

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO RECUPERADA DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN SU PROCESO DE COCCIÓN

Autor: Andrés Felipe Guayara Pinzón. Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Mail: andresguayara1@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación se propuso determinar las mejores condiciones experimentales para la obtención de biodiesel a partir de la grasa de pollo recuperada del proceso de cocción de los pollos horneados que se comercializan en el Megamaxi-El Condado. La transesterificación se realizó por catálisis heterogénea comparando la efectividad del óxido de calcio y de magnesio como catalizadores. La fase experimental se desarrolló con un diseño factorial 2^3 , las variables de estudio fueron: la relación molar alcohol-aceite, el tipo de catalizador y su porcentaje en peso.

Las mejores condiciones de reacción para ambos catalizadores fueron una relación molar alcohol-aceite 12:1 y un 1% de catalizador referido a la masa de grasa. Las máximas conversiones a biodiesel en los tratamientos con óxido de magnesio y de calcio fueron respectivamente del 22,17% y del 90,20%. El biocombustible obtenido bajo las mejores condiciones de operación cumplió en su totalidad con los requerimientos establecidos en la norma INEN 1489 para el Diesel No.2, el cual es utilizado en automotores a diesel.

El valor actual neto determinado para la implementación del sistema en la cadena de supermercados en Quito fue -174447,49 USD, por lo cual el proyecto en términos económicos se considera inviable; esto se debe principalmente a que el volumen de grasa disponible como materia prima es bajo lo cual resulta en un costo unitario poco competitivo en relación al precio del biodiesel.

Palabras clave: Ácidos grasos libres/ Catálisis Heterogénea/ Transesterificación/ Triglicéridos

ABSTRACT

The investigation was oriented to determine the best experimental conditions to produce biodiesel using as raw material chicken grease that was recuperated from the baking process used at Megamaxi-El Condado. The transesterification reaction compared the effectiveness of calcium and magnesium oxide as catalyts. A factorial design 2^3 was defined for the experimental face. The factors investigated were: molar proportion between methanol and oil, type of catalyst and it's weight percentage.

The best experimental conditions for both catalyts were a molar proportion methanol-oil 12:1 and 1% of catalyst referred to oil's mass. The maximum yields obtained for treatments with magnesium and calcium oxide were 22, 17% and 90, 20% respectively. Regarding the biofuel's quality; it fulfilled all the requirements establish in the standard INEN 1489 for Diesel No.2.

The net present value calculated to implement the production of biodiesel in the whole supermarket chain in Quito was -174447,49 USD. Based in this financial indicator, executing this project won't be profitable. The main reason that will lead to significant loss is that the grease volume available as raw material for the process is low generating a noncompetitive unit cost.

Key words: Transesterification/ Heterogeneous Catalysis/ Saponification/ Triglycerides

INTRODUCCIÓN:

Los combustibles fósiles han jugado un papel fundamental a lo largo de la historia supliendo las necesidades energéticas básicas del hombre. La demanda mundial de estos recursos no renovables ha incrementado significativamente generando una fuerte dependencia y excesivo consumo de los mismos al punto que cada año se utiliza una cantidad de petróleo cuatro veces superior a la que se descubre (Dinis, 2012).

Se suma a esta realidad una mayor conciencia pública sobre los impactos ambientales y los potenciales peligros a la salud producto de las emisiones generadas por la quema de estos combustibles (Dinis, 2012).

Una de las soluciones más atractivas por años ha sido el biodiésel por su sencilla elaboración y los muy buenos resultados en su utilización en motores diesel. El proceso de síntesis más empleado para su elaboración es la transesterificación; reacción en la cual los triglicéridos de un aceite vegetal o una grasa animal reaccionan con un alcohol en presencia de un catalizador para dar lugar a la formación de ésteres alquílicos (biodiésel) y glicerina como subproducto (Alba, 2011).

La transesterificación con catalizadores heterogéneos tanto ácidos como básicos se ha venido estudiando en los últimos años como una alternativa prometedora. La implementación de estos sistemas catalíticos permite simplificar los procesos de purificación, minimizar los efluentes contaminantes, reutilizar los catalizadores por tanto minimizar los costos de operación. Adicionalmente es posible la conversión de una mayor gama de sustancias grasas incluyendo aquellas que muestren una mayor degradación como es el caso del aceite de frituras o grasa animal residual (Vásquez, 2015).

Según Ramírez *et al*(2012), existen reportes que remarcan la eficiencia de la catálisis heterogénea en comparación con la homogénea, ya que se observó que para la producción de 8000 toneladas de biodiésel fue necesario emplear 88 toneladas de hidróxido de sodio, mientras que solo se requirieron 5.7 toneladas de óxido de magnesio soportado para esta producción.

La presente investigación se planteó la obtención de este biocombustible empleando transesterificación por catálisis heterogénea a partir de grasa animal. Se propuso determinar las condiciones óptimas de reacción que permitan alcanzar altos rendimientos en base a catalizadores accesibles y de bajo costo como son el óxido de calcio y de magnesio.

En relación a la materia prima, se optó por el aprovechamiento de un residuo como es la grasa proveniente del proceso de cocción de los pollos horneados comercializados en el Megamaxi del Condado, sucursal de la Corporación la Favorita ubicada en la ciudad de Quito.

La producción del biocombustible empleando grasa de pollo residual se alinea a los principios de la producción más limpia al aprovechar un subproducto útil, lo cual conlleva a múltiples ventajas tales como: la mitigación de impactos ambientales, generación de bienestar social al contar con un ambiente más sano, incremento de la competitividad por los bajos costos de la materia prima y por tanto importantes oportunidades de emprendimiento (Galeano y Guapacha, 2011).

La incorporación de un estudio de prefactibilidad en la investigación constituyó un pilar fundamental no sólo para determinar la viabilidad de implementar este sistema productivo en la cadena de supermercado en Quito sino como referencia para futuros emprendimientos al detallar la estructura de costos asociados a la implementación de estos

sistema y los principales indicadores económicos que deben ser utilizados para su evaluación.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

Estudiar la pre-factibilidad del proceso de obtención biodiesel a partir de la grasa de pollo recuperada de los residuos generados en su proceso de cocción.

Objetivos Específicos:

- Evaluar la calidad de la materia prima mediante la determinación de los índices de acidez, saponificación, peróxidos y el perfil lipídico para establecer los pre-tratamientos necesarios en el proceso.
- Determinar la efectividad del óxido de calcio y de magnesio como catalizadores en la transesterificación de la grasa de pollo residual en base al rendimiento del proceso y las condiciones óptimas de reacción.
- Evaluar el biodiesel resultante mediante los parámetros establecidos en la norma INEN 2482 para establecer la calidad del mismo.
- Realizar un estudio económico preliminar del proceso para conocer su potencial como emprendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño Experimental:

Las variables de estudio seleccionadas para la transesterificación fueron: la relación molar metanol-aceite, tipo de catalizador y su porcentaje en peso. Se eligieron dos niveles de prueba por cada factor (tabla 1) lo cual permitió establecer un diseño factorial 2^3 que comprendió

la realización de ocho tratamientos combinando aleatoriamente los niveles asignados a las variables. Se realizó una repetición para generando así un total de 16 corridas.

Tabla 1: Descripción de variables y sus niveles

Variables de Estudio	Notación	Nivel 1	Nivel 2
Relación molar Alcohol: Aceite	RMAC	6 :1	12 :1
Porcentaje en peso del Catalizador	PPC	1	2
Tipo de Catalizador	TC	MgO	CaO

Elaborado por: Guayara, 2016

Las variables controladas fueron una temperatura de $60^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, un tiempo de reacción de 180 minutos y una agitación de 1200 RPM. Se eligió como variable de respuesta al rendimiento de la reacción, el cual se calculo en base al volumen de biodiesel obtenido por tratamiento tras su respectiva purificación.

El proceso experimental constó de cuatro fases: muestreo, caracterización de la materia prima, pre-tratamiento de reactivos y la elaboración de biodiesel con su respectiva caracterización. Se debe aclarar que todas las sustancias químicas empleadas en cada una de las fases fueron de grado reactivo.

Etapa de Muestreo

El proceso de muestreo se realizó de manera mensual durante el período de marzo a mayo. En promedio se recolectó cuatro litros por muestra, mismos que eran tomados directamente de las bandejas internas del horno al culminarse un lote de pollos horneados. El contenido era vertido en un recipiente plástico mediante el uso de un

embudo y posteriormente era transportado al Laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK para ensayos ulteriores.

Caracterización de la grasa residual:

La caracterización de la materia prima permitió determinar la idoneidad de la grasa para el proceso de transesterificación. La tabla 2 resume los ensayos que fueron efectuados y las normas seguidas para la realización de cada uno.

Tabla 2: Ensayos de caracterización

Ensayo	Norma
Índice de Saponificación	INEN 40
Índice de peróxido	INEN 277
Índice de Acidez	INEN 38
Perfil Lipídico	AOAC 996.06

Elaborado por: Guayara, 2016

Pretratamiento de los reactivos:

a) Pretratamiento de la grasa de pollo:

El contenido de ácidos grasos libres fue el criterio para la selección del pretratamiento. A valores iguales o mayores al 3% en masa se debe realizar su esterificación. Considerando que el índice de acidez obtenido fue inferior (0,1%) no fue necesaria la implementación de este tratamiento. El acondicionamiento de la materia prima se limitó sólo a su filtración al vacío.

b) Activación del Catalizador:

Se realizó la calcinación de los óxidos en una mufla a 550°C durante cuatro horas para incrementar su pureza (Albis et al 2005). En orden de evitar la inactivación de los centros activos se procedió a su protección mediante su mezcla a 1200RPM con metanol a 50°C en

condiciones de reflujo por 30 minutos de acuerdo a las proporciones estequiométricas establecidas en cada tratamiento.

Producción de biodiesel a escala de laboratorio.

La transesterificación se llevo a cabo en un reactor discontinuo conformado por un balón de tres bocas de 500 mL conectado a un condensador de reflujo. La temperatura se monitoreo con un termómetro digital acoplado a una de las bocas laterales del recipiente. La tercera boca sirvió para alimentar los reactivos al equipo.

El sistema de calefacción se conformó por una plancha de calentamiento con sistema de agitación magnético. Se dispuso un recipiente de vidrio sobre la plancha, en el cual reposó el reactor y cuya función fue garantizar el uniforme calentamiento del balón por medio de baño maría.

La reacción tomó lugar al añadir la grasa de pollo pre tratada al equipo por medio de un embudo. Una vez cerrado el reactor, se abrió el suministro de agua de refrigeración para el condensador y se fijó la temperatura a 60°C. Se controló la duración del proceso mediante un cronómetro.

Purificación de subproductos:

La purificación constó de tres etapas: destilación, decantación y filtración. A través de la destilación se recuperó el metanol en exceso. El contenido del balón se trasvasó a un embudo de decantación donde reposo por 24 horas. Luego de este período, se distinguió una fase pesada correspondiente a la glicerina, una intermedia en donde encontraba suspendido el catalizador y una ligera de biodiesel. Las fases obtenidas se filtraron al vacío.

Caracterización del biodiesel obtenido:

La tabla 3 detalla los ensayos que fueron desarrollados para la evaluación del biodiesel obtenido bajo las mejores condiciones de reacción.

Tabla 3: Ensayos de Caracterización Biodiesel

Ensayo	Unidades
Punto de Inflamación	°C
Sedimentos Básicos y Agua	%
Azufre	%
Corrosión a la Lámina de Cobre	-
Índice de Cetano	-
Ensayo de destilación: temperatura al 90%	°C
Densidad a 15°C	Kg/m ³
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s

Elaborado por: Guayara, 2016

RESULTADOS

Caracterización Grasa Residual:

El perfil lipídico de la grasa reveló que priman en un 54,20% los ácidos grasos mono insaturados, principalmente el ácido oléico con una concentración del 45,55%. Los ácidos grasos saturados constituyen el 31,94% de la muestra, siendo el ácido palmítico el preponderante de esta clasificación con un 24,95%. En menor proporción se encuentran los ácidos grasos poli insaturados con un 13,68%. Se debe destacar un índice de acidez de apenas el 0,1% lo que indica niveles mínimos de ácidos grasos libres.

El índice de saponificación permite estimar de manera indirecta el contenido de triglicéridos de una muestra. El valor promedio obtenido (309,74 mg KOH/g de grasa) es alto por lo cual la materia prima empleada es idónea para la realización del proceso. Se debe puntualizar que este valor también es un referente de la producción de jabón que pudiese generarse si las

condiciones de reacción no fuesen adecuadas.

Los ensayos determinaron que el índice de peróxido promedio fue de 99,33 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra, este valor se encuentra casi veinte veces por arriba del límite superior establecido para el rango de aceites y grasas vírgenes el cual va de 0-5 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra. En base a este alto valor se puede esperar una pobre estabilidad oxidativa en el biodiesel resultante.

Tratamientos con Oxido de Calcio:

En la totalidad de experimentos planteados con este catalizador se generó la transesterificación. El rendimiento máximo obtenido fue de 90,23% y el mínimo de 13,41%.

La figura 1 evidencia claramente una mayor efectividad con una relación molar alcohol-aceite de 12:1 mostrando en todos los casos rendimientos sobre el 50%. El uso del 1% en peso de catalizador generó rendimientos mayores respecto al valor superior asignado a esta variable.

El contenido de jabón fue un subproducto no deseado detectado en todos los ensayos. El valor máximo registrado fue de 29,99 g y el mínimo de 4,69 g correspondientes a los tratamientos T9 y T13. Se debe acotar que los experimentos descritos coinciden respectivamente con aquellos que presentaron el menor y mayor rendimiento de biodiesel lo cual es congruente puesto que lo que no se transesterifica tiende a saponificarse.

En relación a los otros subproductos, se obtuvo un máximo de glicerina de 38,0 mL y un mínimo de 14,00 mL. La tasa promedio de recuperación de metanol fue de 55,15% siendo la del tratamiento de mayor rendimiento de 59,34%. La medición del catalizador gastado se realizó por

diferencia de peso tras la filtración. Se obtuvo en el ensayo T13 un valor de 0,80g de catalizador en base húmeda representando el 50% de la cantidad dosificada en el proceso.

Tratamientos con Oxido de Magnesio:

Los experimentos con óxido de magnesio demostraron que a pesar de producir biodiesel en todos los ensayos la efectividad del proceso tiende a ser baja. El mayor rendimiento registrado fue de 22,17% y el menor de 2,37% correspondientes a los tratamientos T10 y T3 respectivamente.

La figura 2 indica que todos los procesos llevados a cabo con una relación molar alcohol-aceite 6:1 obtuvieron rendimientos menores al 5%. Igualmente se aprecia que los ensayos que emplearon un 1% en peso de catalizador indistintamente de la RMAC obtuvieron mejores resultados con relación aquellos realizados con un 2% cuyos rendimientos no sobrepasaron el 11,34%.

La grasa sin reaccionar causada por la baja conversión del proceso fue el principal subproducto no deseado. Su volumen máximo fue de 138 mL y el mínimo de 80 mL. En cuanto a los otros subproductos, se registró una tasa de recuperación de metanol del 45,90%. La glicerina obtenida estaba dentro del rango de 1,20 a 17,00 mL. Los valores sobre el catalizador gastado en base húmeda presentaron un máximo de 21,66 g y un mínimo de 6,28g.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico contempló la determinación de los intervalos de confianza para el rendimiento de la reacción respecto a

cada variable de estudio, así como un análisis de la varianza (ANOVA). Los análisis fueron efectuados utilizando el programa estadístico *Statgraphics Centurion* presentando un nivel de confianza del 95,0%. La tabla 4 resume los resultados obtenidos:

Tabla 4: Límites de confianza de los tratamientos

Tipo de Catalizador	Factor	Nivel	Rendimiento de la Reacción (%)	
			Límite Inferior	Limite Superior
CaO	RMAC	6	22,91	57,27
		12	64,03	98,39
	PPC	1	59,00	96,36
		2	27,94	62,3
MgO	RMAC	6	0,00	7,03
		12	12,07	20,41
	PPC	1	8,25	16,60
		2	2,50	10,85

Elaborado por: Guayara, 2016

En base a los límites de confianza se evidencia que las mejores condiciones de transesterificación con ambos catalizadores fueron una relación molar alcohol-aceite de 12:1 y un 1% de catalizador.

En el caso de los tratamientos con óxido de calcio, los límites inferiores calculados para el rendimiento de la reacción en cada uno de los niveles óptimos sobrepasan el 58% y los superiores son mayores al 96%. Por otro lado, los ensayos realizados con óxido de magnesio reflejaron una baja efectividad puesto que ninguno de sus límites superiores sobrepasa el 20% de rendimiento.

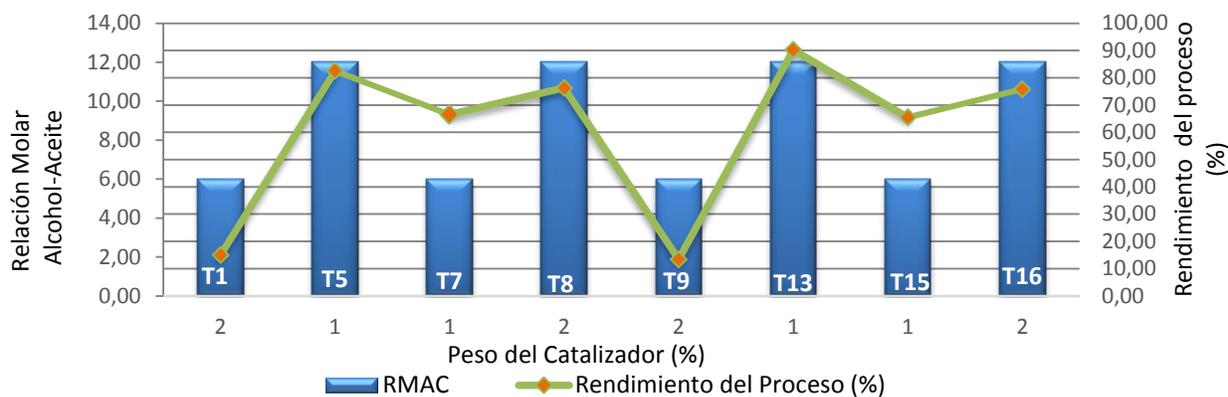


Figura 1: Rendimiento de los tratamientos con CaO. Elaborado por: Guayara, 2016

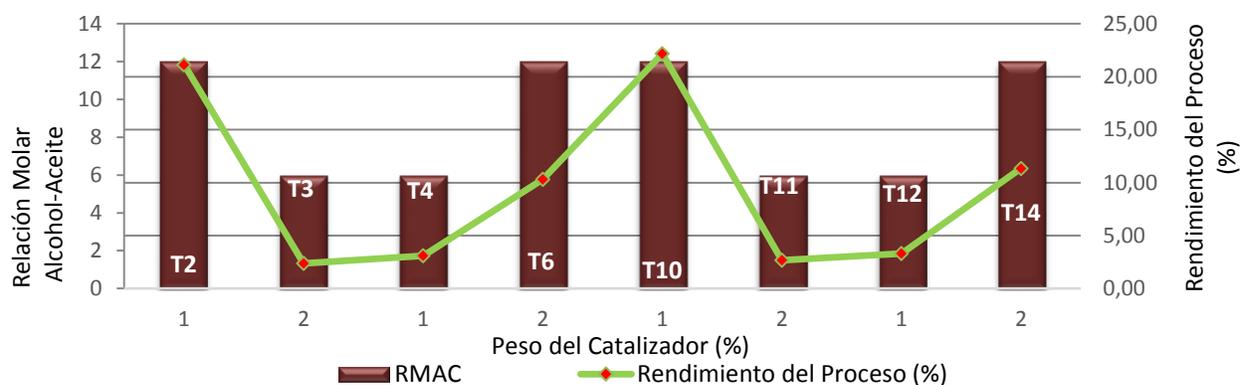


Figura 2: Rendimiento de los tratamientos con MgO. Elaborado por: Guayara, 2016

Caracterización del biodiesel resultante:

La tabla 5 indica los parámetros evaluados en el biodiesel obtenido bajo las mejores condiciones de operación, las cuales fueron una RMAC 12:1 y un 1% de óxido de calcio como catalizador.

PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

Una vez completada la fase experimental se procedió a realizar un estudio económico preliminar; el cual sirvió para evaluar si era viable la implementación de este sistema productivo en la cadena de supermercados de la Corporación la Favorita situados en Quito.

Tabla 5: Caracterización del biodiesel obtenido

Parámetros	Unidad	Valor Obtenido
Densidad a 15°C	Kg/m ³	825
Punto de Inflamación	°C	63
Corrosión lámina de cobre	-	1A
Temperatura de destilación al 90%recuperado	°C	337
Viscosidad Cinemática a40°C	mm ² /s	3,848
Índice de Cetano	-	48,3
Agua y sedimentos	%	<0,05
Contenido de azufre	%	0,023

Elaborado por: Guayara, 2016

Producción estimada de los supermercados:

La capacidad productiva de los supermercados se calculó en base a los datos obtenidos en la fase experimental y a la producción estimada de grasa residual del Megamaxi-El Condado. Se estableció como rendimiento del proceso un 82,50% correspondiente al valor promedio obtenido bajo las mejores condiciones de reacción. La tabla 6 resume la producción esperada tanto mensual como anualmente.

Tabla 6: Capacidad Productiva Supermercados

Capacidad Productiva Supermaxi - Megamaxi en Quito (20 locales)		Unidades
Producción de Grasa de Pollo Residual	1260,00	L/mes
Producción de Grasa de Pollo Residual	1094,94	Kg/mes
Producción de Biodiesel	903,33	Kg/mes
Producción de Glicerina	158,99	Kg/mes
Producción de Biodiesel	1094,94	L/mes
Producción de Glicerina	126,18	L/mes
Producción Anual de Grasa de Pollo Residual	15120	L/año
Producción de Biodiesel	13139,28	L/año
Producción de Glicerina	1514,15	L/año

Elaborado por: Guayara, 2016

Inversión total del proyecto:

La tabla 7 detalla la inversión requerida para la implementación del sistema.

Tabla 7: Inversión Total

Concepto	Valor Total (\$)
Convertidor de Biodiesel ECO125	8871,12
Tanques Almacenamiento Grasa	1574,65
Tanques de Almacenamiento Metanol	1195,56
Tanque Almacenamiento de Biodiesel	675,22
Tanque de Almacenamiento de Glicerina	200,00
Escritorio	150,00
Computador	800,00
Archivadores	175,00
Sillas	60,00
TOTAL	13701,55

Elaborado por: Guayara, 2016

Costos Anuales de Producción:

El procesamiento de la grasa residual se estructuró en lotes diarios de 63L. Los costos variables anuales proyectados serían de \$36621,96. Este valor cubre los gastos en reactivos e insumos tales como: metanol, óxido de calcio, energía eléctrica y consumo de agua.

La tabla 8 detalla los costos fijos considerados para la operación. Se debe puntualizar que se tomo como tiempo de depreciación un período de 5 años. Los costos de producción anuales serían de 66571,57; lo cual supone un costo unitario de \$4,40/L grasa procesada.

Tabla 8: Costos Fijos Proyectados Calculo del

Costos Fijos	Concepto	Costo Anual (\$/año)
Fuerza de Trabajo	Secretaria	6369,77
	Operadores 1	6369,77
	Operador 2	6369,77
Instalaciones	Arriendo	8100,00
Depreciación Equipos	Convertidor de Biodiesel ECO125	1774,22
	Tanques Almacenamiento	729,08
Depreciación Accesorios y Equipos de Oficina	Escritorio	30,00
	Computador	160,00
	Archivadores	35,00
	Sillas	12,00
TOTAL COSTOS FIJOS		29949,61

Elaborado por: Guayara, 2016

Valor Actual Neto:

La proyección de ingresos y egresos para un período de 5 años se realizó considerando que la producción de biodiesel se mantendría constante (13139,25L /año). El precio de biodiesel empleado en los análisis fue de \$0,95/L, el cual corresponde al valor manejado por el gobierno colombiano como lo establece la resolución 40436 del Ministerio de Minas y Energía.

En orden de determinar si se debería invertir en la implementación de este sistema productivo se utilizó como indicador económico el valor actual neto. La tabla 9 detalla su cálculo utilizando una tasa de descuento del 15%. Las interpretaciones económicas se detallarán en la sección de conclusiones.

Tabla 9: Valor Actual Neto del Proyecto

Años	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Diferencia Neta (\$)	Flujos Presente (\$)
0	0	13701,55	-13701,55	-13701,55
1	15878,24	63831,26	-47953,01	-41698,27
2	15878,24	63831,26	-47953,01	-36259,37
3	15878,24	63831,26	-47953,01	-31529,88
4	15878,24	63831,26	-47953,01	-27417,29
5	15878,24	63831,26	-47953,01	-23841,12
VAN =-174447,49				

Elaborado por: Guayara, 2016

CONCLUSIONES

Caracterización de la Grasa de Pollo Residual:

- En cuanto al índice de acidez, el valor obtenido de 0,1% se encuentra debajo del rango establecido ($\geq 3\%$) para implementar la esterificación como pretratamiento; razón por la cual la única medida necesaria para el acondicionamiento de esta materia prima es un proceso de filtración al vacío

- Las propiedades del biodiesel dependen directamente de la concentración y el tipo de ácidos grasos presentes en la materia prima. A un mayor contenido de ácidos grasos saturados inclusive incluyendo a los mono insaturados disminuye la viscosidad e incrementa el número de cetano del biodiesel. En su conjunto los ácidos grasos mencionados constituyeron el 86,14% de la grasa de pollo residual, razón por la cuál el cumplimiento de los parámetros indicados resultó congruente.

Rendimiento de los Tratamientos:

- De acuerdo a los intervalos de confianza al 95%, las mejores condiciones para la transesterificación empleando óxido de calcio como catalizador son una relación molar alcohol-aceite de 12:1 y un 1% de catalizador. El límite de confianza superior para el rendimiento del proceso correspondiente a una relación molar 12:1 (98,39%) sobrepasa en un 71,80% al límite superior determinado para la proporción 6:1. En el caso del porcentaje en peso, el límite superior para esta condición establece un rendimiento superior al 98%.

- En el caso del óxido de magnesio los análisis estadísticos reflejaron rendimientos bajos mostrando intervalos de confianza con límites superiores que no sobrepasaron el 20% de rendimiento.

- El análisis ANOVA con un valor P de 0,0542 reveló que el porcentaje en peso de óxido de magnesio no es una variable significativa por lo que no incide directamente en el rendimiento del proceso. Ante este criterio se concluye que el uso de este catalizador no es efectivo y debe descartarse como variable de estudio.

Caracterización del Biodiesel:

- De acuerdo a la norma INEN 2482 referente a los requisitos del biodiesel se determinó que el biocombustible resultante del tratamiento con óxido de calcio bajo las mejores condiciones de reacción cumple con los siguientes requisitos: corrosión a la lámina de cobre, viscosidad cinemática, contenido de azufre, temperatura de destilación al 90% recuperado y contenido tanto de agua como de sedimentos.

- Una de las ventajas presentadas por el biocombustible obtenido fue un contenido de azufre del 0,023% el cual es 30 veces menor al límite permisible para el diesel No.2. Esta reducción significativa se reflejará en una menor producción de dióxido de azufre durante la

combustión minimizando los impactos ambientales.

- Si se considera los requisitos específicos para el diesel No.2, el cual es utilizado en automotores a diesel y en equipos industriales, los parámetros de estudio cumplieron en su totalidad los requisitos por lo que el biocombustible podría utilizarse para los equipos descritos bien sea puro o como mezcla.

Prefactibilidad Económica:

- La capacidad productiva conjunta determinada para los establecimientos Supermaxi y Megamaxi en Quito fue de: 15120 L/año de grasa de pollo residual, la cual bajo las mejores condiciones de operaciones determinadas experimentalmente para la transesterificación produciría 13139,28 L/año de biodiesel y 1514,15L/año de glicerina.

- Los costos totales anuales de la operación (\$66571,57) son muy altos respecto a los niveles de producción que generaría el proceso desembocando en un costo unitario (\$4,40/L grasa de pollo procesada) poco competitivo frente al precio de venta del biodiesel (\$0,95/L) y de la glicerina (\$1,78/Kg). La limitada grasa residual disponible como materia prima no permite acceder a economías de escala para reducir costos por lo que se mantendrá la tendencia de que los egresos sean mayores a los ingresos anualmente.

- El valor actual neto calculado para un período de cinco años fue de -174447,4999 USD lo que indica que la inversión en el proyecto producirá pérdidas por el valor absoluto indicado y debe ser rechazado.

BIBLIOGRAFÍA:

- Alba, A. (2011). Nuevos procesos para la obtención de biodiesel a partir de catalizadores ácidos y básicos. Tesis de doctorado no publicada. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Dinis. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. Tesis de doctorado no publicada. Universidad de Extremadura, Extremadura, España.
- Ramírez. Chávez, N. Jauregui, J.(2012). Biodiesel, un combustible renovable. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, vol 55, pp.62-70.
- Vásquez. (2015).Producción de biodiesel utilizando aceite de reuso en presencia de catalizadores básicos heterogéneos: determinación de las mejores condiciones de transesterificación. Tesis de maestría no publicada .Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Galeano, C. Guapacha, E.(2011). Aprovechamiento y caracterización de los residuos grasos de pollo para la producción de biocombustibles (biodiesel). Tesis de grado sin publicar. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Albis, A. Parra, J. Sanchez, F. (2005). Transesterificación del aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea. Ingeniería e Investigación, vol.25, pp.71-77
- Toinga, L.(2016). Diseño de una planta piloto para la obtención de biodiesel mediante catálisis heterogénea. Tesis de grado no publicada. Escuela Politécnica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Salazar, A. (2014).Elaboración artesanal de biodiesel en reactor agitado mediante uso de catalizadores sólidos. Tesis de grado no publicada. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- MacLeod, C. S., Harvey, A. P., Lee, A. F., Wilson, K.(2008).Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalysts for application to an intensified method of biodiesel production.Chemical Engineering Journal, vol 135, pp. 63-70.