed rape. *Aspects Appl. Biol.* 6:81-90.
- FAO, 2001. UWET - Unified Wood Energy Terminology Uwet. Publicada por Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Montes. Pp. 24. Turrialba, Costa Rica.

FAO–Food y Agriculture Organization, 2008. Second FAO technical consultation on bioenergy and food security. Publicado por FAO y Agriculture Organization. Summary proceedings, Roma, Italia.

Falasca, S. y Ulberich, A. 2008. Las especies del género *Jatropha* para producir biodiesel en Argentina. *Revista Virtual de REDESMA*. Buenos Aires, Argentina.

Fangrui, M. y Milford, A. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*. 70:1-15.

Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S. y Howthorne, P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*. 319(5867):1235-1238.

Félix, M. 2008. Potencial de producción de semilla de *Jatropha curcas* en Sinaloa. Publicación del Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa A.C. (CVTTS) y Fundación Produce Sinaloa A.C. Sinaloa, México.

Fereidoon, S. 1990. Canola and Rapeseed: production, chemistry, nutrition and processing technology. Editado por Van Nostrand Reinhold. New York, Estados Unidos. Pág. 1-13.

Freedman, B., Pryde, E. y Mounts, T. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable-oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 61:638–1643.

Fuduka, H., Kondo, A. y Noda, H., 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J. Biosci. Bioeng.* 92(5):405–416.

Galinato, G., Peppersack, J. y Taylor, R. 1987. Assessment of Agricultural Crop Residue for Energy Recovery in Idaho. Idaho Department of Water Resources, Boise, Idaho. EEUUA.

García, M. 2009. Estudio de un proyecto de inversión: Invernadero hidropónico. Trabajo escrito de modalidades. Maestría en finanzas. Programa de posgrado en Ciencias de la Administración. Facultad de contaduría y administración. Ciudad Universitaria. México D.F., México.

Garduño, S. 2008. Hacia una mayor producción de soya, canola y cártamo y una menor independencia alimentaria del extranjero. Publicación de la Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles A.C. (ANIAME). Año XXI, Vol. 12. No. 60. México D.F. México.

Geisler, G. y Henning, K., 1981. Untersuchungen zur Ertragsstruktur von Raps (*Brassica napus* L. var. *napus*). II. Die generative Entwicklung der Raps pflanze in Abhängigkeit von der Bestandesdichte. Bayer. *Landw. Jahrb.* 58:322-332.

German, T., Kaufman, K., Pratt, G. y Derry, J. 1985. Field evaluation of sunflower oil/ diesel fuel blend in diesel engines. Publicación de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE). EEUUA.

Gerpen, B. Shanks, R., Clements, D. y Knothe, G. 2004. Biodiesel Production Technology. Publicación del National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/SR-510-36244 Cole Boulevard Golden. EEUUA.

Gibbons, H. 1995. Our Changing Planet. Subcommittee on Global Change Research, Committee on Environmental and Natural Resources Research of the National Science and Technology Council, Coordination Office of the U.S. Global Change and Research Program, 300 D. Street, S.W. Washington, EEUUA.

Gil, I. 2003. Manual práctico de producción de jitomate hidropónico bajo invernadero. Ed. AGRIBOT. Pp. 38-40. Estado de México, México.

Goering, E., Campion, N., Schwab, W. y Pryde, H. 1982. Fuel properties of eleven vegetable oils. En: Vegetable oil fuels, proceedings of the international conference on plant and vegetable oils as fuels. Publicación de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Fargo, North Dakota. Pp. 279-286. EEUUA.

Goldemberg, J. 1978. Energy balance for ethyl alcohol production from crops. *Science*: 201(4359):903-906.

Goldemberg J., Coelho, S.T. y Guardabassi, P., 2008. The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*. 36:2086–97.

González, H. 2008. Efecto del biodiesel de origen animal en las emisiones y prestaciones del motor diesel. Tesis de Licenciatura en ingeniería mecánica. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F., México. Pp. 12,13.

González, A. 2010. Encuentro de Hidroponía de la Ciudad de México. Taller de Hidroponía Atlamehualco. Facultad de Ciencias. UNAM. Ciudad Universitaria. México, D.F.; México.

Grosse, F., LeÂon, J. y Diepenbrock, W. 1992. Ertragsbildung und Ertragsstruktur bei Winterraps (*Brassica napus* L.). II. Vergleich zwischen Elternlinien und deren F1- und F2-Generationen. *J. Agron. Crop Sci.* 169:94-103.

GTZ, 1995a. Plant oil: a contribution to energy issues and sustainable development. Germany: Eschborn 65760.

GTZ, 1995b. The plant oil initiative. New York: Rockefeller Foundation. EEUUA.

Gubitz, M. 1997. Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas*. Proceedings from a Symposium held in Managua, Nicaragua. Technical University of Graz. Graz, Austria.

Gust, D. 1995. Why Study Photosynthesis? ASU Photosynthesis Center, World Wide Web information page. EEUUA.

Haas, J., McAloon, J., Yee, C. y Foglia, A. 2006. A process model to estimate biodiesel production costs. *Bioresource Technology*. 97:671–678.

Hazell, P. y Pachauri, K. 2006. Bioenergy and agriculture: promises and challenges: 2020 vision for food, agriculture and the environment. International Food Policy Research Institute. Washington, EEUUA.

Heller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha Curcas*. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben. 2. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, I.S.B.N. 92-9043-278-0. Roma, Italia.

Henning, R. 1996. The jatropha project in Mali. Weissensberg, Germany: Rothkreuz 11, D-88138.

Hernández, A. y Sánchez, A. 2006. El manejo del grano de soya (*Glycine Max*) en una planta de procesamiento industrial. Tesis de Licenciatura en ingeniería agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México D.F., México.

Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S. y Tiffany, D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. En *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103(30):11206–11210. EEUUA.

Hofman, Kaufman, V.D., Helgeson, D. y Dinusson, W.E. 1981. Sunflower for power NDSU Cooperative Extension service circular AE-735. North Dakota, EEUUA.

Hougen, F. y Stefansson, R. 1983. Rapeseed, in *Advances of Cereal Science and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists. 5:261-289. EEUUA.

Ibarra, M. 2008. Producción de biodiesel a partir de aceites gastados. Tesis de Licenciatura en ingeniería química. Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México.

IDAE, 2005. Planta prototipo de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales de Alcalá de Henares. Publicación del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE). España.

Johanes, B. y Shizuko, H., 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha Curcas L.* seed oil with a high content of free fatty acids: *Bioresource Technology*. 99:1716–1721.

- Johansson, D. y Azar, C. 2007. A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the US. *Climatic Change*. 82(3):267-291. EEUUA.
- Jones, N. y Miller, J. 1992. *Jatropha curcas*: a multipurpose species for problematic sites. Publicación del World Bank. Washington DC. EEUUA.
- Keiller, R. y Morgan, G. 1988. Distribution of 14 carbon labeled assimilates in flowering plants of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci.* 111:347-355.
- Kerckow, B. 2007. Competition between agricultural and renewable energy production. *Quarterly Journal of International Agriculture*. 46(4):333-347. EEUUA.
- Kinast, A. 2003. Production of Biodiesel from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends. National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/SR-510-31460, 1617 Cole Boulevard Golden. EEUUA.
- King, R., Kondra, P. y Thiagarajah, R. 1986. Selection for fast germination in rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). *Euphytica*. 35:835-842.
- Kondra, P., Campbell, C. y King, R. 1983. Temperature effects on germination of rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). *Can. J. Plant Sci.* 63:1063-1065.
- Klopfenstein, E. y Walker, S. 1983. Efficiencies of various ester of fatty acids as diesel fuels, *Journal of AOCS*. 60:1597-1598.
- Labeckas, G. y Slavinskas, Stasys. 2006. Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. *Renewable Energy*. 31:849-863.
- Larosa, R. 2003. Proceso para la producción de biodiésel (metiléster o ésteres metílicos de ácidos grasos). Descripción, materias primas y servicios necesarios. Publicación del Panorama energético. Pp. 4. Buenos Aires, Argentina.
- Larsen, U., Povlsen, V., Eriksen, N. y Pedersen, C. 1998. The influence of seed vigour on field performance and the evaluation of the applicability of the controlled deterioration vigour test in oil seed rape (*Brassica napus*) and pea (*Pisum sativum*). *Seed Sci. Technol.* 26:627-641.
- Leemans, R., Amstel, A., Battjes, C. y Kreileman, E. 1996. The land cover and carbon cycle consequences of large-scale utilizations of biomass as an energy source. *Global Environmental Change*. 6(4):335-337. EEUUA.
- Leterme, P. 1988. Croissance et développement du colza d'hiver: Les principales étapes. En: CETIOM (Ed.), Colza-Physiologie et élaboration du rendement du colza d'hiver. Suppl. Inf. Techn. CETIOM. 103:23-33.

- Lieth, H. 1975. Primary productivity of the major vegetation units of the world. En: Lieth H, Whittaker RK, editors. Primary productivity of the biosphere. *Springer*. Berlin, Alemania.
- Liljedahl, B., Carleton, M., Turnquist, K. y Smith, W. 1979. Tractors and Their Power Units. Wiley. Pp. 49-79. New York. EEUUA.
- Makkar, H., Becker, K. Spores, F. y Wink, M. 1997. Studies on nutritive potencial and toxics constituents of different provenances of *Jatropha Curcas*. *Journal. Agric. Food Chem.* 45:3152-3157.
- Manzanares, P. 2007. Biocarburantes. Marco europeo, aspectos legislativos. División de Energías Renovables CIEMAT. Apuntes docentes Master Europeo en Energías Renovables. Circe, España.
- Martínez, E., Torrano, E. y Aracil, J. 1988. Synthesis of esters of high molecular weight. *Ind. Eng. Chem. Res.* 27(11):1959-2194.
- Martínez, A. 1992. Producción de semillas de jitomate bajo hidroponía en condiciones de invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Pp. 6-9. Chapingo, Estado de México, México.
- Mathews, A. 2007. Biofuels: what a biopact between North and South could achieve. *Energy Policy.* 35:3550–3570.
- Mauwa, B. 1995. Economic feasibility study: plant oil fuel project. Publicación del World Bank. Zimbabwe: Norton. Washington DC., EEUUA.
- McDonnell, P., Ward, M., McNully, B. y Howard-Hildige, R. 2000. Result of Engine and vehicle testing of semi refined rapeseed oil. *Trans ASAE.* 43(6):1309–1316.
- Meakin, J. y Roberts, A. 1990. Dehiscence of fruit in oilseed rape (*Brassica napus L.*). I. Anatomy of pod dehiscence. *J. Exp. Bot.* 229:995–1002.
- Meekhof, R., Tyner, W. y Holland, S. 1984. Agricultural policy and gasohol: a policy simulation. *American Journal of Agricultural Economics.* 62(3):408-415.
- Meher, D. Vidya Sagar y Naik, S.N. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 10:250–252.
- Meier, L. 1955. Biological Cycles in the Transformation of Solar Energy into Useful Fuels. En: *Solar Energy Research* (Daniels, F.; Duffie, J.A.; eds), Madison University Wisconsin Press. Pp. 179- 183. EEUUA.
- Mendham, J. y Scott, K. 1975. The limiting effect of plant size at inflorescence initiation on subsequent growth and yield of oil-seed rape (*Brassica napus L.*). *J. Agric. Sci.* 84:487-502.

- Mendham, J., Shipway, A. y Scott, K. 1981. The effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus L.*). **J. Agric. Sci.** 96:389-416.
- Minero, A. 2005. Producción hidropónica. **Productores de hortalizas.** 4:24-31. México
- Miranda, V. 2003. Sistemas de producción hidropónicos. V Curso Internacional de Sistemas de Riego. Vol. 5. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México, México.
- Mittelbach, M. y Gangl, S. 2001. Long term storage stability of biodiesel made from rapeseed and used frying oil. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 78(6):573-7.
- Morgan, G. 1982. The regulation of yield components in oilseed rape (*Brassica napus L.*). **J. Sci. Food Agric.** 33:1266-1268.
- Nelson, A. 2004. Perspectiva del mercado de Canola Parte II. Red Agroeconómica de Administración de Recursos. AgroRadar. Pampa, Argentina.
- NPO y EDG, 1993. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. Newsletter Plant Oil y Engine Development Group. 1(1): 16-38. Harare, Zimbabwe.
- Nye, J., Williamson, W., Deshpande, S., Schrader, H., Snively, H., Yurkewich, P. y French, C. 1983. Conversion of used frying oil to diesel fuel by transesterification: preliminary tests, **Journal of AOCS.** 60:1598-1601.
- Obert, E. 1973. Internal Combustion Engines and Air Pollution. Ed. Intext. Pp. 87-143. Nueva York, EEUUA.
- Onofre Z., C. D., 2006. Determinación de factores tóxicos en la almendra de piñoncillo (*Jatropha Curcas*) consumida en el municipio de Zacualtipan, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en química de alimentos. Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México. Pp 1.
- Openshaw, K. 1997: Biomass Energy Strategy Study. **Silver Spring.** Publicación de Maryland: Anatolia Environment Assessment. (MD: AED). EEUUA.
- Openshaw, K. 2000. A review of *Jatropha Curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy.** 19:1-15.
- Ortegón, A., Díaz, A. y Rodríguez, A. 1999. Rendimiento de híbridos de canola (*Brassica Napus L.*) en diferentes métodos de siembra. Publicación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Tamaulipas, México.

Ostoa, M. 1997. Determinación de factores tóxicos y antinutricionales en algunas semillas crudas y procesadas consumidas en la etnia tenek del municipio de Aquismón, S.L.P. Tesis de Licenciatura en química de alimentos. Facultad de Química, UNAM. México, D.F., México.

Padilla, H. 2005. Depósito para cultivo de hidroponía. Tesis de Licenciatura en diseño industrial. Facultad de Arquitectura. UNAM. Ciudad Universitaria, México D.F., México.

Palomares, M. 2007. Hortaliza urbana-un acercamiento a la Hidroponía en espacios reducidos. Transferencia de la información básica. Tesis de Licenciatura en biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Estado de México, México.

PEMEX, 2010. Pemex diesel. Publicación de Petróleos Mexicanos. www.pemex.com.

Pérez, G. y Castro, B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de divulgación No. 3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. México. Pp. 58.

Pestes, M. y Stanislaw, J. 1984. Piston ring deposits when using vegetable oil as a fuel. *J. Test. Eval.* 12(2):61-8.

Peters, M. 1991. Plant design and economics for chemical engineer. 4a edición. Ed. Mc-Graw Hill. EEUUA.

Peterson, C. 1986. Vegetable Oil as a Diesel Fuel: Status and Research Priorities, *Transactions of the ASAE*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MO. Pp 1413-1422. EEUUA.

Peterson, C., Auld, L., Thomas, M., Withers, V., Smith, M. y Betties, L., 1981. Vegetable oil as an agricultural fuel for the Pacific Northwest. University of Idaho Experiment station bulletin No. 598. University of Idaho: Moscow, Rusia.

Peterson, C., Auld, L. y Korus, A., 1983. Winter rape oil fuel for diesel engines: recovery and utilization, *Journal of AOCS*. 60:1579-1587.

Peterson, C., Casada, E., Safley, M. y Broder, D. 1995. Potential production of agriculturally produced fuels. *Applied Engineering in Agriculture*. 11:767-772.

Peterson, C. y Reece, D. 1996. Emissions Test with an On-road Vehicle Fueled with Methyl and Ethyl Esters of Rapeseed Oil. ASAE Paper No. 946532, ASAE, St Joseph, MI.

Pimentel, D. y Patzek, T. 2007. Ethanol production: energy and economic issues related to U.S. and Brazilian sugarcane. *Natural Resources Research*. 16(3):235-242.

- Plascencia, M. 2010. Estudio de factibilidad para el uso de biodiésel en el transporte interno de Ciudad Universitaria a partir de aceites comestibles de desecho. Tesis de Licenciatura en ingeniería química. Facultad de Química. UNAM. Ciudad Universitaria, México D.F., México.
- Pryde, H. 1984. Vegetable oils as fuel alternatives – symposium overview. *JAOCS*. 61: 1609-1610.
- Quick, G. 1980. Development in use of vegetable oils as a fuel for diesel engine. Publicación de la American Society of Association Executives (ASAE). Paper number 801525. EEUUA.
- Rakow, G. 1978. Zur Formulierung von Zuchtzielen fuÈr KoÈrnerraps. *Fat. Sci. Technol.* 80:93-99.
- Rao, S., Mendham, J. y Buzza, C. 1991. Effect of the apetalous flower character on radiation distribution in the crop canopy, yield and its components in oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.* 117:189-196.
- Rathmann, R., Szklo, A. y Schaeffer, R. 2009. Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate. *Renewable Energy*. 35:14–22.
- Raven, E. 1992. Tr. Sergi Santamaría del Campo. Biología de las plantas. Editorial Reverté. 4ª edición. Tomo II. España.
- Reicosky, C. 1994. Crop residue management: soil, crop, climate interactions. In Crops Residue Management, ed. J. L. Hatfield and B. A. Stewart. Lewis, Boca Raton. Pp. 191-214.
- Resh, H. 1993. Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción. Trad. J. Santos Caffarena, José. Ed. Mundi-Prensa. 3ª edición. Madrid, España. Pp. 123-369.
- Robbelen, G., Downey, K. y Ashri, A. 1989. Oil Crops of the World. McGraw-Hill. Pp. 339-362. New York. EEUUA.
- Robles, F. 2009. Solución nutritiva. Invernadero. 7ª Entrega. Día Siete 453, Año ocho. Pp. 54-55.
- Rodríguez, R. 1996. El cultivo moderno del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 201.
- Romero, J. y Miralles, J. 2002. Perspectiva ambiental 24: Biocombustibles; Fundación Terra. Barcelona, España. Pp. 16-18.
- RUAF, 2002. Special Issue for the World Summit on Sustainable Development, in Urban Agriculture. *Magazine Johannesburg: Resource Center for Urban Agriculture*. Pp. 17. Sudáfrica.

- Ryan, T., Dodge, L. y Callahan, T. 1984. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 61:1610–1619.
- Sagar, A. 1995. Automobiles and Global Warming: Alternative Fuels and Other Options for Carbon Dioxide Emissions Reduction. *Environmental Impact Assessment Review*. 15:241-274.
- SAGARPA, 2003. Cultivo de la palma en el Estado de Chiapas. Publicado por SAGARPA. D.F., México.
- Sánchez, C. y Escalante R. 1988. Hidroponía. Publicación de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México, México. Pp. 194.
- Samperio, R. 2001. Hidroponía básica, el cultivo fácil y rentable de las plantas sin tierra. Ed. Diana. Pp. 172. México.
- Sainz, I. 1974. El cultivo de la soya en México. Ed. Gaceta Agrícola. D.F., México.
- Sapaun, M., Masjuki, H. y Azlan, A. 1996. The use of palm oil as diesel fuel substitute. *J. Power Energy A*. 210:47–53.
- Schmalzer, D. y Zuech, E. 1995. Argonne National Laboratory-Working with the Oil Industry to Improve Refineries. Publicación del Department of Energy Office of Fossil Fuels Oil Technology Program. EEUUA.
- SchroÈder, G. y Makowski, N. 1996. Betrachtungen zur Ertragsbildung bei Winterraps. Arch. Acker- Pfl. *Boden*. 40:175-181.
- Schulz, S. 1987. Ertragsphysiologische Untersuchungen zur Ontogenese der Rapsfrucht (*Brassica napus L.*). Ph.D. Thesis. Christian-Albrechts-University, Faculty of Agriculture, Kiel. Alemania.
- Schwab, W., Bagby, O. y Freedman, B. 1987. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. *Fuel*. 66:1372-1378.
- Scott, R., Ogunremi, A., Irvins, D. y Mendham, J. 1973a. The effect of sowing date and season on growth and yield of oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.* 81(48):277-285.
- Scott, R., Ogunremi, A., Irvins, D. y Mendham, J. 1973b. The effects of fertilizers and harvest date by growth and yield of oilseed rape sown in autumn and spring. *J. Agric. Sci.* 81:287-293.
- SEMARNAT, 2000. *Jatropha Curcas* en México. OFI-CATIE. Publicación de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

SENER, 2006. Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiesel para transporte en México. Publicación de la Secretaría de Energía. México D.F., México.

Searchinger, T. 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*. 319(5867):1157-1268.

Service, R. 2007. Biofuel researchers prepare to reap a new harvest. *Science*. 315(5818):1488-1491.

Serra, B. 2006. Gran enciclopedia de las Planta Medicinales. Ed. Tikal. Barcelona, España. ISBN 84 305 8496-X.

Shahid, E. y Jamal, Y. 2008. A review of Biodiesel as vehicular fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*: 12(9):2484 2494.

Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J. y Roessler, P. 1998. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae. National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/TP-580-24190. 1617 Cole Boulevard Golden. EEUUA.

Shepherd, T. y Davies, H. 1993. Carbon loss from the roots of forage rape (*Brassica napus L.*) seedlings following pulse-labeling with $^{14}\text{CO}_2$, *Annals of Botany*, 72. Pp.155-163.

Sierts, H., Geisler, G., LeÂon, J. y Diepenbrock, W. 1987. Stability of yield components from winter oil-seed rape (*Brassica napus L.*). *J. Agron. Crop Sci*. 158:107-113.

Silvenses, H. 2009. Decisiones de inversion en plantas químicas. Modelos y criterios. Publicación de la Facultad de Química. UNAM. México D.F., México.

Sims, R., Raine, R. y Leod, R. 1981. Rapeseed oil as a fuel for diesel engine SAEAustralia. Paper presented at the national conference on fuels from crop of the society of Automotive Engineers, Australia.

Singh, G., Seetharaman, P. y Chockshi, N. 1996. A study into the production and marketing of *Jatropha curcas*. Editado por Ahamedabad: Centre for Management in Agriculture. Indian Institute of Management. EEUUA.

Singh, P. 2010. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14:200–216.

Sittig, M. 1978. Petroleum Refining Industry Energy Saving and Environmental Control. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ. Nueva York, EEUUA.

- Sonntag, N. 1979. Reactions of fats and fatty acids. Bailey's industrial oil and fat products, vol. 1, 4a edición. Ed. Swern, D., John Wiley & Sons, New York. Pp. 99. Nueva York, EEUUA.
- Sprules, J. y Price, D. 1950. Production of fatty esters. Nopco chemical company, US Patent 2. Pp. 366–494. EEUUA.
- Sridharan, R. y Mathai, I. 1974. Transesterification reactions. *J. Sci. Ind. Res.* 33:178-187.
- Stoy, A. 1983. Untersuchungen zur Konkurrenz bei Winterraps (*Brassica napus* var. *napus* L.) vor und nach dem UÈ berwintern und deren Bedeutung fuÈ r das Ertragspotential des Bestandes. Ph.D. Thesis. Christian-Albrechts-University, Faculty of Agriculture, Kiel. Alemania.
- Strayer, C., Blake, A. y Craig, K. 1983. Canola and high erucic rapeseed oil as substitutes for diesel fuel: preliminary tests, *Journal of AOCS*. 60:1587-1592.
- Sumathi, S., Chai, P. y Mohamed, R. 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 12:2404–2421.
- Tayo, T. y Morgan, D. 1979. Factors influencing flower and pod development in oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci.* 92:363-373.
- Tessel, D. 2008. Biofuel generating system including an anaerobic system with an integrated hydroponic crop growing system. OSTROLENK FABER GERB & SOFFEN. Pp. 1. Nueva York, EEUUA.
- Thomas, P., 1984. Canola Growers Manual. Canola Council of Canada, Winnipeg. Pp. 101-102.
- Tickel, J. 2000. From the fryer to the fuel tank. The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel. 3a edición. Ed. Kaia Roman. Pp. 112. EEUUA.
- Tijerina, C. 1999. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra*. 17(3):237-245. Publicación del Instituto de Recursos Naturales. Texcoco, México.
- Triboi-Blondel, A. y Renard, M. 1999. Effects of temperature and wáter stress on fatty acid composition of rapeseed oil. En: Wratten, N., Salisbury, P.A. (Eds.), *New horizons for an old crop*. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia.
- Turpin, N., Dupraz, P., Thenail, C., Joannon, A., Baudry, J. y Herviou, S. 2009. Shaping the landscape: agricultural policies and local biodiversity schemes. *Land Use Policy*. 26:273–83.
- Tyson, K. y McCormick, L. 2006. Biodiesel handling and use guidelines. Second Edition, National Renewable Energy Laboratory (NREL), DoE Energy Efficiency and Renewable Energies, NREL/TP-540-38836, Cole Blvd. Golden. EEUUA.

- Nagaharu, U. 1935. Genome Analysis of *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. *Jap. J. Bot.* 7:389-452.
- UNEP, 1997. Global environment outlook –1. Report 1997. Publicación del United Nations Environment Programme. Oxford, EEUUA.
- Urrestarazu, G. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Tercera Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México. Impreso en España. Universidad de Almería y Consejería de Agricultura y Pesca. Pp. 914.
- USDOE, 1995. Publicación del The Department of Energy's Oil Technology Program, The World Wide Web information page. EEUUA.
- Van, J. 2005. Biodiesel Production and Fuel Quality. Publicación de University of Idaho. Pp. 9. EEUUA.
- Vicente, G. 2001. Study of biodiesel production. Tesis doctoral en ingeniería química. Facultad de Química, Universidad Complutense. Madrid, España.
- Villaseñor, R. y Espinosa, G. 1998. Catálogo de malezas de México. Publicación de la Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F., México.
- Vullioud, P. 1974. Etude de l'influence de la date de semis sur le developpement du colza d'automne. En: Proceedings of the International Rapeseed Conference, Vol. 4. Pp. 153-171. Francia.
- Walton, G. 1999. Environmental impact on canola yield and oil. En: Wratten, N., Salisbury, P.A. (Eds.), New horizons for an old crop. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia.
- Ward, T., Basford, D., Hawkins, H. y Holliday, M. 1985. Oilseed Rape. Farming Press, Suffolk, U.K. Pp. 274-280. Reino unido.
- Watanabe, M., Gomes, J. y Dewes, H. 2007. Sugarcane-induced changes in the land use in the Parana State, Brazil. En: VI international Prensa conference. Ribeirao Preto: USP. Brasil.
- Weisz, B., Haag, O. y Rodeweld, G., 1979. Catalytic production of high-grade fuel (gasoline) from biomass compounds by shapedeective catalysis. *Science* 206:57-58.
- Western, D., Ssemakula, J., Kuchar, P., Mwendwa, H., Ng'ang'a, S. y Amyunzu, C. 1981. A survey of natural wood supplies in Kenya and an assessment of the ecological impact of its usage. Publicación de Nairobi, Kenya.

Widmann, K. y Thuneke, E. 2002. Remmele Pflanzenölbetrieben Blockheizkraftwerke - Leitpfaden / BTU München- Weihenstephan / Bayrische Landesanstalt für Landtechnik. Dinamarca.

Wilmont, B. 2004. Composición del frijol soya. Folleto técnico s/n. Publicación de la Asociación Mexicana de la Soya. México D.F., México.

Witcombe, J. y Whittington, W. 1971. A study of the genotype by environment interaction shown by germinating of *Brassica napus*. *Heredity*. 26:397-411.

WMRC, 2008. Feasibility Report Small Scale Biodiesel Production. Publicación del Waste Management and Research Center. EEUUA.

Wood, P. 2005. Out of Africa: Could *Jatropha* vegetable oil be Europe's Biodiesel feedstock? *Refocus*. 6(4):40-44. Londres, Inglaterra.

Wright, L. 2006. Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. *Biomass and Bioenergy*. 30:706-714.

Yarbrough, M., LePori, A. y Engler, R. 1981. Compression ignition performance using sunflower seed oil. Publicación de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Paper number 81-3576. St. Joseph, MI: ASAE. EEUUA.

ZBN, 1996. Plant oil: Zimbabwe's sustain-able fuel for the future. Publicación del Zimbabwe Broadcasting Network Vol. 1. No. 2. Causeway, Zimbabwe: Biomass Users Network -Zimbabwe.

Zhang, Y., 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology*. 89:1-16.

A. Algunos códigos y normas utilizados en el proceso y uso del biodiésel

Norma o código	Descripción
Estándar API 650	Código donde se enuncian los requisitos para el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento a presión atmosférica, de acero y para contener líquidos
EPA 2004	Emisiones permitidas de contaminantes al ambiente en la unión Europea
NOM-018-FITO-1995	Norma por la que se establece la cuarentena exterior para prevenir la introducción de plagas del maíz
NOM-028-FITO-1995	Norma por la que se establecen los requisitos fitosanitarios y especificaciones para la importación de granos y semillas, excepto para siembra
EN-14214	Norma europea donde se especifican los parámetros de calidad del biodiésel

B. Proveedores para cultivos hidropónicos

Todo para hidroponia

Playa Lorena #115

Col. San Andrés Tetepilco (a 1 cuadra al oriente del Eje 1 Oriente y media cuadra al sur del Eje 6 sur)

044 55 27 25 89 64, 044 55 27 22 38 59

hidroponiaurbana@hotmail.com

Taller de Hidroponia

Azotea del comedor

Facultad de Ciencias, UNAM

Circuito Exterior, Ciudad Universitaria

agg177@hotmail.com

Sistemas de Irrigación Agrícola

Norte 76 3413

57-60-08-35, 55-51-45-72

Riego por goteo

Vivero San Francisco

Nuevo León 256

Caltongo, Xochimilco

56-76-96-97

Fertilizantes, sustratos, insecticidas, macetas

Agroinsumos El Galeón de Escarleth

Nuevo León 250

Caltongo, Xochimilco

56-41-85-33

Fertilizantes, sustratos, insecticidas, macetas

Flores Agro

Nuevo León 702

Caltongo, Xochimilco

54-89-77-48

Fertilizantes, sustratos, insecticidas, macetas

Agronova

Nuevo León 975

Caltongo, Xochimilco

21-57-55-46

Fertilizantes, sustratos, insecticidas, artículos para invernadero

Jardín Esperanza

Azálea 121. Xaltocan, Xochimilco

Fertilizantes, sustratos, insecticidas, macetas, mallas de sombra

Comercializadora Germinal

Nauyaca No 12-C Col Pedregal de Santo

Domingo C. P. 04369 Del. Coyoacán

56-17- 05-11

Semillas

Casa I. Treviño

Lucas Alamán 83

55-78-29-53

Semillas de hortalizas y flores

Casa Cobo

Central de Abastos A-91

Semillas de hortalizas y flores

Mallaplas

56-42-45-79

Mallas de sombra y antiinsectos

Ferretera Casablanca

Calzada del Tlalpan cerca del estadio Azteca

Tubería de PVC, conexiones, herramientas

para jardinería, mangueras, fierro comercial

Proveedor Científico

Cafetales 5

Rinconada Coapa

56-71-50-06

Equipo y materiales para laboratorio

Mallas Textiles

Roldán 77-E, colonia Centro

55 22 71 04, 55 22 54 73

Mallas de sombra y contra insectos, confecciones

El Laboratorio Escolar

Juan José Eguiara y Eguren

Col. Viaducto Piedad

55-30-90-41

Equipo y materiales para laboratorio

Droguería Cosmopolita

Av. Revolución 1080
55-93-92-08
Productos químicos

Acuario Luna

Mercado Nuevo San Lázaro, local 10
Río Frío 261, Col. Magdalena Mixhuca
26-12-02-27
Bombas de aire para acuario, bombas sumergibles para acuario

Refrigeración, básculas y otros

Central de Abastos Zona 5, Sección 1,
Pasillo 2, Local 131
56-94-19-86
Básculas

Steren

Tiendas en diversas partes de la ciudad
en el centro: Rep. de El Salvador 20
Temporizadores y artículos electrónicos

Novedades Plásticas

Rosario 240 esquina Juan Cuamátzin
55-52-15-53
Plásticos en general, macetas, goteros,
frascos de PET

Distribuidora de Loza y Cristalería

Juan Cuamátzin junto al estacionamiento
Plásticos en general, cajas de plástico,
macetas

Floramundo

Lirio Acuático 124
Xaltocán, Xochimilco
56-4- 61- 54, 56-41-62-21
Sustratos, macetas, plantas terminadas,
esquejes

Innovaciones para la agricultura protegida

53-86-81-23
Invernaderos

Akiko

Semillas, bulbos, esquejes, plántulas,
plantas, flores
Río Churubusco 59, Col. Portales
55 32 56 60, 56 74 82 02, 55 32 99 64

Suministro de Películas Plásticas

Carretera Huixquilucan, km 35
(55) 16 67 53 75
Plástico para invernaderos

C. Proveedores de equipo para la producción de biodiésel

Empresa	Producto	Información de contacto
<u>Delani Trading Corporation</u> <i>Cobertura: Latinoamérica</i>	Equipo biodiesel, Equipo pasteurizador, Equipo homogenizador, Equipo granulador	Somos proveedores de Equipo biodiesel en 2801 NW 74th Ave. Suite 112 Miami, Florida C.P. 33122 . Estados Unidos Datos y productos de Delani Trading Corporation
<u>Quimicam</u> <i>Cobertura: Nacional</i>	Biodiesel	Ofrecemos Biodiesel en Río Yaqui No. 6012 Col. Col. Jardín de San Manuel Puebla, Puebla C.P. 72570 . Alemania Datos y productos de Quimicam
<u>Purolite de México</u> <i>Cobertura: República Mexicana</i>	Biodiesel, Biodiesel de Purificación, Resinas para purificación de biodiesel, Reducción de 30 – 50% de Costo (regenerante y efluente) para equipos con Resinas de Intercambio Iónico	Somos un proveedor de Biodiesel en Circuito Centro Comercial No 8 Int. 4A Col. Cd. Satélite Naucalpan de Juárez, Estado de Mexico C.P. 53100 . México Datos y productos de Purolite de México
<u>AIR LIQUIDE</u> <i>Cobertura: Latino America</i>	Biodiesel, Instalación de equipos	Somos fornecedores de Biodiesel en Av. das Nações Unidas, 11.541 19º andar – CEP 04578-000 Col. Brooklin Novo São Paulo, São Paulo . Brasil Datos y productos de AIR LIQUIDE
<u>BIOCOMINGENIERIA</u> <i>Cobertura: MUNDIAL</i>	biodiesel, Construcción De Plantas Biodiesel,	Ofrecemos biodiesel en ARGENTINA . Argentina Datos y productos de BIOCOMINGENIERIA
<u>Biodiesel del Plata</u> <i>Cobertura: Latinoamérica</i>	biodiesel, PLANTA REFINADORA DE BIODIESEL	Somos un proveedor de biodiesel en Paraná 552 9º 94 Col. Centro Buenos Aires, Buenos Aires C.P. 1017 . Argentina Datos y productos de Biodiesel del Plata
<u>STAR OIL</u> <i>Cobertura: Colombia</i>	BIODIESEL, BIODIESEL	Somos suplidores de BIODIESEL en cra 32D No.17-15 Col. San Alonso Bucaramanga, Santander . Colombia Datos y productos de STAR OIL
<u>Total Energy Services</u> <i>Cobertura: Latinoamerica</i>	biodiesel	Ofrecemos biodiesel en . México Datos y productos de Total Energy Services
<u>Aboissa Representações</u> <i>Cobertura: Brasil</i>	biodiesel, BIODIESEL	Somos un proveedor de biodiesel en Largo do Arouche, nº 396 Col. Santa Cecília São Paulo, Republica . Brasil Datos y productos de Aboissa Representações
<u>Coop. Agrofuturo</u> <i>Cobertura: America Del Sur</i>	Biodiesel	Somos proveedores de Biodiesel en Feliciano 865 Col. Centro Paraná, Entre Ríos C.P. 3100 . Argentina Datos y productos de Coop. Agrofuturo
<u>Ineos</u> <i>Cobertura: Latinoamerica</i>	Biodiesel, Biodiesel business	Ofrecemos Biodiesel en Priv. de las Vegas 6 Col. Palmira Cuernavaca, Morelos C.P. 62490 . México Datos y productos de Ineos