

Obtención de biodiesel, a escala de laboratorio, a partir de aceites comestibles de desecho: una nueva alternativa de energía renovable

Grupo de investigación en Biotecnología.
Línea de investigación: Procesos biotecnológicos. Martha Lucía Malagón Micán•

Recibido 7 de febrero de 2012 Aceptado: 31 de octubre de 2012

RESUMEN

Se obtuvo biodiesel a partir de la transesterificación del aceite de palma usado en fritura a escala de laboratorio y se realizó un estudio de mercado en restaurantes y empresas de snacks en Bogotá, D.C., con el fin de determinar la cantidad de materia prima. Inicialmente se caracterizó el aceite de palma y luego se partió de 5.09 g, se realizó la transesterificación a 70° C y un tiempo de reacción de tres horas. La eficiencia del proceso fue de 77.80%. Posteriormente, se analizó el biodiesel por medio de la densidad cuyo valor fue de: 836.6 kg/m³, índice de acidez 0.53 mg KOH/ g muestra e índice de yodo 128.82 g I₂/100 g grasa.

De acuerdo con el estudio de mercado realizado, se tendría un total de aceites comestibles usados en Bogotá de aproximadamente 10621,47 toneladas/semana.

Palabras Clave: biocombustibles, biodiesel, aceite de palma de fritura, transesterificación.

ABSTRACT

The biodiesel was obtained from the transesterification of the palm oil used in fritter, in laboratory scale and realized a market research, in restaurants and companies of snacks in Bogotá, D.C., in order to determine the quantity of raw material. Initially the palm oil was characterized, and then it began with 5.09 g, it was realized transesterification to 70°C and the time of reaction was 3 hours. The efficiency of the process was 77.80 %. Later the biodiesel was analyzed by means of the density 836.6 Kg/m³, acidity index 0.53 mg KOH/g and iodine index 128.82 g I₂/100g fat. In agreement to the market research, it would be have approximately 10621,47 tons / week of eatable oils used in Bogotá.

KEYWORDS: Biofuels, biodiesel, palm oil of fritter, transesterification.

• Docente investigadora de la Universidad de América. Magíster en Ingeniería Química y en Docencia. Grupo de Investigación en Biotecnología. Línea de Investigación: Desarrollo de Bioprocesos.

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, el hombre ha hecho uso de la energía como herramienta para el desarrollo de los pueblos. A partir de la revolución industrial, los combustibles fósiles (derivados del petróleo), han constituido la principal fuente energética para la humanidad. Sin embargo, durante los últimos años, el panorama energético mundial ha cambiado enormemente. De una parte, las reservas petroleras se están agotando rápidamente y de otra parte, la contaminación atmosférica producto del consumo masivo de combustibles derivados del mismo, está llegando a niveles altamente preocupantes y ha impuesto serias restricciones, lo que ha obligado a los investigadores a considerar nuevas fuentes de energía que sean seguras, eficientes y, amigables con el medio ambiente. Producto de estas investigaciones surgieron los biocombustibles, los cuales pueden considerarse como sustitutos de los combustibles fósiles, a la vez que disminuyen drásticamente los niveles de contaminación.

Esta situación, aunada a la seria problemática ambiental por la que atraviesa el planeta y a las fuertes restricciones que impone la EPA (*Environmental Protection Agency*) a los nuevos combustibles, ha permitido la exploración de nuevas fuentes de energía, dando como resultado la aparición de los biocombustibles.

La presente investigación se propone desarrollar –a nivel de laboratorio– el proceso integral de obtención de biodiesel tomando como materia prima aceites de fritura de desecho provenientes de restaurantes y cocinas industriales. La reacción para convertir aceite a biodiesel es llamada transesterificación. En la transesterificación de aceites vegetales, grasas animales o grasas recicladas (de desecho), un triglicérido reacciona con un alcohol (alcoholólisis) en la presencia de un catalizador, produciendo una mezcla de alquil ésteres de ácidos grasos (biodiesel) y glicerina. El proceso global es una secuencia de tres reacciones reversibles consecutivas en la cual se forman diglicéridos y monoglicéridos como intermedios.

Dicho biodiesel obtenido a partir de una biomasa residual húmeda como es el caso de los aceites reciclados, será identificado para determinar sus características fisicoquímicas y por tanto establecer su disponibilidad para ser utilizado como tal. Como resultado de este trabajo, se diseñará el proceso básico para llevarlo a nivel de planta piloto.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación se presentan los resultados del proceso para la obtención de biodiesel por medio de la transesterificación del aceite de palma usado en fritura, a nivel de laboratorio y el estudio de mercado, en restaurantes y empresas de *snacks* en Bogotá, D.C., con el fin de determinar la cantidad de aceite usado en fritura que se genera y que puede ser utilizado para la obtención de biodiesel.

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE PALMA USADO

Para caracterizar el aceite de palma reutilizado, se realizaron los siguientes análisis: punto de fusión, índice de peróxidos y ácidos grasos libres, de acuerdo a la Guía de Química Orgánica de la Universidad de América.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Determinación del punto de fusión

De acuerdo con la Guía se siguió el procedimiento para la determinación del punto de fusión del aceite y el valor determinado en el laboratorio fue de: 38– 40 °C.

Índice de peróxidos

El índice de peróxidos es una estimación del contenido de sustancias que oxidan el ioduro potásico y se expresa en términos de miliequivalentes de oxígeno activo por kg de grasa. Se asocia con la presencia de peróxidos derivados de los ácidos grasos presentes en la muestra.

$\text{meq-g/ Kg de grasa} = \text{mL de tiosulfato} \times N \times 1000 / \text{Peso muestra}$

$\text{meq-g/ Kg de grasa} = 11.30 \text{ mL de tiosulfato} \times 0.01N \times 1000 / 5 = 22.6$

Ácidos grasos libres

Este método determina los ácidos grasos libres existentes en la muestra. Es aplicable a las grasas y aceites refinados y crudos de origen animal y vegetal.

$\% \text{ A.G.L. como palmítico} = \text{mL NaOH} \times N \times 25.6 / \text{Peso muestra}$

$\% \text{ A.G.L. como palmítico} = 48 \text{ mL NaOH} \times 0.25N \times 25.6 / 7.05 = 43.57\%$

3.2 PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

Una vez caracterizado el aceite de palma usado en fritura, se llevó a cabo el proceso de producción de Bio-

diesel, el cual se puede realizar de tres maneras:

- Transesterificación del aceite catalizada por bases.
- Transesterificación del aceite catalizada por ácidos.
- Descomposición del aceite en sus ácidos grasos y luego, obtención del biodiesel.

La mayoría del biodiesel se produce con la reacción catalizada por bases, por varias razones:

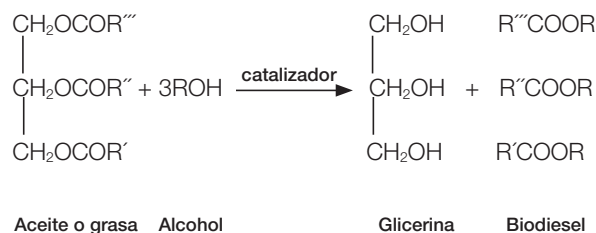
- Se utilizan presiones y temperaturas bajas.
- Tiene un alto porcentaje de conversión (98%), las reacciones secundarias son mínimas y el tiempo de reacción es muy corto.
- Es una conversión directa del aceite o grasa a biodiesel sin formación de compuestos intermedios.
- No se necesitan materiales de construcción especiales.

A nivel de laboratorio la producción de Biodiesel, se realizó mediante catálisis básica en las siguientes etapas:

- *Mezclado de alcohol y catalizador:* el catalizador utilizado fue hidróxido de potasio, el cual se disolvió en metanol usando un agitador.
- *Reacción química:* la mezcla alcohol/catalizador se cargó en un reactor cerrado y se agregó el aceite de palma usado.

Desde este momento el sistema permaneció cerrado para evitar la pérdida de alcohol. La mezcla se mantuvo a una temperatura apenas superior al punto de ebullición del metanol (alrededor de 70° C) para acelerar la reacción. El tiempo de reacción fue de tres horas. Se usó un exceso de alcohol para asegurar la total conversión del aceite en sus ésteres.

La reacción química fue la siguiente:



- *Separación:* una vez terminada la reacción, se obtuvieron dos productos principales: glicerina y biodiesel. La glicerina es mucho más densa que el biodiesel, por lo tanto las dos fases se separan por acción de la gravedad. Para acelerar la velocidad de separación se centrifugaron las muestras.
- *Eliminación del alcohol de ambas fases y posterior recuperación:* una vez que la glicerina fue separada del

biodiesel, el exceso de alcohol de cada fase fue eliminado por evaporación.

- *Lavado del Biodiesel:* una vez separado de la glicerina, el biodiesel fue purificado mediante un lavado con agua tibia para eliminar restos de catalizador y jabones, luego secado, y almacenado. El producto obtenido es un líquido claro, de color amarillo-ámbar.

Con el fin de determinar las cantidades estequiométricas que deben reaccionar se realizó el siguiente balance de materia:

Se partió de 5.09 g de aceite de palma de fritura y se calculó el metanol y el catalizador.

Cálculo de metanol:

$$5.09 \text{ g aceite} * 1 \text{ mol aceite} / 722 \text{ g aceite} * 3 \text{ moles MeOH} / 1 \text{ mol aceite} * 96 \text{ g MeOH} / 1 \text{ mol MeOH} = 2.03 \text{ g MeOH.}$$

Teniendo en cuenta que el metanol debe estar en exceso, se considera un 20%, por lo tanto:

$$2.03 * 1.20 = 2.44 \text{ g de metanol.}$$

$$2.44 \text{ g metanol} * \text{mL} / 0.7918 \text{ g MeOH} = 3.08 \text{ mL de metanol.}$$

Cálculo del catalizador:

De acuerdo a la literatura se considera la cantidad de catalizador entre 1 -2% p/p (7), entonces:

$$5.09 * 2\% = 0.10 \text{ g de KOH}$$

Los productos obtenidos son los siguientes:

Glicerina obtenida en el laboratorio:

$$0.88\text{mL} * 1.26 \text{ g} / \text{mL} = 1.11 \text{ g de glicerina cruda.}$$

$$1.11 \text{ g de glicerina cruda} / 5.09 \text{ g aceite de fritura} * 100 = 21.80\%$$

Glicerina calculada estequiométricamente:

$$5.09 \text{ g aceite} * 1 \text{ mol aceite} / 722 \text{ g aceite} * 1 \text{ mol glicerina} / 1 \text{ mol aceite} * 93 \text{ g glicerina} / 1 \text{ mol glicerina} = 0.656 \text{ g glicerina.}$$

Biodiesel crudo:

$$5.3\text{mL} * 0.86 \text{ g} / \text{mL} = 4.56 \text{ g de biodiesel crudo}$$

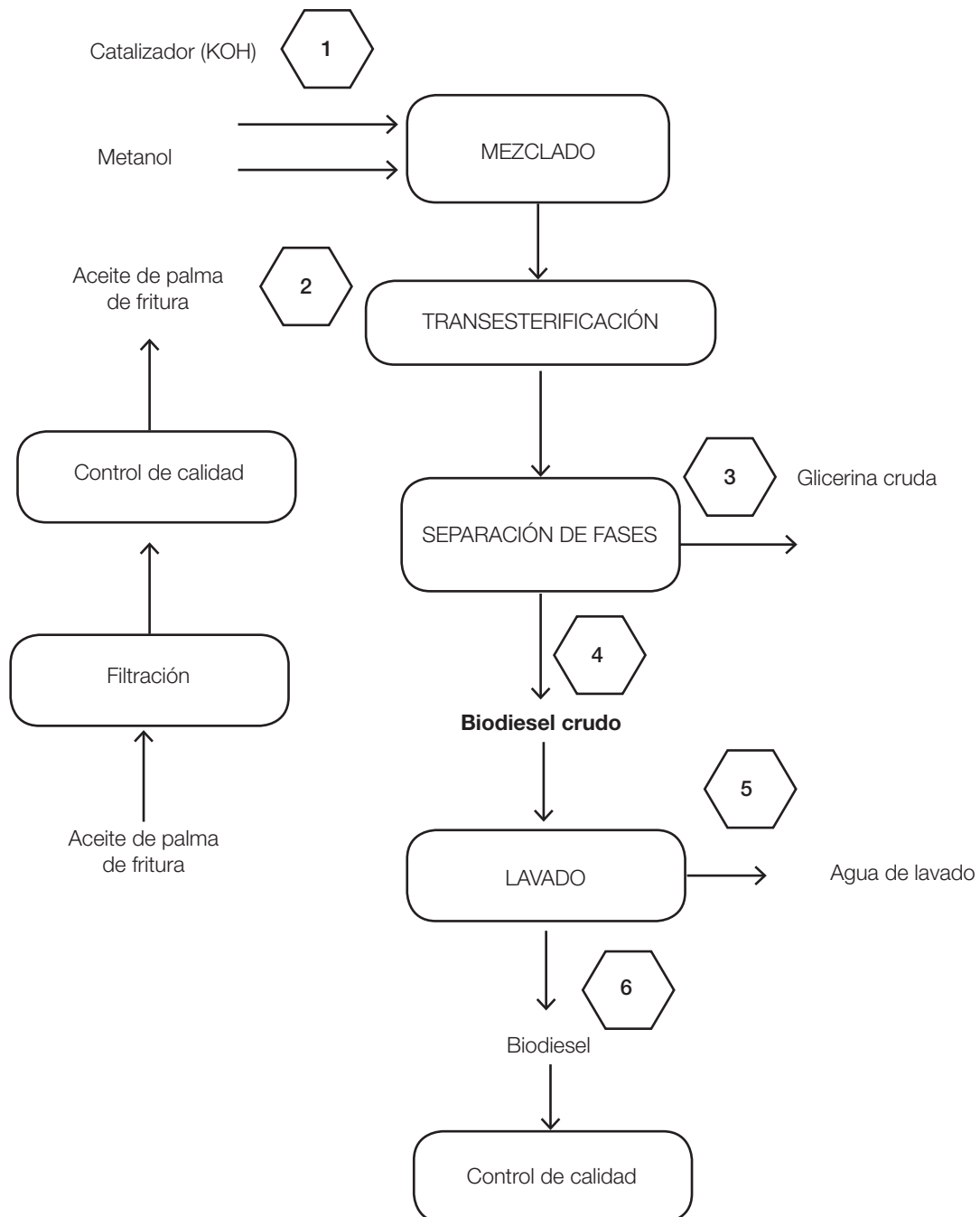
Biodiesel lavado:

$$4.6 \text{ mL} * 0.86 \text{ g} / \text{mL} = 3.96 \text{ g de biodiesel lavado.}$$

$$\text{Eficiencia del proceso} = 3.96 \text{ g biodiesel} / 5.09 \text{ g aceite fritura} * 100 = 77.80\%.$$

En el siguiente diagrama se presentan las etapas seguidas para la obtención de biodiesel.

Obtención de Biodiesel



Fuente: La autora

En la siguiente tabla se muestra el balance de materia para cada una de las corrientes presentadas en el diagrama.

Tabla 1. Balance de materia en el proceso de obtención de biodiesel.

CORRIENTES	1	2	3	4	5	6
Aceite de palma de fritura (g)		5.09				
Metanol (g)	2.44					
KOH (g)	0.10					
Biodiesel crudo (g)				4.56	0.58	
Glicerina cruda (g)			1.11			
Agua de lavado (g)					2.00	Trazas
Biodiesel (g)						3.96
Total	2.54	5.09	1.11	4.56	2.58	3.96

Fuente: La autora

4. CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL

Al biodiesel obtenido se le realizó la siguiente caracterización: determinación de densidad, índice de acidez e índice de yodo.

Determinación de la densidad:

Se determinó la densidad por el método del picnómetro.

Peso picnómetro vacío: 19.6516 g

Peso picnómetro con Biodiesel: 40.5647 g

Peso picnómetro con agua: 45.2437 g

Volumen del picnómetro: 25 mL

Densidad del agua = $(45.2437 \text{ g} - 19.6516 \text{ g}) / 25 \text{ mL} = 1.0237 \text{ g/mL}$

Densidad del Biodiesel = $(40.5647 \text{ g} - 19.6516 \text{ g}) / 25 \text{ mL} = 0.8366 \text{ g/mL}$

Densidad relativa del Biodiesel = $0.8366 \text{ g/mL} / 1.0237 \text{ g/mL} = 0.8172$

Índice de acidez (IA)

El IA se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa.

$$IA = \text{mL KOH} \times N \times 0.0561 / \text{peso muestra}$$

$$IA = 95 \text{ mL KOH} \times 0.1 \times 0.0561 / 1 = 0.53 \text{ mg KOH/g}$$

Índice de yodo

Es la medida de la insaturación de las grasas y aceites y se expresa como porcentaje de yodo absorbido por un gramo de muestra.

$$\text{Índice de yodo} = (B - M) \times N \times 12.69 / \text{Peso muestra}$$

Donde: B = Titulación del blanco

M = Titulación de la muestra

N = Normalidad de la solución de tiosulfato

$$\text{Índice de yodo} = (132.4 - 65.4) \times 0.1 \times 12.69 / 0.66 \text{ g} = 128.82 \text{ g I}_2/100\text{g grasa.}$$

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la caracterización del aceite de palma usado y del producto obtenido, se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Caracterización del aceite de palma usado en fritura

CARACTERÍSTICAS	LABORATORIO	VALOR DE REFERENCIA
Punto de fusión	38–39 °C	34 – 40° C
		http://www.indupalma.com/contenido/contenido.aspx?conID=39&catID=12&pagID=16
Índice de peróxidos	22.6 meq/kg	
Ácidos grasos libres	43.57%	42.5%

Fuente: La autora

Como se puede observar en la Tabla 2, el punto de fusión del aceite de palma usado en fritura determinado en el laboratorio, está dentro del intervalo reportado para el aceite fresco; el alto índice de peróxidos, es debido al deterioro que sufre el aceite por reacciones de oxidación, al ser sometido a altas temperaturas varias veces y el porcentaje de ácidos grasos libres determinados como palmítico en el laboratorio corresponden a los reportados para el aceite de palma, antes de la fritura (12).

El aumento de temperatura en el aceite de fritura conlleva a procesos químicos y enzimáticos, lo cual ocasiona la degradación del aceite, puede ocurrir una hidrólisis por la presencia de agua y humedad que provoca la ruptura del enlace éster de los triglicéridos, los que se descomponen en mono y diglicéridos y aparecen ácidos grasos libres.

Se observa que la densidad es menor a la reportada, en un 2.7%, debido posiblemente a que el biodiesel de esta experimentación es obtenido a partir de aceite de palma empleado en fritura, pero está dentro de la Norma EN ISO 12185, la cual considera una densidad 0.820 – 0.845 g/cm³ para diesel, el índice de acidez es aproximado al reportado por las Normas Europeas, lo cual indica que no habrá corrosión en los equipos de inyección por esta causa y el índice de yodo está por encima del dado por la norma, que puede generar un biodiesel más inestable a la oxidación y su tiempo de almacenamiento será menor.

6. ESTUDIO DE MERCADO

De acuerdo con la encuesta propuesta (Anexo 1), para el estudio de mercados en el sector de los aceites comestibles, a continuación se presentan los resultados.

Tabla 3. Caracterización del biodiesel obtenido en el laboratorio

CARACTERÍSTICAS		NORMAS
Densidad	836.6 kg/m ³	860 – 900 kg/m ³ EN ISO 3675
Índice de acidez	0.53 mg KOH/ g muestra	máx. 0.5 mg KOH/g muestra Normas españolas UNE-EN.
Índice de lodo	128.82 g l/100g grasa.	máx. 120 Normas españolas UNE-EN.

Fuente: La autora

La encuesta se efectuó en empresas de snacks y en restaurantes de Bogotá, D.C., se tomó una muestra representativa. De esta manera, se indagó por el número de empresas y de restaurantes que utilizan aceites comestibles.

También se consultaron los proveedores de Aceites y Grasas Comestibles, algunos de los cuales distribuyen a nivel nacional y otros a nivel local. Dichas empresas son: Grasco, Team S.A., Duquesa S.A, Unilever, Gradesa, Indalpro, Indupalma, Integrasas Ltda., Lloreda Grasas Línea Institucional, Lloreda S.A., Oleoflores Ltda., Petro Canadá, Petro Canadá - Inversiones Caluna, Sigra S.A., Veygrasas Ltda.

Existen aproximadamente ocho empresas grandes dedicadas a la producción de pasabocas o *snacks* (productos del proceso de fritura como papa, yuca y plátano,

principalmente), 19 empresas consideradas como medianas y 42 empresas pequeñas.

Por datos suministrados por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, se tomó como muestra cuatro industrias grandes de *snacks* y se seleccionaron cinco empresas medianas y seis empresas pequeñas, para realizar las encuestas. A cada empresa se le asignó un código, con el fin de mantener la reserva en la información.

Los datos suministrados fueron confrontados con uno de los informes publicados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Observatorio Agrociudades Colombia) y por la información de FEDEPAPA.

En la Tabla 4 se presentan datos con respecto a los tipos de aceites comestibles que emplean las empresas de *snacks*.

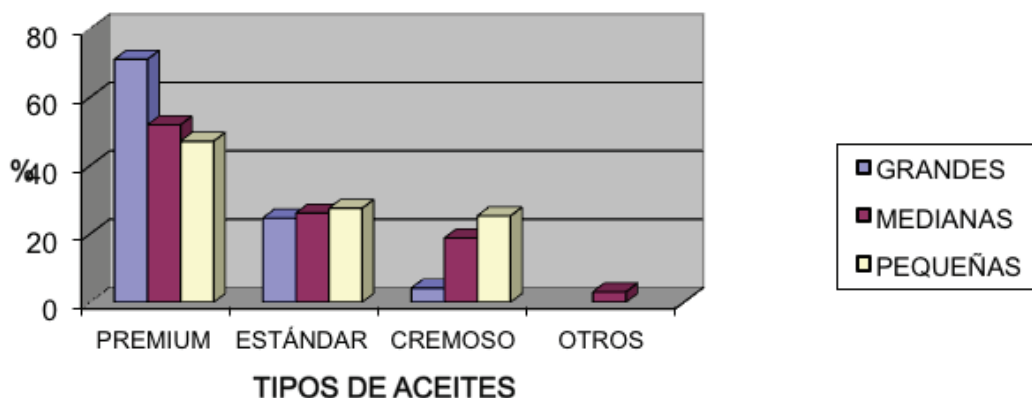
Tabla 4. Aceites comestibles utilizados por empresas de Snacks en Bogotá

EMPRESAS DE SNACKS		PREMIUM (%)	ESTÁNDAR (%)	CREMOSO (%)	OTROS(%)
	1	72,5	25,0	2,5	
GRANDES	2	70,0	24,7	5,3	
	3	68,8	23,0	8,2	
	4	73,2	26,0	0,8	
	1	52,3	26,0	20,0	1,7
	2	50,1	25,3	18,2	6,4
MEDIANAS	3	49,7	26,8	17,9	5,6
	4	53,6	27,4	18,0	1,0
	5	54,0	25,2	20,1	0,7
	1	47,2	27,4	25,4	
	2	46,3	27,0	26,7	
PEQUEÑAS	3	45,0	28,7	26,3	
	4	48,1	29,1	22,8	
	5	49,0	27,0	24,0	
	6	47,3	26,0	26,7	

Fuente: La autora

Como se observa en la Tabla anterior y en la Figura 1, las empresas de *snacks* en general utilizan en mayor proporción aceite Premium, en un 25% aceite estándar y en industrias grandes, se utiliza en menor proporción aceite cremoso (aceite de palma). En las empresas de snacks medianas y pequeñas se utiliza una proporción de cerca del 20% de aceite cremoso y en empresas pequeñas se usan otros tipos de aceites en baja proporción.

Figura 1. ACEITES UTILIZADOS POR EMPRESAS DE SNACKS EN BOGOTÁ, D.C.



Fuente: La autora

Para el caso de los restaurantes, en Bogotá existen aproximadamente 82 considerados como grandes, tomando como base un consumo de aceite mayor a 30 litros/día, 401 restaurantes medianos, con un consumo entre 10-30 litros/ día y aproximadamente 1700 restaurantes pequeños con menos de 10 litros/ día de consumo.

Se tomaron como muestras cuatro restaurantes grandes, cinco medianos y seis pequeños, considerados los más representativos.

Al igual que para las empresas de *snacks*, se asignaron códigos a los restaurantes encuestados.

Para los restaurantes, en la Tabla 5 y en la Figura 2, se muestran los datos relacionados con los tipos de aceites comestibles utilizados.

Tabla 5. Aceites comestibles utilizados por restaurantes en Bogotá

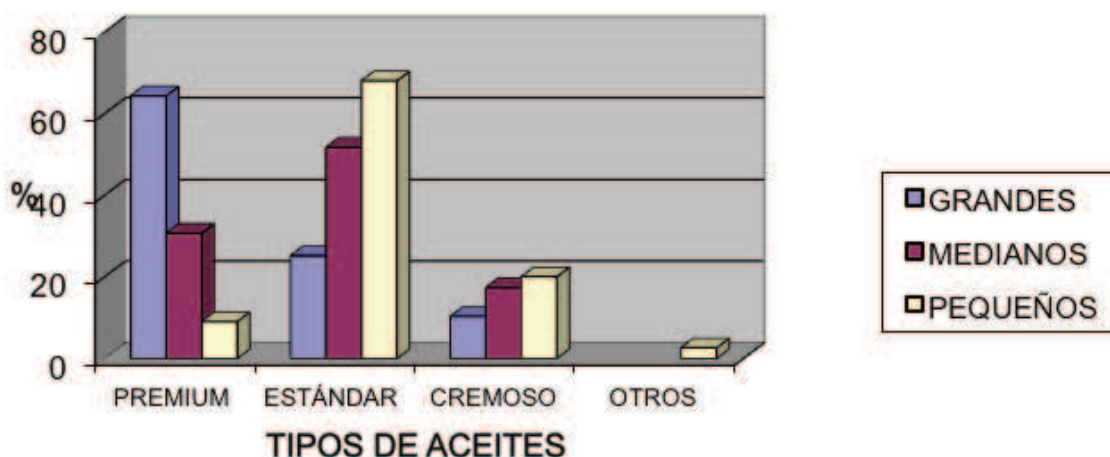
RESTAURANTES		PREMIUM (%)	ESTÁNDAR (%)	CREMOSO (%)	OTROS(%)
	1	70,0	30,0		
GRANDES	2	65,0	20,5	14,5	
	3	50,3	26,0	23,7	
	4	72,4	24,4	3,2	
	1	35,9	55,2	8,9	
	2	30,0	57,3	12,7	
MEDIANOS	3	28,6	45,0	5,3	
	4	27,3	43,0	3,5	
	5	32,0	58,6	2,4	
	1	9,7	63,0	25,2	2,1
	2	10,0	67,4	19,2	3,4
PEQUEÑOS	3	6,5	70,5	22,0	1,0
	4	8,4	72,4	16,7	2,5
	5	11,0	64,2	20,5	4,3
	6	9,1	71,3	16,9	2,7

Fuente: La autora

Como se puede observar los grandes restaurantes utilizan aceites tipo Premium en mayor proporción, los restaurantes medianos y pequeños usan en su mayoría aceites tipo estándar y en una proporción de aproximadamente el 20% los restaurantes pequeños utilizan aceite cremoso y en un 2,7% utilizan otros tipos de aceites.

En la Tabla 6 se presentan los resultados reportados por las empresas de snacks en Bogotá, en donde se observa que el factor de reuso para el aceite en empresas grandes es de tres, esto quiere decir que el aceite es recirculado o reutilizado este número de veces. Para las empresas medianas el factor de reuso es en promedio de 4,2 y para las pequeñas es en promedio de 4,7.

Figura 2. ACEITES UTILIZADOS EN RESTAURANTES DE BOGOTÁ, D.C.



Fuente: La autora

Tabla 6. Aceites comestibles de desecho en empresas de *snacks* en Bogotá

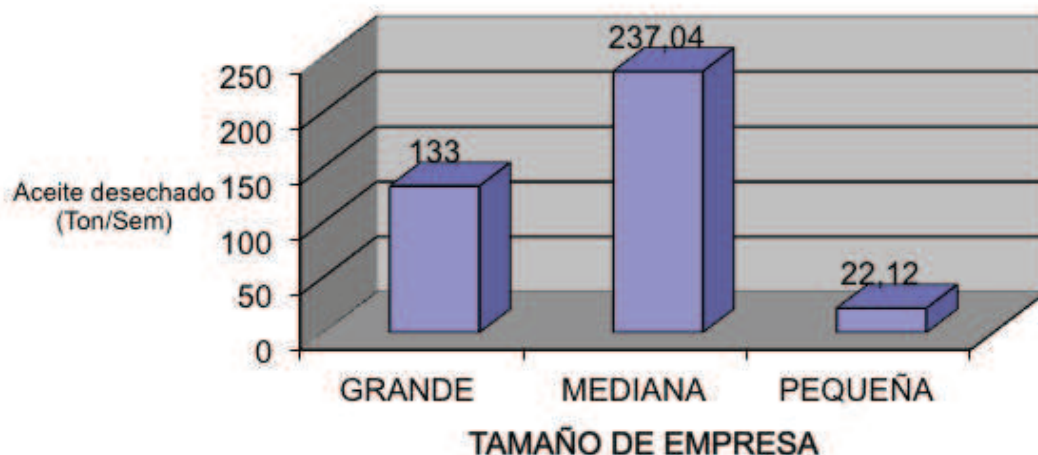
EMPRESAS DE SNACKS	FACTOR DE REUSO	ACEITE DE DESECHO (Ton/sem)	PRECIO (\$/L)
GRANDES	1	3	130,0
	2	3	134,3
	3	3	140,7
	4	3	127,0
MEDIANAS	1	4	232,6
	2	3	235,0
	3	4	250,0
	4	4	228,4
	5	3	239,2
PEQUEÑAS	1	4	18,5
	2	6	19,7
	3	4	25,0
	4	6	23,8
	5	4	22,4
	6	4	23,3

Fuente: La autora

El precio de un litro de aceite de desecho, es decir aquel que ya cumplió su vida útil, se muestra en la Tabla 3, el cual oscila entre \$120 -\$200/L.

En la Figura 3 se presentan las cantidades promedio de aceites comestibles, que desechan las empresas de *snacks*.

Figura 3. ACEITE DE DESECHO EN EMPRESAS DE SNACKS



Fuente: La autora

En la Tabla 7 se muestran los resultados para la muestra de los restaurantes, en donde se observa que el factor de reuso es en promedio de 3,75, para restaurantes grandes, de 5 en promedio para restaurantes medianos y de 6,33 para restaurantes pequeños.

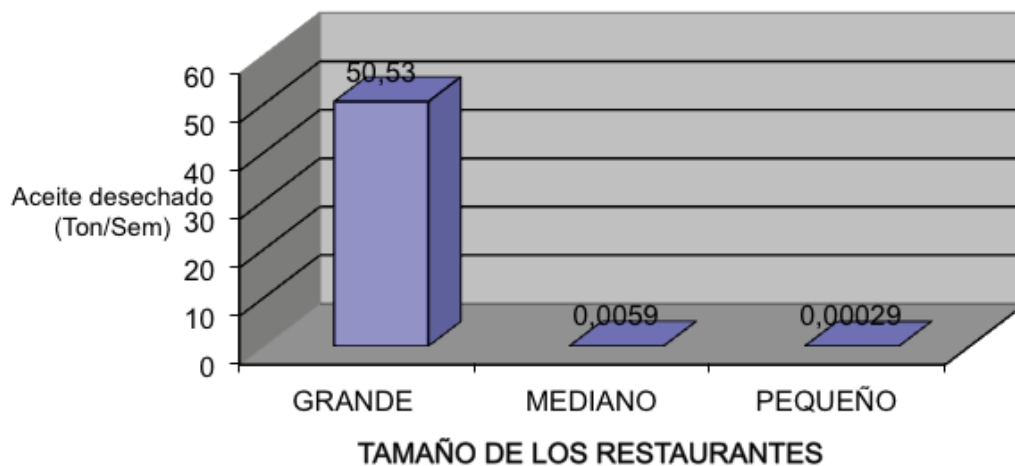
Tabla 7. Aceites comestibles de desecho en restaurantes de Bogotá

RESTAURANTES	FACTOR DE REUSO	ACEITE DE DESECHO (Ton/sem)	PRECIO (\$/L)	
	1	4	50,0	200
GRANDES	2	3	51,5	180
	3	4	48,6	200
	4	4	52,0	170
	1	5	0,0060	120
	2	4	0,0057	110
MEDIANOS	3	6	0,0061	100
	4	5	0,0058	0
	5	5	0,0059	110
	1	6	0,00030	100
	2	7	0,00028	90
PEQUEÑOS	3	7	0,00029	100
	4	5	0,00031	110
	5	7	0,00030	0
	6	6	0,00027	100

Fuente: La autora

Las cantidades promedio de aceites comestibles, que se desechan en los restaurantes se presentan en la Figura 4.

Figura 4. ACEITE DE DESECHO EN RESTAURANTES



Fuente: La autora

De los datos suministrados por la encuestas se obtuvo una información adicional con respecto a la disposición del aceite usado, el distribuidor que provee los aceites y la entidad que vigila la producción de alimentos, en este caso específico el proceso de fritura. Las tablas 8 y 9 muestran estos datos.

Tabla 8. Información complementaria de las empresas de *snacks* en Bogotá

EMPRESAS DE SNACKS		DISPOSICIÓN DEL ACEITE USADO	DISTRIBUIDOR	ENTIDAD CONTROLADORA
GRANDES	1	Vende	Fabricante Directo	INVIMA
	2	Tratamiento	Fabricante Directo	Secretaría de Salud
	3	Vende	Fabricante Directo	INVIMA
	4	Vende	Fabricante Directo	INVIMA
MEDIANAS	1	Vende	Distribuidor Mayorista	INVIMA
	2	Vende	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
	3	Tratamiento	Fabricante Directo	INVIMA
	4	Desechan	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
	5	Desechan	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
PEQUEÑAS	1	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
	2	Desechan	Distribuidor Mayorista	INVIMA
	3	Desechan	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
	4	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
	5	Vende	Comerciante intermediario	INVIMA
	6	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud

Fuente: La autora

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

De la Tabla 8, se observa que las empresas grandes en su mayoría están dispuestas a vender el aceite usado y algunas empresas medianas y pequeñas lo venden y otras lo desechan.

En la Tabla 9, se presenta la información para los restaurantes.

Tabla 9. Información complementaria de los restaurantes en Bogotá

RESTAURANTES		DISPOSICIÓN DEL ACEITE USADO	DISTRIBUIDOR	ENTIDAD CONTROLADORA
	1	Vende	Fabricante Directo	INVIMA
GRANDES	2	Vende	Fabricante Directo	Secretaría de Salud
	3	Vende	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
	4	Vende	Fabricante Directo	INVIMA
	1	Vende	Distribuidor Mayorista	INVIMA
	2	Vende	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
MEDIANOS	3	Vende	Fabricante Directo	INVIMA
	4	Desechan	Fabricante Directo	Secretaría de Salud
	5	Vende	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
	1	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
	2	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
PEQUEÑOS	3	Vende	Distribuidor Mayorista	Secretaría de Salud
	4	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
	5	Desechan	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud
	6	Vende	Comerciante intermediario	Secretaría de Salud

Fuente: La autora

CONCLUSIONES

A partir de 5.09 g de aceite de palma de fritura se obtuvieron 4.6 mL de biodiesel a escala de laboratorio, con las especificaciones dadas por la norma, a excepción del índice de Yodo, que está por encima en un 7.4%.

La glicerina obtenida en el laboratorio es mayor que la calculada estequiométricamente por la reacción, lo cual indica que requiere de mayor purificación.

En el proceso de transesterificación, una eficiencia del 77.8%, indica un resultado que se puede mejorar en las etapas de separación de subproductos, teniendo en cuenta que los aspectos más importantes en la producción del biodiesel, para asegurar un correcto desempeño en el motor Diesel son: reacción de transesterificación completa, eliminación de la glicerina, del catalizador, del alcohol y ausencia de ácidos grasos libres en el producto final, para una calidad del biodiesel (B100).

En cuanto al estudio de mercado, las empresas de snacks y los restaurantes de Bogotá, D.C. utilizan diferentes tipos de aceites, de acuerdo a su actividad. Sus proveedores son fabricantes directos para las grandes empresas y para algunas medianas empresas y distri-

buidores y comerciantes intermediarios para las pequeñas empresas.

Teniendo en cuenta que la muestra de empresas de snacks grandes representan el 50% de la población, se puede calcular que se generará un total de aceite usado para desechar de 1064 toneladas/semana; para las empresas medianas la muestra es un 26,32%, por lo cual el total de la población generaría 4503,04 toneladas/semana de aceite usado. Para las pequeñas empresas, la muestra representa un 14,29% de la población y por tanto se generarían 928,62 toneladas/semana.

Haciendo una proyección similar para los grandes restaurantes, se generarán 4122,95 toneladas/semana, con un 4,88% que representa la muestra, para los de tamaño mediano, con una muestra del 1,25% se generarán 2,36 toneladas/semana y para los pequeños restaurantes, el aceite usado que sobraría sería de 0,5 toneladas/semana.

Con la proyección realizada anteriormente, se tendría un total de aceites comestibles usados en Bogotá por empresas de snacks y restaurantes de aproximada-

mente 10.621,47 toneladas/semana, lo cual indica que de acuerdo con la experimentación realizada en el laboratorio es posible obtener 2.54 millones de galones de biodiesel/semana.

El precio del aceite comestible de desecho oscila entre \$90 y \$200 el litro, aunque en los restaurantes pequeños las cantidades de aceite de desecho son muy pequeñas y generalmente se reutiliza todo.

Los resultados reportados por las encuestas fueron contrastados por FEDEPAPA, en donde se reporta que las industrias más grandes en Colombia procesan diariamente alrededor de 250 toneladas de papa, las medianas entre 60 y 150 toneladas y las pequeñas indus-

trias un promedio de 15 toneladas al día. Las industrias a nivel casero o semiindustrial procesan por su parte menos de 6 toneladas diarias. Con esta información se calculó que el aceite consumido por empresas de snacks y restaurantes en Bogotá es de aproximadamente 1.084.783,7 toneladas/semana, teniendo en cuenta que la papa frita representa un 37% de los snacks, que el mercado de Bogotá es un 14,4% del mercado nacional, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y que el porcentaje de absorción de un alimento sometido a fritura es del 35%.

Tanto empresas de snacks como restaurantes, son vigilados por la Entidad Competente, en cuanto al procesamiento de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ballesteros, I. (octubre de 2001). *Biomasa vector energético. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas* (ciemat). Madrid. Disponible en <http://www.hawaii.gov/dbedt/ert/ethanol/ethano94.htm>. [Recuperado: 18 de enero de 2012]
- Darnoko, D. & Cheryan, M. (2000). *Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 77, 1263.
- Encinar, J.M.; Gonzales, J.F.; Rodríguez, J.J. & Tejedor, A. (2002). *Biodiesel fuels from vegetable oils: transesterification of Cynara cardunculus L. oils with ethanol*. Energy & Fuels. 16, 443.
- González, D. (s.f.) *Bondades del uso de la caña de azúcar y el aceite de palma como fuentes de energía en la alimentación de cerdos*. Disponible en http://www.etsia.upm.es/fedna/grasasyaceites/estearina_palma.htm. [Recuperado: 21 de enero de 2012].
- I CENSO NACIONAL DEL CULTIVO DE PAPA. Departamento de Cundinamarca. *III separata de resultados. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
- LA INDUSTRIA PROCESADORA DE PAPA, PLÁTANO Y YUCA: EL MERCADO DE PASABOCAS (SNACKS) Y CONGELADOS EN COLOMBIA. (noviembre 2005). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrociencias Colombia. Documento de trabajo No. 86. Bogotá.
- MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. *Operaciones de Comercio Exterior*. Registro de Productores Nacionales.
- Orjuela Londoño, Á.; Leiva Lenis F.; Boyacá Mendivelso, L. A.; Rodríguez Niño, G. & Carballo Suárez, L. M. (septiembre-diciembre, 2005). *1. Estudio de la síntesis de acetato de butilo - 2. Análisis de las condiciones de equilibrio químico Ingeniería e Investigación*. Ingeniería e Investigación. 25, 3. Bogotá, D.C
- Schuchardt, U.; Serchell, R.; Vargas, R.M. (1998). *Transesterification of vegetable oils: a Review*. J. Braz. Chem. Soc., 9, 199.
- SPECIFICATION FOR BIODIESEL BLENDS B6-B20, ASTM 7467-10 (s.f.) Disponible en <http://www.biodiesel.org> [Recuperado: 16 de enero de 2012].
- Stratta, J. (2002). *Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel*. Disponible en <http://www.aupec.univalle.edu.co>. [Recuperado: 20 de enero de 2012].
- Tinau, T, F.V. *Los biocarburantes*. (2009). Centro de investigación y desarrollo en automoción. Universidad de Valladolid.
- Zapata C. D. & Arenas Castiblanco, E. (jan./apr., 2007). *Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 1. diseño y simulación de dos procesos continuos*. Dyna rev. fac. nac. Vol. 74 No. 151. Medellín.