

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



**OBTENCIÓN DE ETANOL GRADO INDUSTRIAL A PARTIR DEL
MUCÍLAGO DE CAFÉ (*Coffea arábica sp.*)**

Por:

SAMUEL VAZQUEZ LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO.

OBTENCIÓN DE ETANOL GRADO INDUSTRIAL A PARTIR DEL
MUCILAGO DE CAFÉ (*Coffea arabica sp.*)

POR:

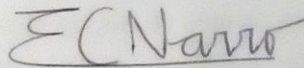
SAMUEL VAZQUEZ LOPEZ

TESIS

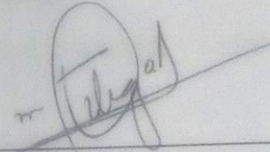
Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

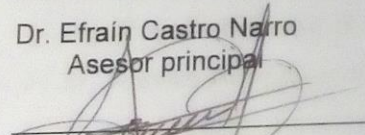
Aprobado por:



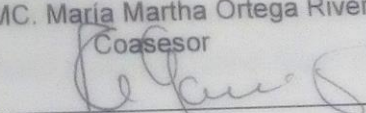
Dr. Efraín Castro Narro
Asesor principal




MC. María Martha Ortega Rivera.
Coasesor


Ing. Antonio Díaz Velázquez
Coasesor

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"


Dr. Arturo Gallegos del Tejo
Coasesor suplente


Dr. Luis Samaniego Moreno

Coordinador de la División de Ingeniería
Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila México. Marzo 2016.

Agradecimientos.

A Dios

Por hacer realidad mí sueño que tanto anhele y de estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida sobre todo porque me brindaste esa luz que permitió dirigir mi camino para no tropezar en la oscuridad. Gracias dios por ayudarme a terminar la carrera y dejar de ser alumno para pasar a ser ing. Samuel Vázquez López, es un trabajo personal muy satisfactorio pero no hubiera sido posible sin tu ayuda mi dios

A mi **“alma mater”**. Por cobijarme entre sus aulas y brindarme el apoyo para mi formación profesional.

Al **Dr. Efraín Castro Narro**. Por su voto de confianza en la realización de este trabajo, gracias.

A la **M.C. Alejandra R Escobar Sánchez**. Por sus consejos, apoyo y por su confianza gracias.

Al **M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala**. Por su tiempo dedicado a mi formación profesional.

A la **M.C. María Martha Ortega Rivera**. Por ser la persona que me brindo los primeros cursos académicos en mi formación profesional.

Al **Ing. Antonio Díaz Velázquez**. Por su atención brindada y confianza en la elaboración de este proyecto.

Al **Dr. Arturo Gallego del Tejo**. Por su amistad y confianza.

Al **Ing. Ramón Méndez Moreno**. Por la oportunidad de poder trabajar en equipo.

Al **Sr. Nieves Almaguer Medellín**. Por su amistad y apoyo incondicional durante el tiempo de estancia en la uaaan.

Al **Sr. Víctor Manuel Solís Martínez**. Por su gran amistad y respeto.

A **Mis compañeros y amigos de generación CXX**. Francisco Javier, José Andrés, Silvano, Juan de Jesús, Ángel David, Gregorio, Luis Gerardo, Limber, Jorge Valdivia, Salvador, Erick Serrano, Erick Valdivia, Andrea, Diana, Reyna, Liliana, Dulce Marisol, Florina, Ivonne, Dulce María.

Dedicatoria.

En ocasiones la vida suele ser muy impredecible, nunca se sabe lo que viene, simplemente puedes pensar en el mañana y no saber qué pasará, sin embargo pensar en el pasado es mirar hacia atrás y lo que haya pasado entonces es irremediable, gracias dios por el regalo del derecho a la vida.

Para mi madre Rafaela Rosalba López Pérez, para mi padre Lindoro Vázquez Domínguez, las personas que más admiro en esta vida y son mi ejemplo a seguir a mis hermanos, Anita mi hermana del alma, Ing. Nehemías, Ing. Bersain, Osiel, Benjamín (q.e.p.d.) el angelito de la familia que desde allá en el cielo, donde estas estoy completamente seguro que tú también te sientes muy orgulloso de mi, para ellos que desde los recuerdos más lejanos hasta hoy han sido mi motor, mi razón de ser e inspiración, gracias a ustedes estoy de pie ahora y lo seguiré estando siempre, para ustedes “FAMILIA VAZQUEZ LOPEZ” los amo y me siento orgulloso de pertenecer a esta hermosa familia.

Si me llegaran preguntar ¿Qué quieres cambiar en tu vida?, la respuesta es muy simple, “NADA” en realidad tantas cosas me han pasado, que todo absolutamente todo me han convertido en lo que soy, bueno o malo siempre escogería el mismo camino, las mismas cosas y la misma vida, porque durante este tiempo los malos momentos siempre han estado por debajo de los buenos recuerdos.

Siempre escogería a los mismos amigos, porque en los momentos de crisis solo basta con hacer memoria y acordarme de ustedes para que en mi rostro se pinte una sonrisa.

Creo que la felicidad, la esperanza y los sueños son sentimientos y emociones que siempre están ahí para impulsarnos a seguir buscando ese algo que nos complementa.

INDICE

INDICE	i
RESUMEN.	v
I INTRODUCCIÓN.	1
II OBJETIVOS	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos específicos.	3
III HIPÓTESIS	3
IV REVISIÓN DE LITERATURA.	4
4.1 Características generales de los biocombustibles.	4
4.2 Bioetanol de primera y segunda generación.....	4
4.3 Estadísticas de producción de los biocombustibles.	6
4.3.1 Producción mundial de biocombustibles en el año 2010	7
4.4 Costos de materia prima.....	9
4.5 Distintos tipos de biocombustibles líquidos.....	10
4.6 Seguridad alimentaria.	10
4.7 Políticas para impulsar el desarrollo de los biocombustibles.	11
4.8 Características del producto final.....	12
4.8.1 Desarrollo rural.	13
4.9 Emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático.	13
4.10 El petróleo a la seguridad energética.....	14
4.10.1 Rentabilidad de los biocombustibles.....	16
4.10.2 El cultivo de café en Chiapas.	16
4.10.3 Composición y estructura del fruto.	17

4.10.4 Usos del subproducto del café.....	18
4.10.5 Compuestos antioxidantes y flavonoides.....	20
4.10.6 El café de México y Chiapas.	21
4.10.7 Chiapas es el principal productor de café en México.....	22
4.11 Resultados obtenidos de producción de etanol en Colombia.	22
4.12 Características del municipio donde se desarrolló el proyecto de investigación.	22
4.12.1 Extensión.....	23
4.12.2 Orografía.	23
4.12.3 Hidrografía.....	23
4.12.4 Clima.	24
4.13 Principales ecosistemas existentes en el municipio donde se realizó el proyecto (Bella vista Chiapas).	24
4.13.1 Flora	24
4.13.2 Fauna	24
4.14 Características y uso de suelo.....	24
V MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1 Materia prima.....	25
5.2 Material de laboratorio.	26
5.3 Reactivos.	26
5.4 Agente fermentador utilizado.	27
5.5 Método de Obtención.....	27
5.6 Obtención del mucílago.	28
5.7 Esterilización de los materiales empleados (material de vidrio de uso en laboratorio).....	29
5.8 Obtención del fermento.....	29

5.9 Obtención del Biocombustible.....	30
5.10 Producto final.....	31
5.11 Diseño experimental.....	32
5.12 Evaluación de variables del proceso.....	33
VI RESULTADOS.....	36
6.1 Impacto social, ecológico y económico que se tiene con la producción de etanol.....	37
6.1.1 Social.....	37
6.1.2 Ecológico y económico.....	37
VII CONCLUSIONES.....	38
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 4. 1 Países por capacidad de producción de etanol (fuente: torres y carrera) ..	7
Figura 4. 2 Composición del fruto de café. (Fuente: 1998 ANACAFÉ)	18
Figura 4. 3 Municipio de bella vista Chiapas.....	22
Figura 4. 4 Mapa del estado de Chiapas donde se muestra la zona sierra, el cual se encuentra el municipio donde se realizó el proyecto.	23
Figura 5. 1 Frutos de café bourbon en estado de máxima madurez.....	25
Figura 5. 2 Etapas del proceso de obtención de etanol	27
Figura 5. 3 Despulpado y lavado manual de los granos de café.....	28
Figura 5. 4 Diagrama general de la obtención de la miel concentrada	29
Figura 5. 5 Medición de los grados brix de la mezcla agua más mucilago	29
Figura 5. 6 Obtención del fermento.....	30

Figura 5. 7 Proceso de destilación simple.....	31
Figura 5. 8 Prueba de inflamabilidad del producto obtenido	32
Figura 5. 9 Rendimiento de alcohol.....	33
Figura 5. 10 Rendimiento de alcohol obtenido (ml) con diferentes concentraciones de levadura.....	34
Figura 5. 11 Tiempo de reacción de distintas concentraciones de levadura.....	35
Figura 6. 1 Rendimientos de mucílago y etanol inflamable respecto al peso del fruto	36

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 4. 1 Balance del sector del bioetanol en millones de litros 2010-2015.....	7
Tabla 4. 2 Demanda potencial de etanol al año 2020 en México por terminal de almacenamiento y reparto (TAR) SENER.	8
Tabla 4. 3 Precios de materia prima para elaboración de etanol. (JOURNAL.UNAM).	9
Tabla 4. 4 Porcentaje que representa el precio de la materia prima, con respecto al costo de producción de etanol/litro. (JOURNAL.UNAM).....	9
Tabla 4. 5 Principales insumos bioenergéticos necesarios para su producción (Fuente: SAGARPA 2009).....	10
Tabla 4. 6 Posibles efectos de biocombustibles modernos. (Fuente: REDPA, 2008)	15
Tabla 4. 7 Composición del fruto del café en % de peso húmedo	21
Tabla 5. 1 Características del mucílago del café. (Fuente: Elías 1978)	25
Tabla 5. 2 Características de la pulpa de café. (Fuente. Elías 1978).....	26
Tabla 5. 3 Parámetros considerados	32

RESUMEN.

En el presente trabajo se pretende determinar el uso potencial de azúcares obtenidos del bagazo de café (*Coffea arábica sp.*) para la extracción de etanol grado industrial mediante la fermentación alcohólica empleando la levadura *saccharomyces cerevisiae* como catalizador de la reacción. El etanol así obtenido podría emplearse como oxigenador de las gasolinas en la industria energética cuya demanda asciende a los 90 millones de litros al año y de la cual México sólo cubre el 20% obtenido de la producción cañera que como materia prima es de un costo muy elevado, además se restringe a áreas con suficiente lluvia y la aplicación complementaria de agua, al menos durante el período seco también requiere suelos especiales para ello; o bien podría emplearse directamente como biocombustible en motores híbridos de vehículos ecológicos que utilizan mezclas de etanol y gasolina como combustible.

El cultivo del café representa la principal actividad económica en el municipio de bella vista Chiapas. El bagazo y el mucílago de café resultan como un subproducto durante el proceso del beneficio del grano después de la operación de despulpado. La pulpa es utilizada para la obtención de abonos orgánicos que se emplean para nutrir el mismo cultivo y el mucílago se libera junto con las aguas de lavado del grano contaminando ríos y arroyos dado su elevado contenido de óxidos fenólicos, es por ello que de resultar viable el uso de estos subproductos en la obtención de etanol grado industrial se le daría un valor agregado a la producción de café que resultaría en una mayor rentabilidad del cultivo y mejoraría la economía de la región cuya problema social más destacado es la pobreza debido a que la actividad agrícola es de subsistencia.

Palabras clave: Etanol, biocombustible, bioenergeticos, café, azucars del café.

I INTRODUCCIÓN.

La siguiente investigación se realizó en el plantel CECYTECH No 17, ubicado en el municipio de bella vista Chiapas. Un municipio característico en la zona sierra del estado de chipas estos terrenos son de pendientes muy pronunciadas y la topografía de los terrenos ha obligado a los productores a optar por el cultivo del café que requiere de menor laboreo de la tierra dado que en la zona la mayoría de los predios son de difícil acceso y con pendientes que van desde los 12° hasta los 45°, dificultando así la entrada de equipos mecánicos como el tractor y sus implementos. Es por esto que, el cultivo del café representa la principal actividad económica de la región de la que depende la subsistencia de la mayoría de las familias que se han establecido. Por lo anterior el cultivo predominante en el municipio es el cultivo de café de la especie *coffea arábica*; con diferentes variedades tales como: café árabe, típica, mundo novó, catuai y garnica.

México cuenta con una gran cantidad de variedades de café que presentan frutos de colores rojo brillante, rojo cereza, azulados y amarillos. De éstas destacan las variedades de café bourbon de color rojo brillante por ser las más adaptadas a diversas altitudes. Bella vista Chiapas, no es la excepción y también encontramos esta variedad ocupando la mayor superficie cultivada.

La inseguridad energética y el efecto contaminante de los combustibles fósiles han generado el interés por encontrar carburantes que sean capaces de cubrir la demanda energética actual con un efecto contaminante menor. Actualmente los biocombustibles figuran como los sustitutos de los combustibles fósiles, ya que se le está tomando mucho interés a nivel global. En América los principales países productores son Brasil y Estados Unidos, mientras que en el resto de los países apenas se está empezando a trabajar en ello.

México es un importante productor, consumidor y exportador de petróleo, sin embargo las predicciones de su futuro agotamiento ponen en peligro la seguridad energética del país y abren la oportunidad a los biocombustibles, por lo que se ha creado un marco regulatorio que apoya a las investigaciones pertinentes; esto con el fin de ampliar la matriz energética y contar con un respaldo en caso de una crisis energética.

La creciente importancia y el renovado interés por el eficiente manejo de los recursos energéticos, ha desembocado en un crecimiento acelerado de la producción y utilización de biocombustibles en muchas partes del mundo. La preocupación por el medio ambiente y la necesidad imperiosa de reducir las emisiones de carbono, para disminuir sus consecuencias sobre el clima global han redundado en numerosos acuerdos y compromisos entre los países, tendientes a fomentar el desarrollo de energías alternativas renovables de menor impacto ambiental.

Los biocombustibles líquidos como biodiesel y el bioetanol aparecen como una alternativa viable, además de tratarse de alternativas energéticas que son renovables y que contribuyen a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que al sustituir combustibles de origen fósil, son una clara opción para lograr diversificación y seguridad energética, para generar nuevos empleos y promover el desarrollo económico de zonas rurales dedicadas a la producción de café.

Los cultivos oleaginosos son importantes para la producción de biodiesel de primera generación y bioetanol de segunda generación a partir de los residuos, de cosecha, también se obtienen co-productos como la pasta que resulta de proceso de extracción del aceite y que puede utilizarse como alimento para ganado y como mejorador de suelos degradados y la glicerina que puede utilizarse para alimento de ganado y en la industria.

II OBJETIVOS

3.1 Objetivo general.

Obtener etanol mediante la fermentación de azúcares del mucílago de café para usarlo como biocombustible.

3.2 Objetivos específicos.

- Adecuar el método de obtención de alcoholes existente para vinos comerciales a la fermentación de azúcares del mucílago del café.
- Cuantificar la cantidad obtenida de etanol de un kilogramo de mucílago de café.
- Caracterizar las propiedades del alcohol producido.
- Evaluar la posibilidad del uso de aguas contaminadas con mucilago de café como base para la producción de etanol.

III HIPÓTESIS

Es posible obtener etanol por medio de la fermentación del mucílago del café usando levadura *saccharomyces cerevisiae*

IV REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1 Características generales de los biocombustibles.

Los biocombustibles surgen en el mercado mundial muy ligados a la resolución de problemas ambientales y de ahí que su promoción se fundamenta en varios argumentos sobre reducción de la contaminación, más tarde pasa a tener importancia razones de estrategia nacional en el suministro y de aseguramiento de productos energéticos (Hilbert, 2008).

En general, los conceptos sobre biocombustibles coinciden en que estos son producidos a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial, desechos orgánicos o cualquier forma de biomasa (Hernández, 2008).

Los biocombustibles se utilizan, mayoritariamente, en el sector del transporte como:

- Biodiesel: producido a partir de la reacción de los aceites vegetales (palma africana, soya, higuera, jatropha curcas, colza y otras plantas) o grasas animales con alcohol.
- Bioetanol: se produce a partir de la fermentación de material, proveniente de cultivos como son (Caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca y otros).
- Biogás: es un gas compuesto principalmente por metano, formado por la degradación de materia orgánica (Torres y Carrera, 2010; IICA, 2007b).

4.2 Bioetanol de primera y segunda generación.

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como los cereales, remolacha, caña de azúcar, o biomasa (García y García, 2006).

El etanol se fabrica siguiendo un proceso similar al de la cerveza, la materia prima es muy variada. Los carbohidratos utilizados se transforman en etanol por medio de fermentación alcohólica (Salinas y Gasca, 2009).

Los biocarburantes líquidos reciben cada vez mayor atención a nivel mundial como consecuencia de la preocupación sobre la seguridad del suministro de petróleo y del cambio climático global. En la mayor parte de los países en desarrollo, la emergente

industria de biocarburantes es percibida como una oportunidad para mejorar el crecimiento económico y para la creación de empleos particularmente en zonas rurales. El mercado de biocarburantes líquidos es compartido principalmente entre el bioetanol y el biodiesel. La ventaja principal del biocombustible es la posibilidad de mezclarlo en proporciones bajas con la gasolina E5 - E25 (bioetanol del 5 a 25 % en volumen) para su utilización, sin ningún cambio significativo en motores de combustión interna (Cerpa, 2003).

Para la fabricación del etanol se pueden utilizar una gran cantidad de materias primas, por ejemplo, Brasil produce etanol principalmente de caña de azúcar y EE.UU. del almidón del maíz, por resaltar los dos mayores productores (quienes cuentan con más del 70% de la producción mundial de Bioetanol), pero también se utiliza remolacha, cereal o residuos forestales.

El proceso industrial implica operaciones de fermentación de los azúcares de las materias primas a través de levaduras, etapas de destilación para lograr la separación y concentración deseada del producto y, opcionalmente, un proceso final de deshidratación que permite obtener alcohol con fines carburantes. La utilización de biocombustibles de primera generación y en algunos casos de segunda generación, puede beneficiar al sector rural al ofrecerle acceso a un mercado diferente al tradicional, diversificando así las fuentes de ingresos para los productores, creando empleos y mejorando la calidad de vida de las comunidades marginadas. No obstante, una política nacional de promoción de biocombustibles deberá desarrollarse asegurando que los insumos agrícolas para su producción no atenten contra la soberanía y la seguridad alimentaria del país. De acuerdo con estudios de SAGARPA, el desarrollo de biocombustibles de primera generación no implicaría competencia con los alimentos siempre y cuando haya una diversificación de cultivos que ayude a mejorar el uso de los terrenos de menor calidad (SENER).

4.3 Estadísticas de producción de los biocombustibles.

La producción de etanol ha aumentado significativamente, pasando de menos de 20.000 millones de litros al año en el 2000 hasta 90.000 millones en 2009. La mayor parte de este crecimiento se ha registrado principalmente en Estados Unidos, Brasil y Alemania que aglutinan más de las tres cuartas partes de la producción de bioetanol (Torres y Carrera, 2010).

El potencial energético a partir de biomasa en ALC (América Latina y el Caribe) para el año 2050 haciendo uso de las tierras agrícolas se estima que, dependiendo del sistema de producción, cifras que representan entre 11 y 51% del consumo mundial de energía primaria en el 2003 (CEPAL, 2008b).

Brasil actualmente produce y consume la mayor parte del bioetanol producido en ALC, con una participación de más del 90% del total. Aun con un aumento proyectado del consumo en otros países (especialmente Colombia y México) en el año 2015, este país todavía será responsable por más del 80% del consumo total de bioetanol en la región de ALC (IICA, 2010). Se considera que en un periodo de 15 años entre el 2015-2030 se sustituirá parcial y progresivamente los carburantes fósiles por biocombustibles (Gazzoni, 2009).

El alto contenido de azúcares en el mucílago de café (20% en peso) según lo reportado por Restrepo (2000), hace suponer la posibilidad de obtener etanol por medio de reacciones simples de fermentación biológica.

Se observa que USA produce aproximadamente la mitad del total seguido por Brasil, la Unión Europea, Asia y Oceanía. En el resto del mundo, incluyendo México, la producción es insignificante.

4.3.1 Producción mundial de biocombustibles en el año 2010

Según los datos que maneja el GBC (Global Biofuels Center). Estados Unidos lidero en el año 2010 el ranking de la capacidad de producción de bioetanol por países.

Etanol

	País	Millones de litros
1	Estados Unidos	51.415,97
2	Brasil	26.887,52
3	China	2.699,48
4	Francia	1.821,03
5	Canadá	1.494,50
6	India	1.420,92
7	Polonia	1.079
8	Alemania	916,97
9	Tailandia	868,50
10	Jamaica	832,70
11	Trinidad y Tobago	757
12	Indonesia	683,38
13	España	546
14	Austria	485
15	Bélgica	485
16	Países Bajos	480
17	Reino Unido	470
18	Islas Vírgenes	387,50
19	Colombia	352
20	Vietnam	318,11
21	Australia	292,70
22	República Checa	280
23	El Salvador	247,10
24	Paraguay	237,25
25	Argentina	237,20
	Total	95.694,83

Figura 4. 1 Países por capacidad de producción de etanol (fuente: torres y carrera)

Tabla 4. 1 Balance del sector del bioetanol en millones de litros 2010-2015

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Producción	82.118	81.917	81.654	86.509	93.108	97.000
EEUU	50.088	52.805	50.350	50.398	54.286	54.500
Brasil	22.942	19.132	19.986	23.369	24.469	27.800
Consumo	82.937	80.104	80.720	86.398	90.656	96.030
EEUU	49.900	48.420	49.060	49.920	51.030	51.500
Brasil	22.162	19.290	17.790	21.456	34.085	28.100
Importación	2.302	5.277	6.021	4.855	4.205	4.100
EEUU	37	533	1.853	1.159	274	400
Brasil	75	1.150	564	132	452	450
Exportación	2.229	5.467	5.994	4.707	4.303	4.150
EEUU	1.125	4.075	2.807	2.353	3.207	3.200
Brasil	854	992	2.742	2.044	836	600

El balance mundial del bioetanol de los últimos seis años muestra un aumento considerable de la producción y consumo.

Los expertos sostienen que en los próximos años el sector de los biocombustibles seguirá expandiéndose pero a un ritmo diferente. Las previsiones indican que el mercado mundial de bioetanol se duplicara, debido principalmente a la rápida expansión de los biocombustibles en estados unidos.

Tabla 4. 2 Demanda potencial de etanol al año 2020 en México por terminal de almacenamiento y reparto (TAR) SENER.

	TARs	Pemex magna (mbd)	Etanol (Mdl/a)
Nuevo león	Cadereyta	14	46
Tamaulipas	Madero	10	35
Veracruz	Perote, Jalapa, Veracruz Pajaritos	26	89
San Luis potosí	Mante, Cd. Valle	6	20
Oaxaca	Oaxaca, Salina Cruz	16	53
Chiapas	Tuxtla Gtz, Tapachula	23	76
colima	Colima, Manzanillo	20	67
Nayarit	Tepic	5	15
Sinaloa	Mazatlán, Topolobambo Guamúchil, Culiacán	29	97
Total		148	498

4.4 Costos de materia prima.

Actualmente más del 50 % de los costos de producción de etanol lo representa la compra de materia prima.

Tabla 4. 3 Precios de materia prima para elaboración de etanol. (JOURNAL.UNAM)

Materia prima	(\$) Dólares por litro
Caña de azúcar (miel pobre)	0.40
Caña de azúcar (jugo directo)	0.43
Maíz (vía seca)	0.44
Caña de azúcar (miel rica)	0.52 (\$6.20)
Caña de Azúcar (jugo hidrolizado)	0.60
Remolacha	0.69
Yuca	0.79
Sorgo	0.82

Tabla 4. 4 Porcentaje que representa el precio de la materia prima, con respecto al costo de producción de etanol/litro. (JOURNAL.UNAM)

Materia prima para la obtención de etanol.	% del costo total de producción
Caña de azúcar (miel pobre)	65%
Caña de azúcar (miel rica)	40%
Caña de azúcar (jugo directo)	63%
Caña de Azúcar (jugo hidrolizado)	37%
Maíz (vía seca)	68%
Sorgo	72%
Yuca	38%
Remolacha	64%

4.5 Distintos tipos de biocombustibles líquidos.

Tabla 4. 5 Principales insumos bioenergéticos necesarios para su producción (Fuente: SAGARPA 2009)

Biocombustible	Insumo bioenergético	Principales azúcares derivados
Etanol de primera generación.	Azúcares solubles.	Sacarosa, fructosa, glucosa.
	Almidón.	Glucosa.
Etanol de segunda generación.	Celulosa	Glucanes, galactanes, manosans
	Hemicelulosa.	Xilanos y arabinanos.

4.6 Seguridad alimentaria.

Los bioenergéticos representan tanto oportunidades como riesgos para la seguridad alimentaria, estos varían dependiendo del espacio y tiempo en la evolución del mercado y de la tecnología (FAO y CEPAL, 2007).

En general los biocombustibles pueden afectar la seguridad alimentaria de diferentes maneras, por una parte, el aumento de los precios de los productos básicos provocado por los biocombustibles perjudica a los importadores de alimentos, pero por otro lado, dicho incremento también pueden estimular la producción agrícola nacional de los pequeños agricultores en los países en desarrollo (FAO, 2009).

El reciente aumento de los precios de los alimentos no puede ser explicado únicamente por el crecimiento en la producción de biocombustibles, sin embargo, la relación del aumento de la demanda y producción de este energético y el aumento en los precios de los productos agrícolas se observa justo en los productos que están siendo utilizados para la producción de estas energías alternativas (Gonzales y Castañeda, 2008).

Por lo tanto, existe un desafío que consiste en promover la producción de las bioenergías sin perjudicar la oferta de alimentos, mediante la inserción de los biocombustibles en la matriz energética de los países de ALC (América Latina y el Caribe), específicamente el etanol y el biodiesel, lo que permitiría pasar de una agricultura dependiente del petróleo a una más sustentable (IICA 2010; 2009b).

4.7 Políticas para impulsar el desarrollo de los biocombustibles.

Actualmente la mayoría de los países de América Latina y el Caribe (ALC) han implementado o están en proceso de implementación de políticas o programas que incentivan la producción de biocombustibles, el desarrollo de los biocombustibles representa una oportunidad importante para la agricultura de la región, en esta circunstancia solo se concretara y de esta forma será puesta en marcha si los marcos regulatorios propician o promueven su inserción en las matrices energéticas de los países (IICA, 2010).

Las leyes crean un marco amplio y a la vez un régimen especial para favorecer el desarrollo de la industria de los biocombustibles, el cual consiste en estímulos en el ámbito tributario, mediante el establecimiento de exenciones impositivas, garantía de estabilidad fiscal, periodos de gracia tributaria; liberación impositiva para la adquisición de bienes de capital, entre otras medidas de ese orden; con las excepciones y particularidades en cada país (Ajila y Chiliquinga, 2007).

En México el interés por conocer y desarrollar la tecnología de los biocombustibles llevó a la cámara de diputados y senadores a desarrollar una ley que impulse y ampare a la investigación de bioenergéticos, esta ley fue proclamada en la elaboración de la “ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticas” que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (2008), con la idea de impulsar el interés por toda la comunidad científica y académica, para el desarrollo de proyectos que lleven a México a la sustentabilidad energética (Diario Oficial de la Federación, 2008).

En México se ha venido construyendo un marco legal e institucional sobre el etanol. Existe una Ley de Desarrollo Rural Sustentable, aprobada el 7 de diciembre de 2001; una Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, aprobada el 22 de agosto

de 2005; una Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticas, aprobada el primero de febrero de 2008 que indican el uso obligado de etanol como oxigenador de gasolinas con una concentración mínima del 2 % del volumen producido lo que significa que la demanda de etanol podría ser de aproximadamente 39.2 millones de litros al año, con posibilidades de crecer hasta 89.2 millones de litros (Edgar, 2008). El incentivo más importante, aplicado por casi todos los países de la región que ya disponen de una política para los biocombustibles, es la exención de diferentes tipos de impuestos (impuesto al valor agregado, impuesto a las ganancias, impuesto sobre los biocombustibles líquidos y gas natural, entre otros), a lo largo de varias etapas de la cadena productiva de biocombustibles; se espera que el sector agrícola, como proveedor de materia prima se incentive y se beneficie del dinamismo del sector industrial (IICA, 2010).

4.8 Características del producto final.

El etanol ($\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$), compuesto químico conocido como alcohol etílico es considerado uno de los sustitutos principales del petróleo en materia de energéticos. La Norma Oficial Mexicana NOM-076-SSA1-1993 - Salud ambiental, modificada en el 2002 establece los requisitos sanitarios del proceso de producción del etanol (alcohol etílico). Ahí se define como etanol (alcohol etílico):

Aquel obtenido de la fermentación de azúcares y con contenido alcohólico mayor de 55°GL para uso industrial y no potable. En su apartado sobre las características físicas y químicas a considerar en el proceso menciona las siguientes.

Punto de ebullición (760 mm Hg).....	78.5°C.
Punto de fusión:.....	-114.
Densidad relativa:.....	0.789.
Densidad de vapor.....	1.59.
Presión de vapor.....	40 mm Hg.
Punto de auto ignición.....	363°C.
Límite superior de inflamabilidad.....	9%.
Límite inferior de inflamabilidad.....	3.3%.

El etanol es el alcohol de menor toxicidad, además es un oxigenante de combustibles que no contamina la tierra ni el agua y puede sustituir al éter metil terbutílico, un químico contaminante que actualmente se importa para oxigenar las gasolinas.

4.8.1 Desarrollo rural.

La producción de los biocombustibles puede tener un impacto positivo sobre el empleo agrícola y los medios de vida, especialmente cuando el cultivo involucra a agricultores de pequeña escala e instalaciones para la conversión que se localizan cerca de la fuente de los cultivos en áreas rurales (Dufey, 2006).

Los programas de biocombustibles tienen un gran potencial para ofrecer nuevas oportunidades a las áreas rurales. Sin embargo, existen los riesgos que estos programas conduzcan a una concentración de tierras, y/o liberen mano de obra por la mecanización (CEPAL, 2007).

4.9 Emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático.

El problema del cambio climático del último siglo es que existe una tendencia al calentamiento global a tal grado que afecta a los seres vivos. La causa de este calentamiento es el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que es debido por un lado a los patrones actuales de consumo de energía a partir de carbono mineral y combustibles fósil, por otro a la destrucción de la cubierta vegetal por cambio de uso del suelo (Coralli et al., 2010).

El efecto invernadero es un fenómeno natural causado por una serie de gases que se encuentran en la atmósfera terrestre. Hace que una parte del calor del sol que nuestro planeta reflejado quede atrapado aumentando la temperatura global, y así afecte la vida en la tierra el aumento de la concentración de GEI está provocando el aumento de la temperatura global (Riegelhaupt et al., 2010)

Por lo anterior, el uso de biocombustibles como bioetanol, puede contribuir a reducir la emisión de GEI y por lo tanto a mitigar el cambio climático.

4.10 El petróleo a la seguridad energética.

El desarrollo de gran parte de nuestra época moderna tuvo que ver con la explotación y el uso creciente de los recursos energéticos no renovables. El petróleo que se ha formado durante millones de años es un recurso finito lo cual se usa en 90% del transporte y de la agricultura (Cecotti et al., 2010).

Los recursos petrolíferos que se encuentran en el mundo ya han sido explorados casi en su totalidad y, se está alcanzando el nivel máximo de extracción en todo el mundo (Ferrari, 2009). En México, el pico máximo de la extracción de petróleo y se han alcanzado: la producción está bajando y es posible que bajen los excedentes exportables desde el 2015.

La diversidad de la matriz energética mundial no es una respuesta ideológica sino una necesidad real para sostener la demanda global energética creciente. El cómo se resuelve esta diversificación energética es un punto que se encuentra en debate, y que se resume en concepto de “transición energética”; como transitar de una economía de alta intensidad energética y basada en energías fósiles a una economía diferente, de menor intensidad energética y basada en energías renovables (biocombustibles) que son una alternativa para sustituir al crudo, (Rodríguez, 2006)

Tabla 4. 6 Posibles efectos de biocombustibles modernos. (Fuente: REDPA, 2008)

Ambito	Clase de efecto	Ejemplo
Alimentario	Seguridad alimentaria	Incremento en precios de alimentos y efecto en su disponibilidad.
Ambiente	Biodiversidad	Intensificación de monocultivos, conversión de ecosistemas naturales en agrícolas. Modificación en la distribución de especies.
	Uso de químicos	Incrementos en el uso de químicos que contaminan aire y agua.
	Deforestación	Efectos en la vida silvestre, erosión de suelos, incremento en efectos de gases de tipo invernadero.
	Efectos inesperados	No previstos bajo este tipo de esquemas
Salud	Contaminación, Toxicidad y alergenidad	Disminución de efectos asociados al uso de combustibles fósiles. Efectos asociados al uso intensivo de agroquímicos.
Agrícola	Uso de la tierra y estabilidad en el suministro de materias primas	Competencia con alimentos, cambios en el uso de la tierra, Sustentabilidad, tendencia al monocultivo y desequilibrios en los precios. Capacitación por sustitución de prácticas tradicionales, recursos requeridos por cultivos intensivos.
	Practice agrícola.	Incrementos en precios de los cultivos agrícolas.
Energía	Seguridad energética	Incrementos en el suministro de combustibles, estabilidad en los precios, diversificación de fuentes de suministro.
Economico	P/el consumidor	Precios a nivel detalle
	P/el productor	Rendimiento, valor agregado, costos de insumos y de producción. Nuevos productos competitividad.
	P/el procesador	Utilidad, aceptación de los productos, competitividad Generación de nuevas actividades económicas, sustitución de importaciones, acceso a la tecnología, exportación.
	Empleo	Rural/Urbano, Tipo de calificación, Tasa.
Social	Individuos	Elección de los consumidores, transparencia, accesibilidad, participación. Migración rural-urbana
	Instituciones	Concentración de poder, confianza institucional, complejidad regulatoria, procesos de certificación.
	Necesidades sociales	Oportunidades, costos de oportunidad, participación social en dar dirección a una tecnología, calidad de vida, necesidad de generar acuerdos entre actores sociales.
	Pobreza	Modificación de índices (expectativas de vida, estándares de vida, educación)
	Empleo Desigualdad	Trabajo infantil, trabajo para la mujer, En distribución del ingreso, en oportunidades.

4.10.1 Rentabilidad de los biocombustibles.

La producción y uso de los biocombustibles actualmente no es redituable, por lo que están altamente subsidiadas por los gobiernos. Un litro de biodiesel en la unión europea representa un subsidio de aproximadamente un dólar de U.S.A, mientras en U.S.A el bioetanol cuenta con un subsidio que varía entre 0.40 y 0.60 dólares. A nivel mundial el bioetanol producido en Brasil a partir de caña de azúcar es el único ejemplo que muestra rentabilidad positiva.

En el entorno ecológico, los biocombustibles representan rentabilidad y sustentabilidad para el desarrollo del campo, siendo los más usados en la actualidad, el bioetanol y el biodiesel, cuyo uso tiene ventajas ambientales, comparadas con los combustibles derivados del petróleo. Lo anterior (en comunicación personal) informó la bióloga Karina de la Paz Gracia Mariscal, investigadora de bioenergéticas en el campo experimental Tecomán, Colima del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

4.10.2 El cultivo de café en Chiapas.

El Estado de Chiapas ocupa el primer lugar nacional en producción de café, con cerca de 2 millones de quintales, correspondientes al 33% del total de producción en México. La producción de café involucra a más de 400 mil productores de los cuales el 90% son pequeños con extensiones de tierra menores a las 5 hectáreas y un 30 % son mujeres. Es la base económica de 3.2 millones de personas.

El fruto del café es de maduración escalonada y se cosecha en los meses más fríos desde Noviembre hasta mediados de febrero, después de la cosecha se realiza el beneficio del fruto que comienza después del corte con el despulpado y lavado donde se eliminan la cáscara el fruto y el mucílago rico en azúcares y termina con el secado para así salir al mercado. De la operación de despulpado resulta el bagazo como subproducto que hasta ahora es utilizado solamente para la obtención de abonos orgánicos que se emplean para nutrir el mismo cultivo.

El alto número de beneficios de café húmedo y el incremento de la producción ha generado gran cantidad de residuos (aguas mieles y pulpa). En la mayoría de los

casos las aguas residuales del café son vertidas directamente a los ríos y tierras superficiales.

Por su parte, el mucílago está constituido por una capa gruesa de tejido esponjoso, el cual contiene 15% de sólidos en la forma de un hidrogel coloidal insoluble en agua, sin estructura celular; estos sólidos tienen 80% de ácidos pépticos y 20% de azúcar. La mayoría de azúcares totales del mucílago están en forma reductora (Gómez, 2006).

Durante el lavado del grano resultan aguas residuales con altos contenidos fenólicos que al ser liberados en canales superficiales contaminando ríos y arroyos y por consiguiente el suelo eliminando especies acuáticas animales y vegetales generando un problema fuerte de contaminación (Barrios, 1998).

4.10.3 Composición y estructura del fruto.

Dentro de la composición del fruto, el 16 % es mucílago (mesocarpio) contribuye con el 28% de la contaminación generada por el beneficio húmedo tradicional del café, lo que equivale en promedio a una demanda química de oxígeno (DQO) de 120.000 mg/L. El 42 % es pulpa (exocarpio), 18% es semilla (endospermo), el 4 % es pergamino o cascarilla (endocarpio) y el 20 % es agua.

Desde una perspectiva botánica, el fruto del café es una drupa (Villalobos 1985) constituida por:

Epicarpio o cáscara: Es la piel firme y colorida que envuelve el fruto. Es el primer producto que se obtiene en el método usado para el procesamiento del grano de café y representa en base seca alrededor del 29 % del peso del fruto. El epicarpio está constituido en su mayor parte por material lignino-celulósico.

Mesocarpio o mucílago: Está localizado entre la pulpa y la cáscara del grano y representa alrededor del 5 % del peso del grano de café. El mucílago constituye una capa de (0,5 a 2) mm de espesor que está fuertemente adherido a la cáscara del grano de café. Desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema coloidal líquido, biofílico, siendo por lo tanto un hidrogel. Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos. La fracción del

mesocarpio que queda adherida a la cascarilla en el despulpado, está constituida por tejidos hialinos que no contienen cafeína y taninos, es rica en azúcares, pectinas y nitrógeno (0,15 % en base seca).

Endocarpio: Recibe el nombre de pergamino, es la membrana cartilaginosa que envuelve a cada semilla de café. Su principal constituyente es de naturaleza celulítica.

Espermodermo: conocido también como película plateada. Éste rodea el endosperma y se elimina cuando el café en oro entra en proceso de tostado.

Los endospermos, albúminas, almendras o café oro, están envueltas en una película plateada, y es la parte esencial que se consume en la preparación del café.

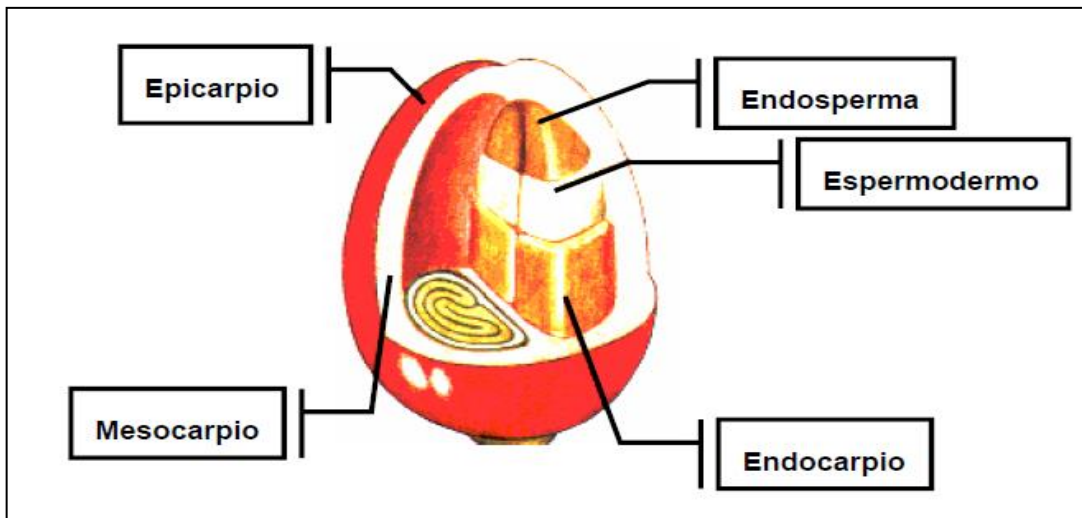


Figura 4. 2 Composición del fruto de café. (Fuente: 1998 ANACAFÉ)

4.10.4 Usos del subproducto del café.

Durante el proceso del beneficiado del café se derivan una serie de subproductos, los cuales se emplean en diferentes usos, después de haberles dado un manejo estratégico y adecuado.

Pulpa: es uno de los subproductos que presenta una gran variedad de alternativas para ser recicladas en su totalidad (Restrepo 2000), así como en:

- La transformación de la misma en humus a partir del cultivo de lombrices.

- Su participación en la elaboración de abonos orgánicos fermentados tipos bocashi. Proceso de elaboración de aboneras (composteras)
- Su utilización como sustrato para la reproducción biológica, principalmente de *Aspergillus oryzae*, *Bacillus megatherium* y *Saccharomyces cerevisiae*, lo que es deseable para obtener abonos orgánicos de muy buena calidad.

Además, el abono orgánico se puede emplear en cultivos de musáceas (banano, plátano), ya que este producto es rico en contenido de potasio.

La pulpa de café puede reemplazar hasta un 20 % de los concentrados comerciales en la alimentación del ganado lechero, sin efectos perjudiciales y con un ahorro del 30 % (Rathinavelu y Graziosi, 2005).

Mucílago. Por su alto contenido de diferentes tipos de azúcares, es un excelente medio para la elaboración de biofertilizantes enriquecidos con minerales, y así llegar a ser utilizado en los cultivos del propio café y de musas. En la preparación de abono orgánico tipo bocashi, se recomienda usar el mucílago o aguas mieles directamente, sustituyendo al máximo el volumen de agua que se desee.

El mucilago es un excelente sustrato para el crecimiento de hongos, bacterias y otros microorganismos benéficos y deseables para la recuperación de la calidad de la vida de los suelos deteriorados por las malas prácticas de la agricultura convencional

Por otro lado, del mucílago pueden obtenerse, en distintos estados de pureza (Rathinavelu y Graziosi 2005), los siguientes tipos de sustancias:

Pectinas sin refinar. Estas pectinas pueden estar en forma de gel soluble termorreversible o en forma de eslabón en cruz no reversible, que tienen un sabor distinto.

Azúcares naturales del fruto del café. Procedentes principalmente del agua del

despulpe reciclada: son en su mayor parte monosacáridos, glucosa, galactosa, y arabinosa, con un sabor distinto, que recuerda al de las ciruelas, y podrían comercializarse.

4.10.5 Compuestos antioxidantes y flavonoides.

Éstos son principalmente los compuestos de antocianina de color del fruto, pero también contienen todos los demás polifenólicos, tales como los ácidos clorogénicos y, por supuesto, cafeína. Estas sustancias pueden combinarse de varias maneras para hacer una serie de aditivos de los alimentos que pueden tener interés para la industria del “alimento saludable”.

Pro-antocianinas incoloras: podrían usarse como recurso básico para la fabricación de otros alimentos o quizá para la síntesis más sofisticada de otras sustancias químicas.

El pergamino del café se emplea para la preparación de abonos orgánicos fermentados, ya que ésta cascarilla del café o pergamino, constituye una fuente excelente de celulosa, lignina, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor cantidad.

Éste se emplea en los abonos orgánicos, ya que permite dar una mejor homogenización y aireación al prepararlo; además, aumenta hasta el 30 % el volumen total del mismo. Por otro lado, cuando el pergamino del café se humedece con un poco de suero de leche, levadura y melaza de caña o aguas mieles provenientes del propio beneficio del grano, éste constituye un excelente medio de cultivo para la multiplicación diversificada de microorganismos en constantes sucesiones biológicas, las cuales favorecen la rápida recuperación de los suelos degradados.

El agua residual del café es otra fuente potencial para la producción de biogás, así como también los sólidos de la pulpa de café para ensilaje.

Tabla 4. 7 Composición del fruto del café en % de peso húmedo

Fraccionamiento del fruto	% en peso (húmedo)
Pulpa(residuos)	42
Mucilago y azúcares solubles	16
Cascarilla(residuos)	4
Semilla	18
Agua	20
Total	100

FUENTE: COOPEDOTAR R.L. 2006. Santa María de Dota, CR

4.10.6 El café de México y Chiapas.

México produce un promedio de 4 millones de sacos de café verde. 96% es café arábica y 4% café robusta.

Es actualmente uno de los 10 principales países productores y exportadores a nivel mundial.

El café se produce fundamentalmente en las vertientes de las cadenas montañosas del centro y sur del país. Todas estas son áreas estratégicas para la conservación de la biodiversidad.

Más del 70% de los cafetales mexicanos se encuentra arriba de los 600 metros de altitud, lo que aunado a los microclimas, permite una alta calidad. El café de altura, cultivado por arriba de los 900 metros sobre el nivel del mar, es de los mejores cotizados.

De los 12 Estados productores, 4 concentran la mayor cantidad: Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca.

4.10.7 Chiapas es el principal productor de café en México.

La participación de los indígenas es determinante. Del total de productores, aproximadamente el 70% son indígenas con superficies de cultivo no mayores a 5 hectáreas que han hecho del café su forma de vida y su medio de subsistencia.

En muchas regiones montañosas del Estado, el café es desde antiguas generaciones un cultivo “insustituible”. Chiapas es uno de los principales productores de cafés certificados en el mundo. Su clima, suelo volcánico, régimen de lluvias y el entusiasmo de su gente hacen por trabajar la tierra hace de Chiapas un lugar ideal para obtener el mejor café.

4.11 Resultados obtenidos de producción de etanol en Colombia.

La Producción de café es de 2,3 Toneladas//ha—año. Cuenta con una superficie cultivada de café, 874000 ha, Produciendo un total de mucilago de café de 768 kg ó 432 litros//ha—año, La producción de etanol es de 1,97 litros etanol/100 kg de café cereza, 102 litros etanol/ha-año. (Cenicafe, 2009)

4.12 Características del municipio donde se desarrolló el proyecto de investigación.

Bella vista se localiza en la Sierra Madre de Chiapas, Limita al norte con los municipios de Chicomuselo y Frontera Comalapa, al sur con Siltepec y La Grandeza, al este con Amatenango de la Frontera y al oeste con Siltepec. El clima es semicálido subhúmedo, la vegetación es de bosque de encino-pino. Y los ríos que atraviesan al municipio son San Pedro (Maíz Blanco), Rinconada, Emiliano Zapata.

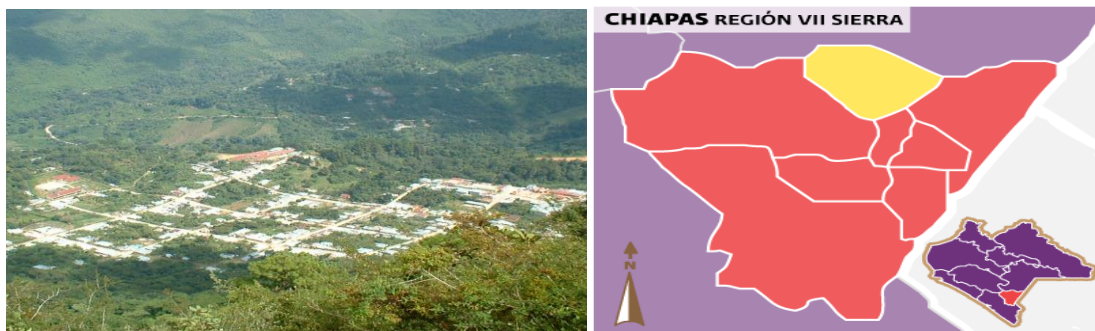


Figura 4. 3 Municipio de bella vista Chiapas.

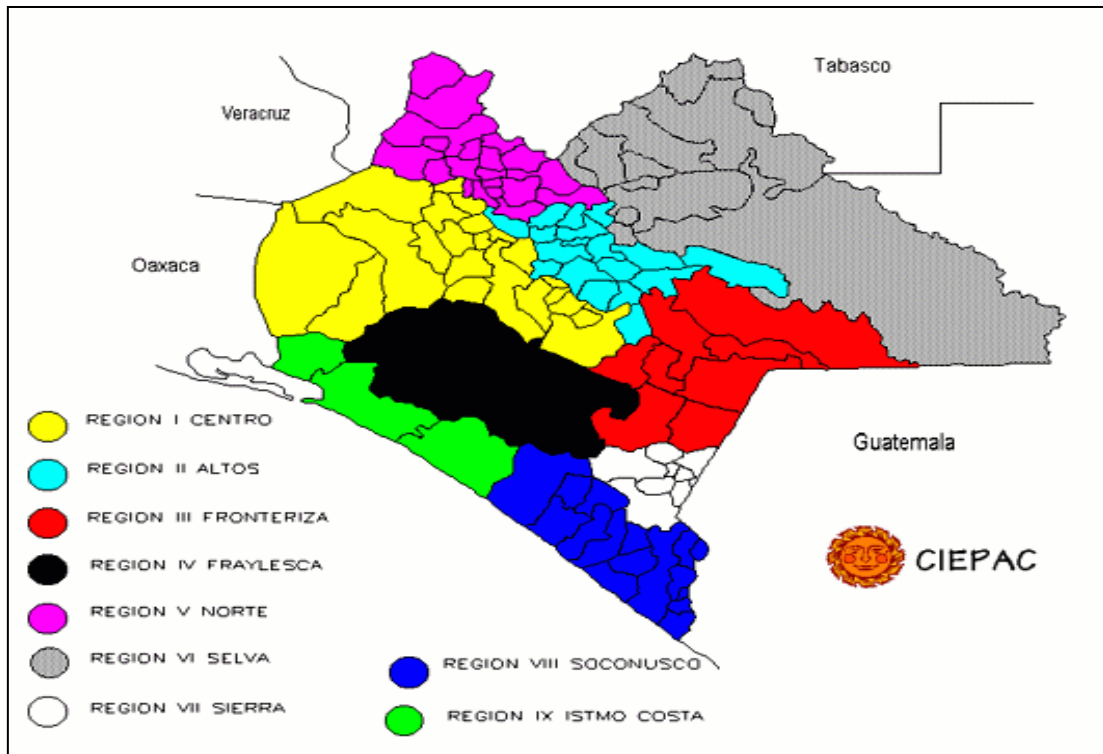


Figura 4. 4 Mapa del estado de Chiapas donde se muestra la zona sierra, el cual se encuentra el municipio donde se realizó el proyecto.

4.12.1 Extensión.

La extensión territorial del municipio es de 114.3 km², la cual equivale al 5.37 % de la superficie de la región Sierra y al 0.15% de la superficie estatal. Su altitud es de 1,700 msnm.

4.12.2 Orografía.

En todo el municipio se encuentra zonas accidentadas por encontrarse en la Sierra Madre del Sur, sin embargo también cuenta con algunas planicies en las cuales se encuentran los ejidos de Emiliano Zapata y el de Chicharras.

4.12.3 Hidrografía.

Los ríos que atraviesan al municipio son: San Pedro (maíz Blanco), Rinconada, Emiliano Zapata.

4.12.4 Clima.

El clima es semicálido subhúmedo, con una precipitación pluvial de 1,500 milímetros anuales.

4.13 Principales ecosistemas existentes en el municipio donde se realizó el proyecto (Bella vista Chiapas).

4.13.1 Flora

La vegetación es de bosque de encino - pino, en donde existen una gran variedad de especies siendo las más importantes las siguientes: ciprés, pino, romerillo, sabino, manzanilla y roble.

4.13.2 Fauna

El municipio cuenta con una gran variedad de especies, de las cuales destacan las siguientes: gavilán golondrino, culebra, pica madera, ardilla voladora, jabalí, venado y zorrillo, entre otros.

4.14 Características y uso de suelo.

El municipio está constituido geológicamente por terreno cretácico inferior con roca sedimentaria caliza y los tipos de suelo predominantes son el acrisol, andosol y feosem, su uso principal es el agrícola. (INAFED).

V MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Materia prima.



Figura 5. 1 Frutos de café bourbon en estado de máxima madurez.

Se emplearon frutos de maduración temprana de la variedad nativa de café “bourbon”. Se caracteriza por presentar frutos ovalados de tamaño mediano de aproximadamente 1 cm de largo, de color rojo brillante a rojo cereza. Los frutos fueron lavados y despulpados manualmente separando el bagazo del grano. Se pesó el total de la muestra al inicio y se pesaron las fracciones durante el proceso. Se evaluaron rendimientos en porcentajes de mucílago, grano y pulpa al final del proceso.

Tabla 5. 1 Características del mucilago del café. (Fuente: Elías 1978)

Sustancias pépticas totales	33%
Pectina	5.70%
Carbohidratos totales	50%
Proteína	5.95%
Ceniza	4.10%

Tabla 5. 2 Características de la pulpa de café. (Fuente. Elías 1978)

Compuesto.	% Base seca.
Taninos	1.80
Sustancias pépticas totales	6.5
Azúcares no reductores	2
Ácido clorogénico	2.6
Ácido cafeico total	1.6
Fibra detergente ácida	34.5
Hemicelulosa	2.3
Celulosa	17.7
Lignina	17.5
Proteína lignificada	3
Proteína cruda	10.1
Ceniza insoluble	0.4

5.2 Material de laboratorio.

- Baño maría con agitación.
- Termómetros.
- Refrigerador.
- Balanza analítica.
- Pipetas.
- Matraz fondo plano.
- Mechero Material de vidrio uso común en laboratorio.
- Autoclave.
- Brixómetro portátil
- Tubos refrigerantes
- Picnómetro.
- Potenciómetro.

5.3 Reactivos.

- Ácido acético.

5.4 Agente fermentador utilizado.

- Levadura (*saccharomyces cerevisiae*)

5.5 Método de Obtención.

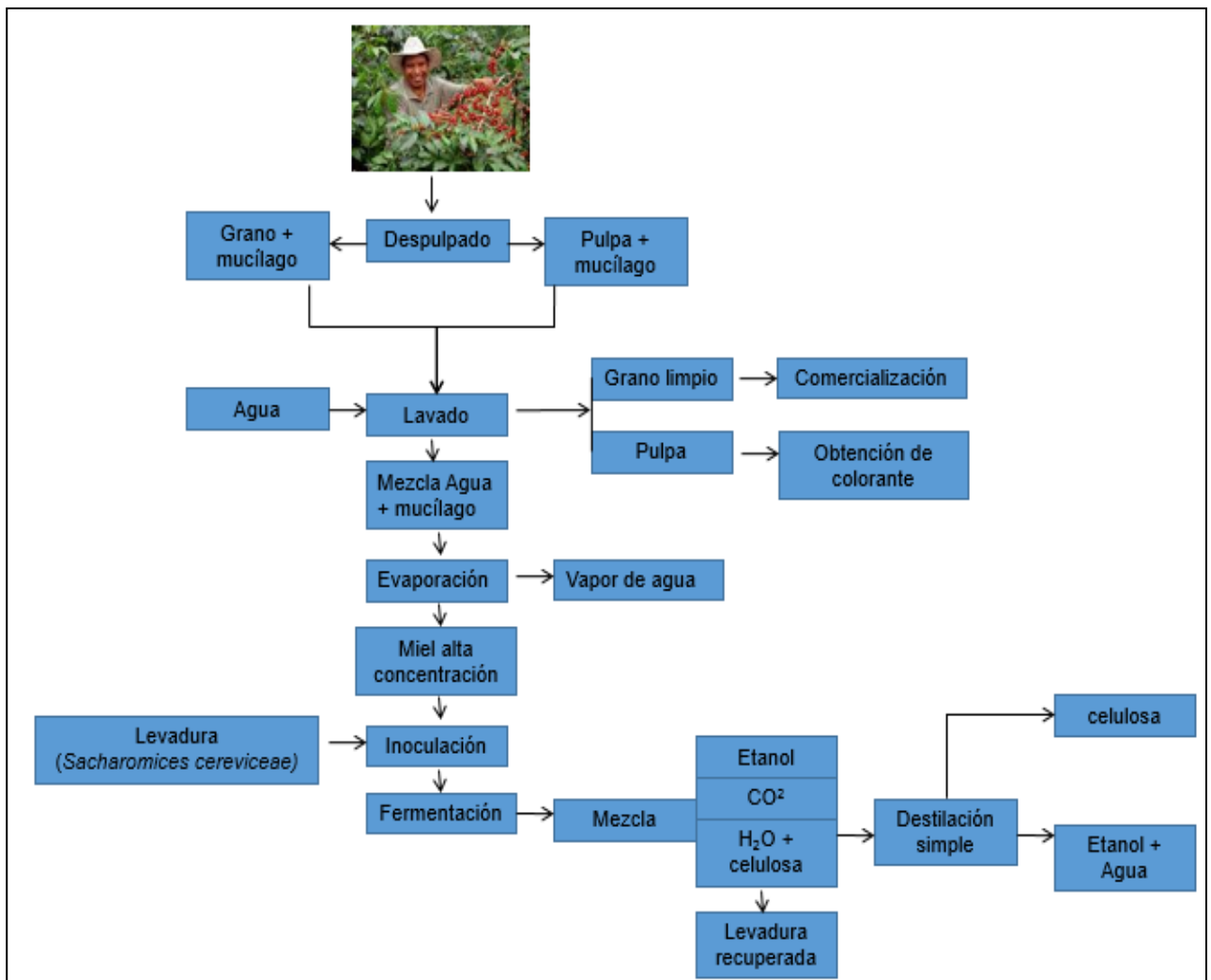


Figura 5. 2 Etapas del proceso de obtención de etanol

5.6 Obtención del mucílago.

- Recolección de los granos de café de las parcelas agrícolas.
- Selección de granos maduros para la utilización. (Maduros de color rojo brillante)
- Una vez seleccionado los granos se realizó el despulpado, y lavado en forma manual. (Con agua destilada).



Figura 5. 3 Despulpado y lavado manual de los granos de café

Pesar las fracciones obtenidas (pulpa, grano y mucílago).

- El mucílago se obtiene lavando el grano con agua. El mucílago recién extraído contiene una concentración de azúcares totales que varía entre el 16 y el 19 % determinado mediante un brixómetro portátil que determina la cantidad de sólidos solubles en un líquido.
- Posteriormente, el mucílago mezclado con el agua de lavado fue concentrado por evaporación hasta obtener una miel densa de más fácil manejo llamada miel final, haciendo hervir el agua con el fin de esterilizar el medio y evitar con ello la degradación temprana de azúcares por agentes bióticos que pudieran reducir el rendimiento de alcohol.



Figura 5. 4 Diagrama general de la obtención de la miel concentrada



Figura 5. 5 Medición de los grados brix de la mezcla agua más mucilago

5.7 Esterilización de los materiales empleados (material de vidrio de uso en laboratorio)

Para esterilizar los materiales de laboratorio se realizó con el equipo llamado autoclave.

5.8 Obtención del fermento.

- Una vez obtenida la miel final se procedió a inocular el medio con la levadura comercial *saccharomyces cerevisiae* empleada en la elaboración de pan y cerveza, con diferentes proporciones para cada tratamiento un testigo 0 gr de levadura y (0.1, 0.5, 1, 2, 4 gramos de levadura a cada matraz Erlenmeyer conteniendo cada uno un volumen de 130 ml de miel concentrada).

- Previamente se ajustó el pH manteniendo dentro de un rango de 4.2 - 4.7 para evaluar máximos rendimientos. (El pH es predeterminado para eficientizar el proceso de fermentación según recomendaciones del fabricante de la levadura y que en esta invención se emplea para realizar este proceso es de 5.0 a 5.5 usando ácido acético para alcanzar dicho valor Bajo estas).
- El proceso de fermentación es de 12 horas a temperatura controlada encontrándose dentro de un rango de 30 y 35 °C. (Las condiciones son con la finalidad de un mejor desarrollo de la levadura).
- En la fermentación se logra disminuir el 65 % de los sólidos solubles, en un tiempo de 12 horas, es decir que la concentración de grados brix se reduce en forma considerable en este lapso de tiempo.



Figura 5. 6 Obtención del fermento

5.9 Obtención del Biocombustible.

- El fermento fue sometido a evaporación a 100 °C para separar la mezcla de alcohol y agua del resto de sólidos del mucílago.
- Posteriormente se realizó una segunda destilación simple a 78.5 °C para separar alcohol y agua. El alcohol inflamable es de color, olor y sabor característicos.

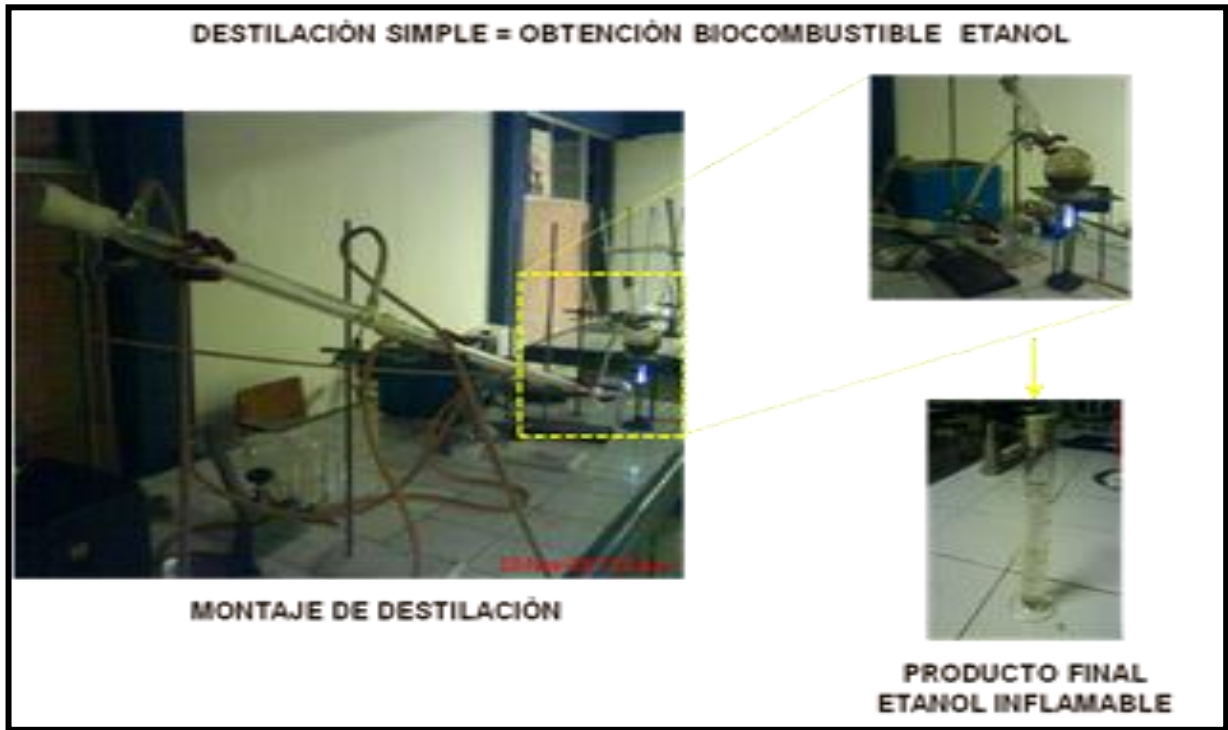


Figura 5. 7 Proceso de destilación simple.

5.10 Producto final.

La flama azul indica la casi perfecta combustión del líquido carburante que libera una mínima cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La altura de la flama es un indicador de la concentración de alcohol ya que para que ésta ocurra debe rebasar un 55 % de contenido alcohólico, para uso no potable únicamente industrial, atribuido a lo mencionado en por la norma oficial mexicana NOM- 076- SSA1- 2002 Salud ambiental.

Densidad relativa (**picnómetro**)..... 0.78 p (g/ml).
 Temperatura de auto ignición..... 363 °C

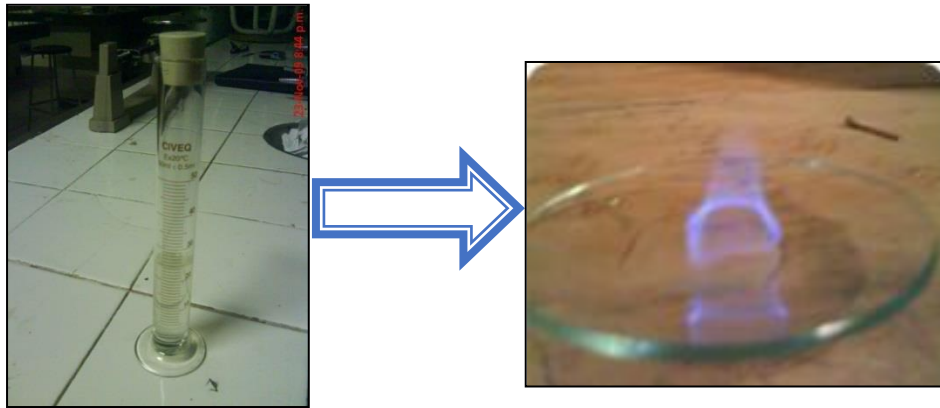


Figura 5. 8 Prueba de inflamabilidad del producto obtenido

5.11 Diseño experimental.

El trabajo consistió en el establecimiento de un experimento con tratamientos asignados al azar atendiendo a un modelo estadístico de bloques aleatorizados de 5 tratamientos, con 6 repeticiones cada una. Las unidades experimentales fueron 36 matraces Erlenmeyer con 130 ml de miel pasteurizada en constante agitación. Los parámetros considerados son: T temperatura de Incubación dentro un rango de 30 °C - 35 °C), Acidez (manteniendo un pH constante dentro de un rango de 4.2 - 4.7), Q la concentraciones de levaduras para los tratamientos correspondientes como son: un testigo 0 gr de levadura y (0.1, 0.5, 1, 2, 4 gramos de levadura a cada matraz Erlenmeyer conteniendo cada uno un volumen de 130 ml de miel concentrada).

Tabla 5. 3 Parámetros considerados

Diseño experimental						
Temperatura °C	30 - 35 °C					
Q Levaduras (gr)	0	0.1	0.5	1	2	4
Rango de pH	4.2- 4.7	4.2- 4.7	4.2- 4.7	4.2- 4.7	4.2- 4.7	4.2- 4.7

5.12 Evaluación de variables del proceso.

La medición de los datos fue posible mediante el empleo de equipos de laboratorio profesionales tales como: el potenciómetro digital Beckham previamente calibrado para la medición del pH, un picnómetro pyrex de 25 ml seco y pesado con precisión para determinación del contenido alcohólico por densimetría y el refractómetro portátil (Brixómetro) para determinación de azúcares totales. Se anexan gráficas que apoyan los resultados aquí expuestos, así como del uso de baños maría con termostato.

Las gráficas siguientes muestran el análisis de los datos obtenidos de la medición de las distintas variables (concentración de levaduras, Acidez y rendimiento del alcohol).

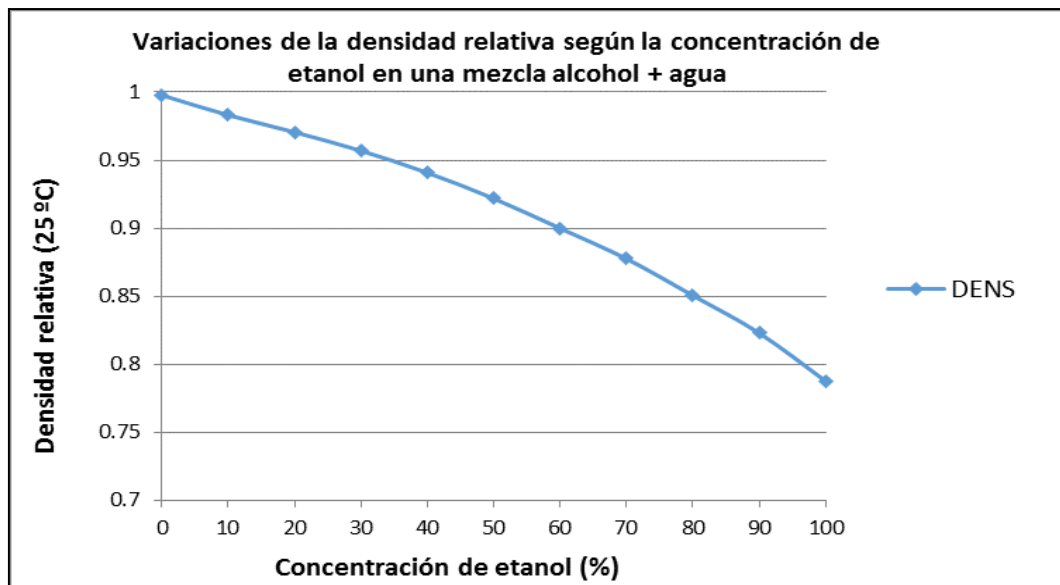


Figura 5. 9 Rendimiento de alcohol

Esta grafica es utilizada de referencia mediante el cual se conocerá la concentración del etanol producido, teniendo como base la densidad de cada muestra.

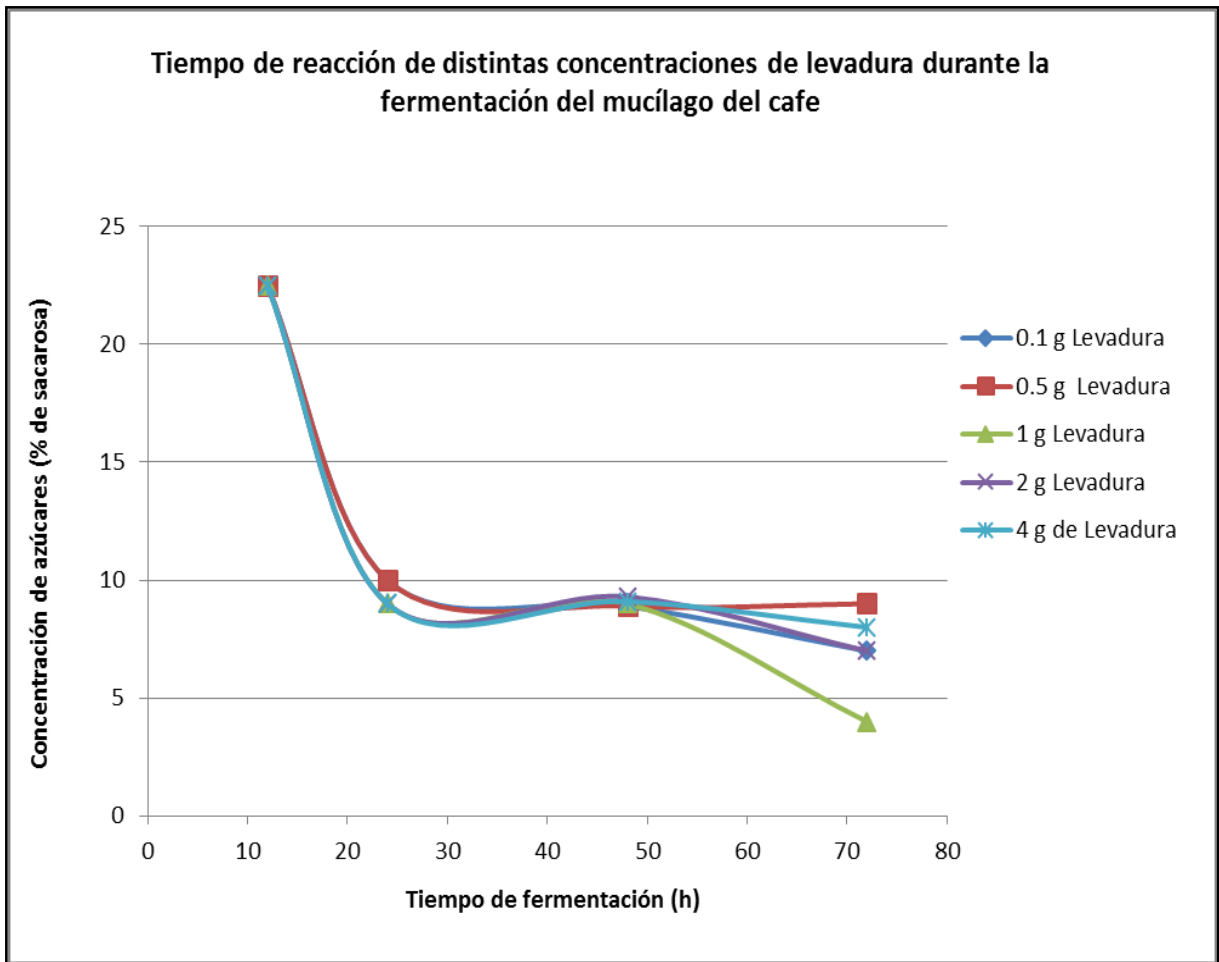


Figura 5. 10 Rendimiento de alcohol obtenido (ml) con diferentes concentraciones de levadura

De los 5 tratamientos trabajados en el experimento, seleccionamos el de mayor rendimiento, una de las características esenciales para elegir cual tratamiento era el más eficiente fue, observar el tratamiento que transforma mayor cantidad de azúcares en menos tiempo, la concentración de dos gramos de levadura se diferencia por muy poco de los otras concentraciones, la pequeña diferenciación entre los tratamientos nos lleva a elegir y trabajar con 2 gramos de levadura en la producción de etanol.

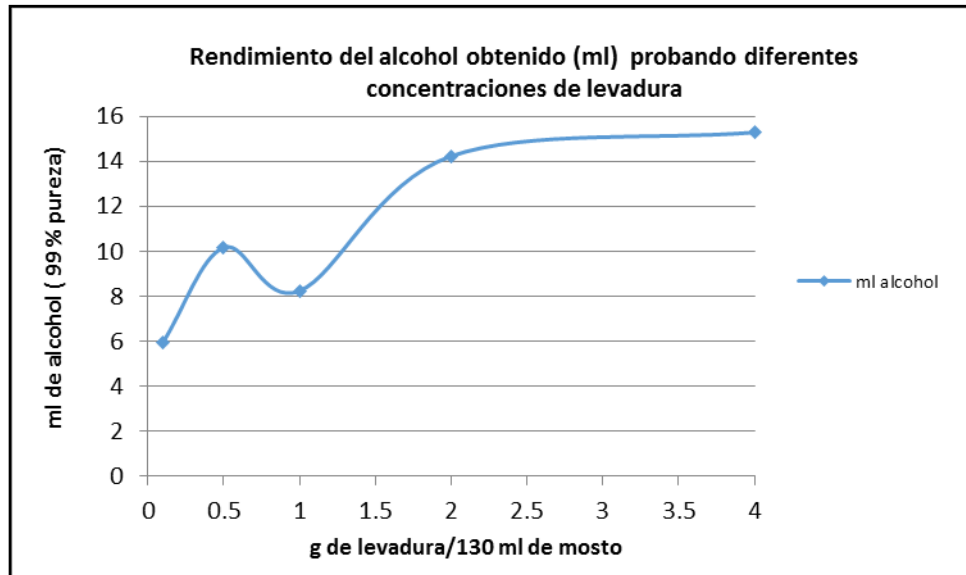


Figura 5. 11 Tiempo de reacción de distintas concentraciones de levadura

Mediante esta grafica podemos ver que el tratamiento trabajado con 2 gramos de levadura es la más viable, para la producción de etanol. Se puede observar que con 4 gramos de levaduras la producción de mantiene más estable en el mismo tiempo que el tratamiento seleccionado, esto nos reafirma que es el ideal para este experimento.

VI RESULTADOS.



Figura 6. 1 Rendimientos de mucílago y etanol inflamable respecto al peso del fruto

- Se han obtenido cantidades considerables de etanol inflamable del mucílago de café con procesos simples de fermentación y destilación.
- De 8.5 kg de café, se obtiene un kilogramo de mucilago concentrado.
- De un kilogramo de mucilago concentrado se obtiene 560 ml de etanol inflamable a una concentración mayor de 55% a esta concentración solo se da uso industrial mas no potable.
- Para procesar un kilogramo de mucilago concentrado se necesita 20 gr de levadura/ L de mucílago.
- El proceso de obtención de etanol es de una duración de 12 horas lográndose fermentar alrededor del 85% del azúcar total contenido en el mucílago del grano de café.
- Se debe mantener una temperatura de 30 °C - 35 °C y un pH dentro de un rango de 4.2 – 4.7.
- De 1 ton mucílago se obtienen hasta 560 litros de etanol inflamable cuyo valor comercial asciende a (\$8.20/litro. Luis Ramiro García Chávez, 2011. Universidad Autónoma Chapingo). Actualmente este producto tiene un precio sujeto a cambios de 42.5 el litro de bioetanol.

6.1 Impacto social, ecológico y económico que se tiene con la producción de etanol.

6.1.1 Social.

El café es un producto tropical que se cultiva en las zonas montañosas y cerca de un 60% de los pequeños productores son indígenas.

La producción de café involucra a más de 400 mil productores de los cuales el 90% son pequeños con extensiones de tierra menores a las 5 hectáreas y un 30 % son mujeres.

Es la base económica de 3.2 millones de personas. Al resultar viable el uso del mucílago de café para la obtención de biocombustibles se da un valor agregado a la producción de café que resulta en una mayor rentabilidad del cultivo y mejora la economía de miles de familias mexicanas.

6.1.2 Ecológico y económico.

México tiene una producción promedio de 24 millones de ton de café verde por año y ocupa el sexto lugar en la producción mundial. Siendo el estado de Chiapas el principal productor con el 27 % de la producción nacional.

El café se obtiene mediante la operación de despulpado donde se separan: grano, mucílago y pulpa.

Al año se liberan 2 823 360 ton de mucílago concentrados a ríos y lagos causando la contaminación de cuerpos de agua por óxidos fenólicos, contaminantes causantes de la desaparición de miles de especies acuáticas endémicas del país.

VII CONCLUSIONES.

Es posible obtener etanol inflamable por fermentación del mucílago del café mediante la levadura *saccharomyces cerevisiae*.

Así mismo, el hecho de controlar las variables de pH (acidez del medio), Temperatura (°C), Cantidad de levadura (g) y Tiempo de fermentación (h), permite que un proceso sea reproducible obteniendo siempre resultados similares, o bien, es requisito indispensable para realizar el diseño de un proceso que pretenda explotarse a escala industrial.

El proceso resulta viable técnicamente para su reproducción a escala industrial con fines comerciales.

VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ajila V.H. y Chiliquina, B.** 2007. Análisis de legislación sobre biocombustibles en américa latina. Artículos técnicos. Quito, EC, OLADE.
- Badui S.D** 1997. Química de los alimentos. Quinta reimpresión. Editorial Universidad. México D.F. Pp. 43 – 122.
- Barrios, A. V., y Guerrero, E. R.** 1998. "Los desafíos del beneficiado húmedo del café en Centroamérica". Área de Pos cosecha, Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ, Guatemala).
- Biogás.**1985. Parte I. Energía, Pp 4-18.
- Cecotti L. Coralli F. y Riegelhaupt** 2010. Bioenergía, biocombustibles de la agricultura en México. Pág. 6.
- CENICAFE** 1996. Beneficio Ecológico del Café, "Una opción rentable" Chinchiná. Programa de pos cosecha. Colombia.
- CEPAL** (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2007. Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina. Razo c., Astete-Miller, s., Saucedo, A., Ludeña, C.
- CEPAL** 2008b. Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe. Coviello, M.F., Gómez, J.J., Razo, C., Rodríguez, A.
- CEPAL Y FAO** (2007). "oportunidades y riesgos del uso de la bioenergía para la seguridad alimentaria en américa latina y el caribe" documento de trabajo conjunto CEPAL – FAO. 11-11-2008.
- Cerpa M.G** 2003. Producción del etanol anhidro como aditivo para la gasolina a partir de la caña de azúcar de la región del río Huallaga Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias, Dpto. de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Valladolid, España.

Coralli 2010. Bioenergía, biocombustible y sostenibilidad de la agricultura en México. México. D.F. Pp. 9-26.

Cuadernos Estadísticos producción alcohólica en México. INEGI. Censos Agropecuarios 2007.

Cueva García J. E 2001. Instalación de una planta productora de alcohol a partir de la caña de azúcar en la provincia de guayas para el uso en vehículos. Tesis de grado en economía con la mención en gestión empresarial especialización en finanzas. Ecuador.

Dufey A. 2006. Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, Londres.

El café chiapaneco. Breve reseña histórica de su introducción al estado. Compilado, primer simposium del café-Soconusco Chiapas. 2001.

Elías L.G. 1978. Composición química de la pulpa del café y otros subproductos. División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Guatemala, Guatemala.

Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07011a>.

Economíaunam vol. 6 núm. 16. La industria de etanol en México.

<http://www.ejournal.unam.mx/ecu/ecunam16/EJU001600606.pdf>

FAO 2008. El cambio climático, el agua y la seguridad alimentaria. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación

Ferrari 2009. México después del petróleo. Presentación para la IV reunión nacional de la red mexicana de bioenergía A. C. 26 al 29 de octubre, Querétaro, México.

FNC – Cenicafe – 2009. (Centro nacional de investigación de café, federación nacional de cafetaleros de Colombia)

- García J.M. y García J.A.** (2006). Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. Informe de vigilancia tecnológica. Circulo de innovación en tecnologías medioambientales y energía.
- Gazzoni D.L.** 2009. Biocombustibles y alimentos en América latina y el Caribe. San José, C.R. IICA. GOBIERNO, FEDERAL, SAGARPA, SENER, SE, SEMARNAT, SHCP. 2009. Estrategia intersectorial de los bioenergéticos. México 2009.
- Gómez L. y Nicolás J.** (2006) Tesis de Licenciatura. Producción de alcohol etílico a partir del mucílago de café. Universidad EARTH, Guásimo Costa Rica.
- González a. y Castañeda y.** 2008. Biocombustible, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. UAM, México 2008.
- Grisales P.A., Andrés R.L. y Triana, M.** (2005). Diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña. Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle. Bogotá Colombia.
- Hernández E.** 2008. Estudio comparativo de la legislación latinoamericana sobre biocombustibles. Servicio holandés de cooperación al desarrollo SNV. Honduras.
- Hilbert J. A.** 2008. Sustentabilidad de biocombustibles reunión preparatoria. COP 9 Vilme Alemania. INTA.
- IICA** 2009b. Agricultura de ALC: bastón ante la crisis mundial y motor para el desarrollo futuro. IICA – San José, CR.
- IICA** 2010. América latina y el Caribe. Mapeo político-institucional y análisis de la competencia entre producción de alimentos y bioenergía. San José, C.R.
- INEGI** 2006. Cuadernos estadísticos y demográficos del estado de Chiapas.
- Luis Ramiro García Chaves** 2011. Análisis de la situación actual, problemática y alternativas para la producción y uso de etanol en México. Departamento de ingeniería agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.

NOM-076-SSA1-2002, SALUD AMBIENTAL.

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/076ssa13.html>.

Rathinavelu G.; Graziosi, G. 2005. Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café (en línea). S.I., International Coffee Organization. Consultado 26 jul. 2006.

REDPA 2008, Red de coordinación de políticas agropecuarias (2008). El alza de los precios de los alimentos.

Restrepo Rivera J. 2000. Elaboración de abonos orgánicos con base en estiércol enriquecido con minerales y manejo de la nutrición y biofertilización para el cultivo del café orgánico. In Curso-taller Latinoamericano sobre Café Orgánico con énfasis en Biofertilización, Nutrición, Certificación y Situación Actual del Cultivo (2000, San José, CR). Material didáctico. Castañeda, P.; García, J. E.eds. San José, CR, Fundación AMBIO. Pp. 84.

Riegelhaupt 2010. Bioenergía, biocombustible y sostenibilidad de la agricultura en México. México, D.F. Pp. 9-26.

Rodríguez R. M. P. CORVALAN V. M. GUTIERREZ D. 2006. La utilización potencial de la biomasa como fuente de energía. Santiago de Chile. Inédito.

Salinas E. y Gasca, V. 2009. "Los biocombustibles". El Cotidiano, núm. Septiembre-Octubre, pp. 75-82.

SENER. Análisis y propuestas para la introducción de etanol anhidro en las gasolinas que comercializa Pemex, en el sitio:

<http://www.bioenergeticos.gob.mx/wp-content/uploads/2015/08/ANALISIS-Y-PROPUESTA-PARA-INTRODUCIR-ETANOL-ANHIDRO-EN-LAS-GASOLINAS-DE-MEXICO.pdf>

Grisales P.A. Andrés R.L. y Triana, M. (2005). Diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña. Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle. Bogotá Colombia.

Torres y Carrera. Consultores de comunicación. 2010. Informe biocombustibles 2010. Madrid, España.

Villalobos A. 1985. Obtención de alcohol etílico a partir de los subproductos del beneficiado de café. Proyecto de graduación Lic. Ing. Química. San José, UCR. 64 p.