

ENERGÍAS ALTERNATIVAS

**INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN LA
ESTABILIDAD QUÍMICA DE MEZCLAS DIESEL – BIODIESEL DE ACEITE
DE PALMA**

DAVID ALBERTO BELTRÁN PEÑA

Cód: 064081070

FERNEY ALEXIS BONILLA FIGUEROA

Cód: 064081083

Propuesta de Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora: **LUISA FERNANDA NAVARRETE R.**

Química, MSc.


**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.**

Julio 22 de 2016

Declaratoria de originalidad:

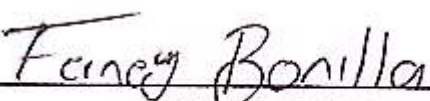
“El presente de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. El trabajo es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”.

DAVID ALBERTO BELTRÁN PEÑA



Cód: 064081070

FERNEY ALEXIS BONILLA FIGUEROA



Cód: 064081083

AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo queremos hacer un humilde reconocimiento a todas aquellas personas que han contribuido en nuestra formación personal y humana, a lo largo de nuestras vidas.

La cual sin duda no sería la misma sin las enseñanzas y atenciones de cada uno de los profesores, tanto en el interior de las aulas de clase como en otros escenarios.

Agradecemos a Dios fuente de todo bien que nos permite el suficiente entendimiento para estar en esta última etapa de nuestra carrera universitaria, agradecemos por concedernos salud para disfrutar estos momentos y darnos la conciencia para discernir lo bueno que hemos recibido.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
4. OBJETIVOS	6
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
5. MARCO REFERENCIAL	7
5.1. HISTORIA DEL BODIESEL.....	7
5.2 MEZCLA BODIESEL – DIÉSEL	7
5.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BODIESEL Y MEZCLAS CON DIÉSEL.....	8
5.3.1. BODIESEL Y SUS MEZCLAS EN COLOMBIA.....	8
5.4. ESTABILIDAD DE LAS MEZCLAS BODIESEL-DIÉSEL	9
5.5 CALIDAD DE LA MEZCLAS BODIESEL-DIÉSEL	10
5.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL BODIESEL Y SUS MEZCLAS.....	10
5.6.1 HUMEDAD Y TEMPERATURA	10
5.6.2 PORCENTAJE DE MEZCLA.....	11
6. MARCO TEÓRICO	12
6.1. DIÉSEL	12
6.2. MEZCLAS BODIESEL- DIÉSEL.....	13
6.2.1. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS BODIESEL-DIÉSEL.....	13
6.3. TIPOS DE MEZCLAS BODIESEL - DIÉSEL	13
6.4. IMPLICACIONES AMBIENTALES POR DETERIORO DE MEZCLAS BODIESEL-DIESEL.....	14
7. MARCO CONCEPTUAL	16
7.1. BODIESEL.....	16
7.2. DIÉSEL	16
7.3. MEZCLAS BODISEL – DIÉSEL (BXX).....	16
7.4. CORROSIÓN EN LÁMINA DE COBRE	16
7.5. NÚMERO ÁCIDO.....	17
7.6. VISCOSIDAD CINEMÁTICA.....	17

7.7. CONTENIDO DE AGUA	17
7.8. CONTAMINACIÓN TOTAL.....	17
7.9. ÍNDICE DE PERÓXIDO	17
7.10. PODER CALORÍFICO	18
8. MARCO LEGAL MEZCLAS BIODIESEL-DIÉSEL EN COLOMBIA	19
8.1. NORMATIVIDAD	19
9. MARCO METODOLÓGICO.....	23
9.1. OBTENCIÓN MEZCLAS B10 Y B15	23
9.2. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE FACTORES DE ALMACENAMIENTO	23
9.3. CORRELACIÓN CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS MEZCLAS COMBUSTIBLES.....	24
9.3.1. PRESENCIA DE PERÓXIDOS.....	25
9.3.2. DETERMINACIÓN CONDICIONES ADECUADAS DE ALMACENAMIENTO	25
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
10.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE MEZCLAS DIÉSEL-BIODIESEL	26
10.2. PARÁMETROS DE CALIDAD.....	27
10.2.1. INDICE DE ACIDEZ DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA	27
10.2.2. VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA	28
10.2.3 CONTAMINACIÓN TOTAL DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA.....	30
10.2.4 CONTENIDO DE AGUA DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA.....	31
10.2.5. DENSIDAD DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA ..	32
10.2.6. LÁMINA DE COBRE DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA	33
10.3. PRESENCIA DE PERÓXIDOS EN LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALMA.....	34
10.4. EVALUACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL DE PALAM	36
11. CONDICIONES ADECUADAS DE ALMACENAMIENTO	37
11.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
12. CONCLUSIONES	41

13. RECOMENDACIONES	43
15. BIBLIOGRAFÍA	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades químicas de mezclas biodiesel –diésel.....	10
Tabla 2.Comparación normatividades de la calidad del diésel y sus mezclas biocombustibles.....	18
Tabla 3. Propiedades químicas contempladas en la NTC 5444.....	18
Tabla 4. Matriz experimental.....	22
Tabla 5 Propiedades físico-químicas.....	23
Tabla 6. Caracterización inicial de mezclas diésel-biodiesel.....	24
Tabla 7. Muestras de menor variabilidad según análisis estadístico.....	36

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafico 1. Índice de acidez mezclas combustible bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	25
Grafico 2. Viscosidad de las mezclas biodiesel-diésel bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	27
Grafico 3. Contaminación total de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	28
Grafico 4. Contenido de agua de las mezclas biodiesel-diésel de aceite de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento	29
Grafico 5. Densidad de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento	31
Grafica 6. Resultados de la lámina de cobre de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	32
Grafico 7. Espectro FT-IR del experimento 8.....	33
Grafico 8. Espectro FT-IR del experimento 6.....	33
Grafica 9. Resultados del poder calorífico de las mezclas biodiesel-diésel bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo1.caracterización físico-química del biodiesel b100.....	40
Anexo 2. Tabla de colores para la prueba de lámina de cobre.....	41
Anexo 3. Valores p y F para los experimentos 1 a 8 del análisis de varianza con significativa en el nivel 0.05.....	41
Anexo 4. Análisis estadístico humedad.....	42
Anexo 5. Análisis estadístico contaminación total.....	42
Anexo 6. Análisis estadístico densidad.....	43
Anexo 7. Análisis estadístico viscosidad.....	43
Anexo 8. Análisis estadístico acidez.....	44

RESUMEN

El presente trabajo evaluó la estabilidad química de mezclas biodiesel de palma – diésel bajo condiciones de almacenamiento que implican variación de temperatura y presencia de humedad. Se aplicó un diseño experimental factorial 2^3 , donde se contemplaron dos niveles y tres variables: porcentaje de mezcla (B10 y B15), temperatura (20 y 30 °C) y humedad (0 y 1%). La evaluación periódica de propiedades físicas y químicas tales como densidad, viscosidad, contenido de humedad, corrosión en lámina de cobre, acidez, poder calorífico, contaminación total y espectrometría FT-IR, así como el análisis de datos obtenidos a través de análisis de varianza ANOVA, permitieron establecer que la estabilidad de la mezcla biocombustible - diésel se puede mantener aproximadamente constante bajo condiciones de almacenamiento que impliquen temperatura de 20°C, porcentaje de mezcla de 15 y bajo contenido de humedad.

Palabras Claves: Estabilidad química, mezcla biodiesel-diésel, almacenamiento.

1. INTRODUCCIÓN

La mezcla biodiesel – diésel es una alternativa que ha sido contemplada para mejorar las propiedades del combustible empleado en motores diésel. Sin embargo, éstas mezclas son susceptibles de oxidarse, originando una serie de cambios tanto en propiedades físicas como químicas, convirtiéndose en un aspecto de gran importancia cuando de biodiesel y mezclas se trata (Zuleta , rios, & Calderon , 2012).

En la actualidad, los limitados estudios que se encuentran sobre estabilidad de mezclas biodiesel – diésel, demuestran que la densidad aumenta conforme incrementa el tipo de mezcla (Ramos & Mishel, 2013). En cuanto a viscosidad, ésta se comporta de manera similar al diésel hasta un porcentaje B30 (Benjumea P. , 2006). Ambientalmente se demostró que el uso de mezclas biodiesel-diésel de baja calidad aumentan las emisiones de gases invernadero en la combustión (Zambrano , Sosa , & Gaitan , 2014), por tanto resulta necesario evaluar la incidencia de factores como temperatura, porcentaje de mezcla y humedad en la estabilidad química de la mezcla combustible, a través de ensayos experimentales que permitan establecer la calidad de la misma, determinando parámetros físicos y químicos exigidos en normas nacionales (NTC) e internacionales (ASTM).

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La calidad de la mezcla diésel - biodiesel como combustible, se traduce en excelentes características físicas y químicas, las cuales se pueden alterar bajo ciertas condiciones de almacenamiento; presencia de agua o alta humedad del ambiente favorecen la corrosión, inestabilidad (Aquino I.P, 2012) y proliferación de contaminación microbológica (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2008), la presencia de iones metálicos causada por la corrosión también puede catalizar otras reacciones indeseables, lo que lleva a la degradación desestabilizando el combustible (Jain & sharma, 2011). Igualmente la temperatura afecta la densidad y la viscosidad de las mezclas biodiesel-diésel (Benjumea, Chaves, & Vargas , Efectos de la temperatura sobre la densidad del biodiesel de aceite de palma y sus mezclas con diesel conveccional , 2006) lo cual se traduce en una reducción apreciable en la eficiencia global del combustible, cambio prematuro de filtros y con respecto al medio ambiente, las mezclas de biodiesel-diésel de baja calidad aumentan las emisiones de hidrocarburos sin quemar THC , CO, NO_x y la opacidad del humo (Agudelo & Bedoya , Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodeseil de palma , 2005), afectando su calidad y por lo tanto su comerciabilidad (Pattamaprom C, 2011).

3. JUSTIFICACIÓN

El uso de combustibles fósiles contamina el medio ambiente afectando ecosistemas terrestres, marinos y aéreos. Los biocombustibles líquidos a partir de aceites vegetales, animales e incluso distintas cepas de algas (Kent Hoekmana S., 2011), representan ciertas ventajas ambientales como reducción de emisiones contaminantes, mejor combustión, baja toxicidad, alta biodegradabilidad y en su mayoría ausencia de azufre (energías biodegradables, 2013). Sin embargo, se debe mencionar que el biodiesel por provenir de fuentes naturales, como combustible es susceptible de degradarse bajo condiciones de almacenamiento, razón por la que ha sido objeto de estudio en el ámbito internacional; investigaciones enfocadas a la estabilidad en términos de descomposición térmica (Piloto Rodríguez Ramón, 2009), iones metálicos (Aquino I.P, 2012) y descomposición por oxidación (Sharma, 2012).

En Latinoamérica incluyendo Colombia, las investigaciones se han centrado básicamente en aceite de palma africana y variedad de piñones (Quiroz, 2011); producción y obtención de biodiesel utilizando diversas tecnologías como biocatálisis, fluidos supercríticos y producción enzimática (Cardona Alzate & Orrego Alzate, 2009).

Actualmente el biocombustible que se distribuye en el territorio nacional es una mezcla diésel – biodiesel de palma, en un porcentaje que no supera el 10%. En

el 2020, la meta es alcanzar mezclas biodiesel-diésel del 20% (federacion nacional de biocombustibles, 2013), razón por la que el presente proyecto pretende contribuir con la evaluación de la calidad del biocombustible comercializado, bajo determinadas condiciones de almacenamiento.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la estabilidad química de mezclas biodiesel de palma – diésel bajo condiciones de almacenamiento que implican variación de temperatura y presencia de humedad.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la influencia que presentan temperatura y humedad como factores de almacenamiento, en la estabilidad oxidativa de mezclas biodiesel –diésel.
- Correlacionar los factores de almacenamiento con propiedades físicas y químicas marcadoras de calidad del biocombustible.
- Determinar las condiciones adecuadas de almacenamiento de las mezclas a emplear.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. HISTORIA DEL BIODIESEL

A fines de siglo XIX Rudolf Diésel (1858-1913) ingeniero alemán, inventa el motor de combustión y a partir de allí implementó tempranas versiones de una máquina que utilizaba aceite de maní como energía. En la década de los 70, el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo, en 1982 Austria y Alemania llevaron a cabo las primeras pruebas técnicas con este combustible de origen vegetal. En 1985 se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de semillas de colza o canola, actualmente Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles (fuel next, 2008).

5.2 MEZCLA BIODIESEL – DIÉSEL

El uso de B100 en motores diésel conlleva problemas como el deterioro del sistema de inyección y durabilidad del motor (CNE, 2007), como solución se utiliza el biodiesel en mezcla con diésel. En países como Brasil se han realizado pruebas de B20 en motores diésel donde la durabilidad del combustible es similar a la del diésel de petróleo y puede a lo largo de los años mejorar la estabilidad debido a una combustión más limpia y a la naturalmente elevada lubricidad del biodiesel (OIL FOX, 2010). El uso de mezclas biodiesel-diésel trae consigo ciertas ventajas como la reducción de las emisiones de

CO_x por el incremento de la presencia de oxígeno en el biodiesel, reducción de gases efecto invernadero, aumento del número de cetano, y disminución del contenido de azufre (Retana Jimenes , 2008).

5.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BIODIESEL Y MEZCLAS CON DIÉSEL

En los últimos años la producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente, desarrollo que se ha visto favorecido por la subida del precio del petróleo y las políticas de subvención pública adoptadas por los distintos países para cumplir con las exigencias del protocolo de Kioto. La mayor parte de este crecimiento se ha registrado principalmente en Estados Unidos, Brasil y Alemania, quienes representan más de la mitad de la producción de biodiesel (Torres y Carrera, 2010).

En la Unión Europea se han establecido metas indicativas para el consumo de biocombustibles en el sector de transportes con un objetivo de referencia voluntario de 2% de mezcla con diésel desde el año 2003 y 5.75% a partir del año 2011. De esta manera los estados miembros de la Unión Europea se ven obligados a fijar metas basados en los índices de referencia establecidos para la utilización de biocombustibles. El mandato B-7 del 2009 modifica el mandato B-4 introducido en Alemania en el 2007, que permite mezclas de biodiesel-diésel hasta del 7% (Romero & Etter, 2012)

5.3.1. BIODIESEL Y SUS MEZCLAS EN COLOMBIA

El empleo de biocombustibles está asociado al parque automotor, pues obedece al comportamiento del consumo de gasolina y ACPM del país. Los

diferentes programas relacionados con los biocombustibles han permitido que en buena parte del territorio nacional se distribuyan mezclas de 10% de alcohol carburante con gasolina, y 5% de biodiesel con ACPM además, se tienen previstos nuevos proyectos que permiten cubrir la totalidad de la demanda nacional con los porcentajes establecidos, avanzando igualmente a porcentajes superiores (UPME, 2009). Tanto así que desde el 1º de enero del año 2010 se utilizan en el país mezclas de diésel de origen fósil con biocombustibles para uso en motores diésel en proporción 90 – 10, es decir 90% de ACPM y 10% de biocombustible (B10). (Upme, 2009)

5.4. ESTABILIDAD DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIÉSEL

Los aceites vegetales materia prima del biodiesel, contienen antioxidantes naturales, que se pueden llegar a eliminar en procesos industriales, reduciendo así su estabilidad (Arpel, 2009). La estabilidad también se relaciona estrechamente con las condiciones de almacenamiento, entre las cuales se incluyen humedad, temperatura y tipo de mezcla, factores que afectan los diferentes parámetros físico-químicos que permiten evaluar la calidad del biocombustible a través del tiempo (Quiroz, 2011).

5.5 CALIDAD DE LA MEZCLAS BIODIESEL-DIÉSEL

La calidad de las mezclas biodiesel-diésel se ven regidas por en Colombia por la norma NTC 5444 la cual se basa en las normas internacionales ASTM D-6531 y EN 14214

Específicamente para mezclas B10 y B15 se encontró un estudio realizado por la universidad Central del Ecuador, en donde se caracterizaron mezclas diésel – biodiesel de palma, orientadas a disminuir emisiones contaminantes provocadas por fuentes móviles (Baleroza, 2013), en la tabla 1 se muestran los resultados de dicho estudio.

Tabla 1. Propiedades químicas de mezclas biodiesel –diésel

ENSAYO	UNIDAD	MIN	MAX	B10	B15	MÉTODO
Densidad a 15°C	Kg/m ³	---	---	833.02	836.96	ASTM D 287
Contenido de agua	%		0.05	<0.025	<0.025	ASTM D 96
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2	5	2,68	2,93	ASTM D445
Corrosión de lámina de cobre	Clasif.		3	1 ^a	1 ^a	ASTM D 130
Numero Acido	mg KOH/g		0.50			ASTM D 664

FUENTE: (Baleroza, 2013)

5.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL BIODIESEL Y SUS MEZCLAS

5.6.1 HUMEDAD Y TEMPERATURA

- La humedad es fuente de inestabilidad para el biocombustible, ya que es higroscópico, absorbiendo hasta un 0,15 % del agua contenida en

tanques y cañerías o del aire. La humedad incorporada en la masa de biocombustible facilita la tendencia a la degradación por formación de ácidos (Burin , 2010).

- Predicción del efecto de la temperatura sobre la viscosidad del biodiesel de aceite de palma y mezclas con diésel convencional realizado por Pedro Benjumea, en donde se determinó que las curvas de variación de la viscosidad con temperatura, se superponen con la curva correspondiente al diésel hasta el punto correspondiente B30 (Benjumea P. , 2006).
- Efecto de la temperatura sobre la densidad del biodiesel de aceite de palma y sus mezclas con diésel convencional, se establece que para todas las temperaturas, la densidad de la mezcla aumenta conforme lo hace el contenido de biodiesel (Benjumea, Chaves, & Vargas , 2006).

5.6.2 PORCENTAJE DE MEZCLA

- Estudio realizado por D. G. Chenard, evaluó el efecto del biodiesel en el combustible fósil mediante diferentes porcentajes de mezclas diésel-biodiesel, llegando a conclusiones como que dichas mezclas resultan positivas porque disminuyen proporcionalmente el contenido de azufre total, aunque aumentan ligeramente su acidez (Chenard, 2010).

6. MARCO TEÓRICO

6.1. DIÉSEL

Combustible derivado del petróleo constituido básicamente por hidrocarburos lineales y aromáticos. Puede contener elementos metálicos, azufre y nitrógeno (Ferreira, 2009).

El diésel tiene una tendencia natural a oxidarse debido a la acción del aire (humedad) y la temperatura, lo que propicia la formación de material insoluble, como gomas y sedimentos, que pueden provocar el deterioro del sistema de inyección, obstruir los filtros y formar depósitos en la cámara de combustión (Cepsa, 2012).

La calidad de diésel en términos medioambientales está definida básicamente por:

- **CONTENIDO DE AZUFRE:** presente principalmente en el diésel en forma de benzotiofenos y de dibenzotiofenos, es un elemento indeseable debido a la acción corrosiva de sus compuestos y por la formación de gases tóxicos SO_x en la combustión, los cuales en presencia de agua conducen a la formación de los respectivos ácidos.
- **NÚMERO DE CETANOS:** mide la calidad de ignición de un combustible en motor diésel, tiene influencia directa en la partida del motor y en su funcionamiento en sobrecarga. Cuanto menor es el Nro. de Cetano, mayor es el retardo en la ignición (Bosque Ferreira, 2013).

6.2. MEZCLAS BIODIESEL- DIÉSEL

Son posibles porque el biodiesel tiene propiedades físicas y químicas muy similares a las del diésel de petróleo, el uso de mezclas biodiesel-diésel constituye una alternativa renovable de combustión más limpia, puesto que se ha demostrado que reduce las emisiones de contaminantes atmosféricos tóxicos en vehículos de carretera más antiguos y en diversas aplicaciones fuera de carretera (Alternative Fuels Data Center, 2015).

6.2.1. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIÉSEL

Los motores diésel requieren un combustible limpio y que permanezca estable bajo las diferentes condiciones de operación. La mezcla biodiesel-diésel constituye una alternativa que se puede usar directamente en cualquier motor diésel, sin requerir modificaciones. Tiene un poder calorífico menor al de gasoil, su viscosidad cinemática en general está entre 1.9 y 6.0 CST, su densidad es aproximadamente 0.878 kg/L a 15 °C y el punto de flama llega a sobrepasar los 130 °C a diferencia del gasoil cuyo punto de flama es de apenas 60-80 °C (Murillo , 2003).

6.3. TIPOS DE MEZCLAS BIODIESEL - DIÉSEL

En general la mezcla biodiesel - diésel es sencilla si se tiene en cuenta que el biocombustible es levemente más denso que el diésel. Existen tres formas de realizar la mezcla del combustible:

- **MEZCLA SPLASH:** se cargan por separado diésel y biodiesel, una vez que los combustibles se encuentren en el recipiente (por lo general son carro-tanques), la conducción en carretera se considera suficiente agitación, sin embargo si el biodiesel se carga en el recipiente antes que el diésel y si además la temperatura es muy baja no se puede lograr una mezcla adecuada (Arpel, 2010).
- **MEZCLA EN EL TANQUE:** se cargan separadamente o conjuntamente a una velocidad suficiente para eliminar agitación adicional. Este tipo de mezcla es parecida a la anterior, aunque no requiere conducción en carretera, debido que el biodiesel y el diésel se mezclan fácilmente (Arpel, 2010).
- **MEZCLA EN LÍNEA:** el biodiesel se agrega a una corriente de diésel de un ducto o manguera de forma que ambos combustibles se mezclan con el movimiento turbulento a lo largo del recorrido (Arpel, 2010).

6.4. IMPLICACIONES AMBIENTALES POR DETERIORO DE MEZCLAS BIODIESEL-DIESEL

Estudios realizados han determinado que el empleo de biodiesel deteriorado genera mayor emisión de aldehídos compuestos que a pesar de no estar regulados por normativa, son considerados altamente reactivos en la atmósfera

contribuyendo al smog fotoquímico, principalmente en áreas urbanas, además de aumentar la cantidad de emisiones NO_x (Pattamaprom C, 2011), los cuales hacen parte de los gases responsables de la lluvia acida. Por lo tanto en una mezcla biodiesel-diésel de baja calidad es posible que se genere emisión de aldehídos compuestos y además aumenta las emisiones de hidrocarburos sin quemar THC, CO (Agudelo & Bedoya , Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodeseil de palma , 2005).

7. MARCO CONCEPTUAL

Los siguientes conceptos constituyen definiciones propuestas por la NTC 5444 referente al biodiesel para uso de motores diésel y sus especificaciones.

7.1. BIODIESEL

Mezcla de mono alquil ésteres de los ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales y grasas animales.

7.2. DIÉSEL

Mezcla de hidrocarburos de 10-28 átomos de carbono provenientes de diferentes procesos de refinación tales como destilación atmosférica, al vacío, ruptura catalítica, hidrocrackeo, etc., que se utiliza como combustible en motores tipo diésel.

7.3. MEZCLAS BIODIESEL – DIÉSEL (BXX)

Mezclas de biodiesel con diésel en diferentes proporciones, donde la letra B representa el biodiesel y XX representa el porcentaje en volumen del biodiesel en la mezcla.

7.4. CORROSIÓN EN LÁMINA DE COBRE

Medida de posibles dificultades con las partes del sistema de inyección fabricadas en cobre o sus aleaciones. La presencia de ácidos o compuestos de azufre pueden deteriorar la lámina de cobre.

7.5. NÚMERO ÁCIDO

Se utiliza para determinar el nivel de ácidos grasos libres o los ácidos del proceso que pueden estar presente en el biodiesel. Se ha demostrado que un biodiesel con alto número de ácido, aumenta la formación de depósitos en los sistemas de inyección y puede aumentar la probabilidad de corrosión.

7.6. VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Propiedad que disminuye con presencia de compuestos insaturados pero aumenta marcadamente con la presencia de compuestos mono, di o triglicéridos. En algunos casos a bajas temperaturas el biodiesel se puede convertir en un producto demasiado viscoso e incluso solidificar (Vivaz Castaño, 2010).

7.7. CONTENIDO DE AGUA

Se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento, ya que depende de cómo se manipule y transporte el combustible. El biodiesel es muy higroscópico y puede absorber hasta 40 veces más agua que el diésel (Avellaneda Vargas, 2010).

7.8. CONTAMINACIÓN TOTAL

Es principalmente causada por la presencia de sedimentos. La destilación del producto final puede ser una alternativa para reducir esta contaminación total (Avellaneda Vargas, 2010).

7.9. ÍNDICE DE PERÓXIDO

Indica el grado de oxidación del aceite que depende de las condiciones de almacenamiento del aceite y de factores que aceleran la oxidación (Castro Pareja, 2009).

7.10. PODER CALORÍFICO

Se define como el número de unidades de calor liberadas por la unidad de masa o de volumen del combustible (Universidad de Valladolid, 2012).

8. MARCO LEGAL MEZCLAS BIODIESEL-DIÉSEL EN COLOMBIA

8.1. NORMATIVIDAD

En la cartilla *Minoristas* denominada buenas prácticas de manejo para el biodiesel y las mezclas en la cadena de distribución de combustibles en Colombia publicada por el ministerio de Minas y Energía, se determinaron los requisitos de calidad del combustible diésel corriente y sus mezclas con biocombustibles, y que se contemplan en la norma NTC 5444 la cual se basa en las normas internacionales ASTM D-6531 y EN 14214, en donde se especifican los rangos que deben cumplir algunos parámetros y los procedimientos para determinar los mismos. En la tabla 2 se comparan las medidas contempladas en las norma ASTM D6531, EN 14214 y la NTC 5444

Tabla 2. Comparación normatividades de la calidad del diésel y sus mezclas biocombustibles

PRUEBA	ASTM D 6751	EN 14214	NTC 5444
Densidad a 15°C	X	X	X
Viscosidad cinemática 40°C	X	X	X
Contenido de agua		X	X
Contaminación total	X	X	X
Corrosión en lámina de Cobre	X	X	X
Numero de acidez	X	X	X

Fuente (Benjumea & Agudelo, 2009)

En la tabla 3 se muestra las propiedades establecidas para el biodiesel y mezcla con diésel en la norma NTC 5444, la cual está dentro de estándares internacionales de calidad:

Tabla 3. Propiedades químicas contempladas en la NTC 5444

Métodos de ensayo		Especificación
Prueba	Designación	
Viscosidad Cinemática 40°C	ISO 3104/ASTM D 445	Min 1.9 mm ² /s Max 6.0 mm ² /s
Contenido de agua	ISO 12937/ASTM D 203	Max 500 mg/kg
Contaminación total	EN ISO 12662	Max 24 mg/ kg
Corrosión en lámina de Cobre	ISO 2160/ASTM D 130	Clase 1
Numero de acidez	EN 14104/ASTM D 664	X
Densidad a 15°C		Min 860 kg/m ³ Max 900 kg/m ³

Fuente NTC 5444

Colombia ha avanzado en la legislación de las mezclas de combustibles fósiles y biocombustibles. Existe amplia normatividad de tipo técnico y se podría afirmar que son suficientes para el desarrollo de esta industria en el país. El incremento en los porcentajes de mezcla tanto de etanol como de biodiesel, requiere de más estudios para evaluar el impacto sobre los motores y partes de los vehículos (Corredor , 2009).

8.2 LEGISLACIÓN COLOMBIANA CON RESPECTO A LAS MEZCLAS BIODIESEL-DIÉSEL

Colombia continúa estableciendo un marco legal para las mezclas biodiesel-diésel desde las leyes emitidas por el congreso y la reglamentación dada por el gobierno, que promueven el uso de biodiesel en mezclas en el país:

- Resolución N° 1289 de 2005

Se establecen requisitos de calidad técnica y ambiental de los biocombustibles para uso en motores diésel, al igual que la definición de sus mezclas con el diésel. Resolución en donde se fijó que al ACPM se le debe mezclar un $5\pm 0,5\%$ de biocombustible para uso en motores diésel.

- Ley No. 139

Con respecto al impulso del biodiesel en su mezcla con diésel de origen fósil, el gobierno Nacional propuso el proyecto de Ley No. 139 / Senado “Por medio de la cual se estimulaba la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel”, para lo cual se basó en que el consumo de combustibles de origen vegetal tiene un impacto ambiental positivo reconocido en casi todos los países del mundo, donde es obligatoria su mezcla con combustibles fósiles.

- Decreto 2629 de julio de 2007

Establece el cronograma para ampliar la mezcla obligatoria de biocombustibles en 10% a partir del 1° de enero del año 2010, y 20% a partir de 2012, así como la obligación de que a partir del 1° de enero del año 2012 el parque automotor

nuevo y demás artefactos nuevos a motor deben ser flex-fuel como mínimo al 20%, tanto para mezcla E- 20 (80% de gasolina básica de origen fósil con 20% de alcohol carburante) como para B – 20 (80% de diésel de origen fósil con 20% de Biocombustibles).

- Decreto 2629 del 10 de julio de 2007

En el cual se establece la obligatoriedad de la producción e importación de vehículos al país a partir del año 2012, que permitan su uso con mezclas de diésel de origen fósil y biodiésel en porcentajes del 20% como mínimo, además de que se señala el año 2010 como la fecha en que se avanzará a un porcentaje de mezcla del 10% en el país.

9. MARCO METODOLÓGICO

9.1. OBTENCIÓN MEZCLAS B10 Y B15

Las mezclas B10 y B15 para estudio se obtuvieron a partir de biodiesel proporcionado por la Federación Nacional de Biocombustibles y diésel Chevron Petroleum Company certificado en mezcla B2. Dichas mezclas inicialmente se caracterizaron y posteriormente se sometieron a un periodo de almacenamiento de cuatro meses bajo diferentes condiciones experimentales.

9.2. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE FACTORES DE ALMACENAMIENTO

Se aplicó un diseño factorial 2^3 en donde se toman como variables humedad, temperatura y porcentaje de mezcla, las cuales se evaluaron en dos diferentes niveles; mezcla (B10 y B15), humedad (con y sin, adicionando 5 ml de agua) y temperatura (20 y 30°C). En la tabla 4 se presentan el total de ensayos realizados, los cuales se llevaron a cabo por duplicado.

Tabla 4. Matriz experimental

EXPERIMENTO	MEZCLA (%)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD
1	B10	20	NO
2	B10	20	SI
3	B10	30	NO
4	B10	30	SI
5	B15	20	NO
6	B15	20	SI

7	B15	30	NO
8	B15	30	SI

9.3. CORRELACIÓN CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS MEZCLAS COMBUSTIBLES

Se evaluaron periódicamente (cada 15 días) y por duplicado las propiedades físicas y químicas indicadas en la tabla 5, durante un tiempo de almacenamiento total de 105 días.

Tabla 5. Propiedades físico-químicas del biocombustible

PROPIEDAD FÍSICO QUÍMICA	METODOLOGÍA O NORMA
DENSIDAD A 15°C	ASTM D4052 o en la ISO 3675
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 40°C	Norma ASTM norma D445 o ISO 3104 especificada para diésel.
CONTENIDO DE AGUA	Norma ISO 12937 o en la ASTM D 203
CONTAMINACIÓN TOTAL	Norma EN 14214
CORROSIÓN LÁMINA DE COBRE	Norma ASTM D130
ÍNDICE DE ACIDEZ	Norma EN 14214 y en la ASTM D664

- **PODER CALORÍFICO**

Este ensayo se llevó a cabo con una bomba calorimétrica de oxígeno 1341 marca Parr, teniendo en cuenta el manual instructivo del equipo. Esta prueba se realizó en cuatro oportunidades para cada muestra en diferentes tiempos de almacenamiento a los 15, 45, 75 y 105 días.

9.3.1. PRESENCIA DE PERÓXIDOS

Análisis que se llevó a cabo en un equipo marca SHIMADZU modelo IR Prestige21 (P/N 206-72010) teniendo en cuenta especificaciones del manual del equipo para muestras líquidas. Esta prueba se realizó a tiempo 0, 45, 75 y 105 días de almacenar las muestras de biodiesel-diésel con el propósito de evidenciar la presencia de las bandas asociadas al grupo funcional peróxido.

9.3.2. DETERMINACIÓN CONDICIONES ADECUADAS DE ALMACENAMIENTO

Los datos obtenidos en el estudio de estabilidad se evaluaron a través de un análisis estadístico a través de un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 95% con el fin de establecer si hay diferencias estadísticamente significativas.

10.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE MEZCLAS DIÉSEL-BIODIESEL

La caracterización inicial de las mezclas diésel-biodiesel de palma se realizó teniendo en cuenta especificaciones relacionadas en la tabla 2.

En la tabla 6, se puede apreciar que los diferentes parámetros evaluados se encuentran dentro del rango establecido en literatura, lo cual indica que las mezclas empleadas son adecuadas para llevar el estudio de estabilidad.

Tabla 6. Caracterización inicial de mezclas diésel-biodiesel

PARÁMETRO	RESULTADOS B10	RESULTADOS B15	REFERENCIA
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (mm ² /s)	3,728	3,440	1,9 – 6,0
ACIDEZ mgKOH/g	0,137	0,137	X
C. TOTAL mg/kg	22,872	22,593	Max 24
HUMEDAD (%)	462,463	453,376	Max 500
DENSIDAD Kg/m ³	877,967	875,953	860-900

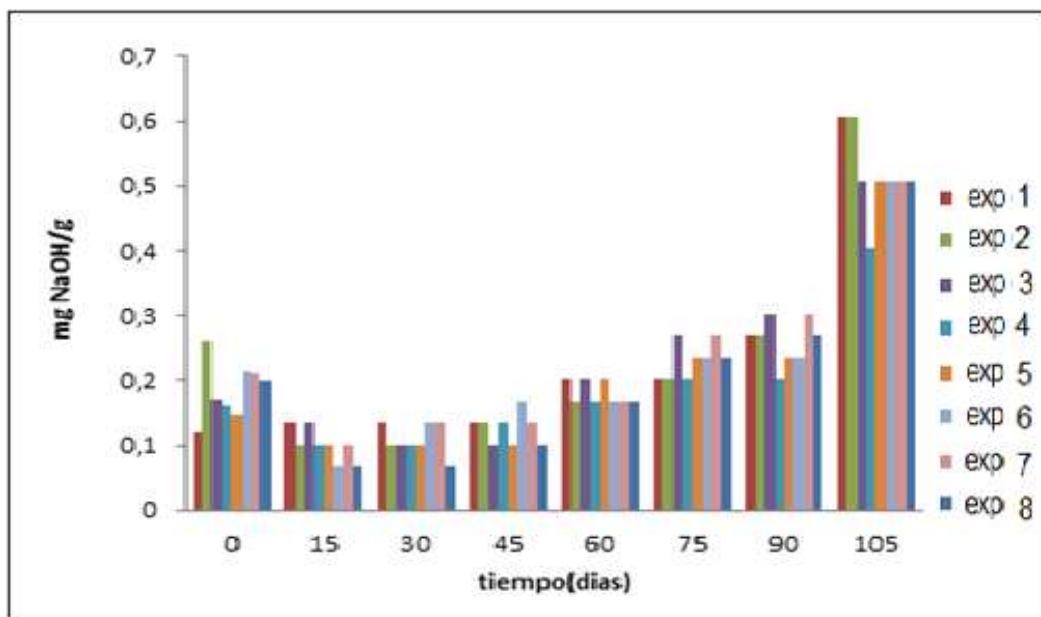
10.2. PARÁMETROS DE CALIDAD

La determinación periódica de parámetros físicos y químicos permite establecer la influencia de los factores de almacenamiento sobre la estabilidad de las mezclas biodiesel – diésel.

10.2.1. INDICE DE ACIDEZ

En la gráfica 1 se puede observar el comportamiento de la acidez a través del tiempo para los distintos experimentos realizados.

Gráfico 1. Índice de acidez de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento



Se aprecia como tendencia general un incremento en la acidez de las muestras a lo largo del tiempo de almacenamiento, resaltando que a los 105 días los experimentos 1 y 2 alcanzan un máximo de 0,6 mg NaOH/g, cuyas condiciones experimentales corresponden a una temperatura de 20 °C y una mezcla B10. El incremento de la acidez se puede atribuir al mayor contenido de azufre que tiene el tipo de mezcla B10 con respecto al B15 es decir, a mayores

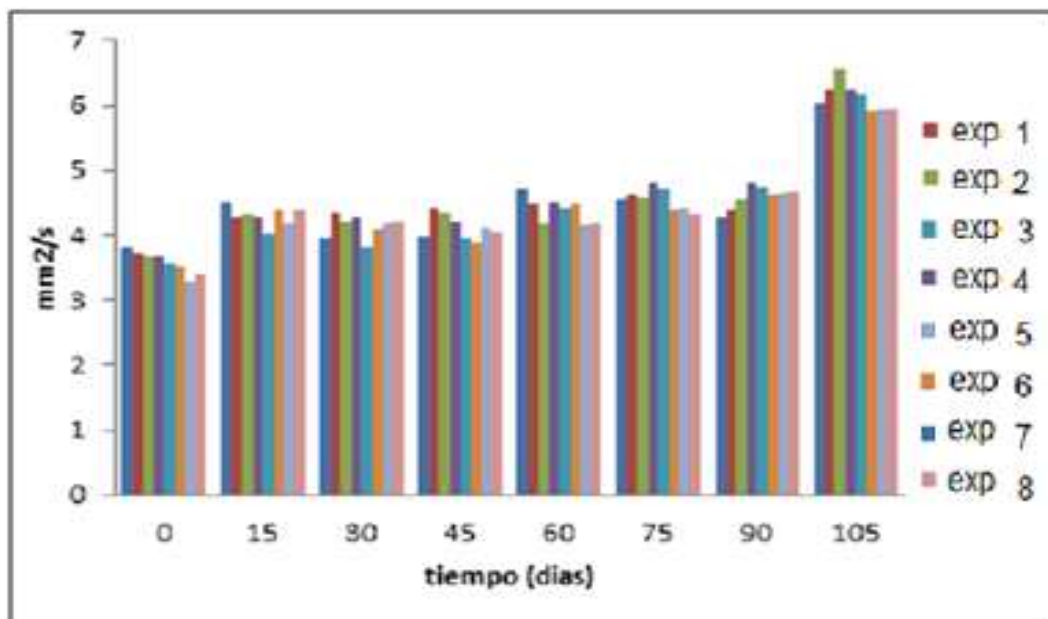
porcentajes de diésel en las mezclas biodiesel-diésel aumenta ligeramente la acidez (Chenard, 2010). Cabe resaltar que la humedad en este caso no es factor determinante debido a que el biodiesel-diésel evaluado presenta aceptable contenido de humedad inicial, esto sugiere que la acidez de las muestras evaluadas es producto de procesos oxidativos y no hidrolíticos, lo que explicaría el poco incremento del índice de acidez por humedad (Zuleta, Rios , & Calderon, 2012).

Se ha demostrado que las mezclas de biodiesel-diésel con un alto número de acidez, aumenta la formación de sedimentos en los sistemas de inyección y pueden aumentar la probabilidad de corrosión, permitiendo así una combustión incompleta que a su vez incrementa las emisiones del material particulado emitido a la atmosfera (Banco Mundial , 2009).

10.2.2. VISCOSIDAD

El comportamiento de la viscosidad a lo largo del tiempo de almacenamiento se observa en la gráfica 2.

Gráfico 2. Viscosidad de las mezclas biodiesel-diésel bajo diferentes condiciones de almacenamiento



Como tendencia general se aprecia incremento a través del tiempo, en particular el experimento 2 (tipo de mezcla B10, temperatura 20°C y presencia de humedad) a los 105 días, en donde la mala fluidez de las mezclas biodiesel-diésel es normal que ocurra a bajas temperaturas.

Al disminuir la temperatura en un líquido las moléculas tiende a unirse aumentando a su vez la viscosidad (Benjumea , Alvarez, & Molina , 2006), por lo tanto a 20°C que para este estudio es la menor temperatura, la viscosidad de las mezclas biodiesel-diésel aumento.

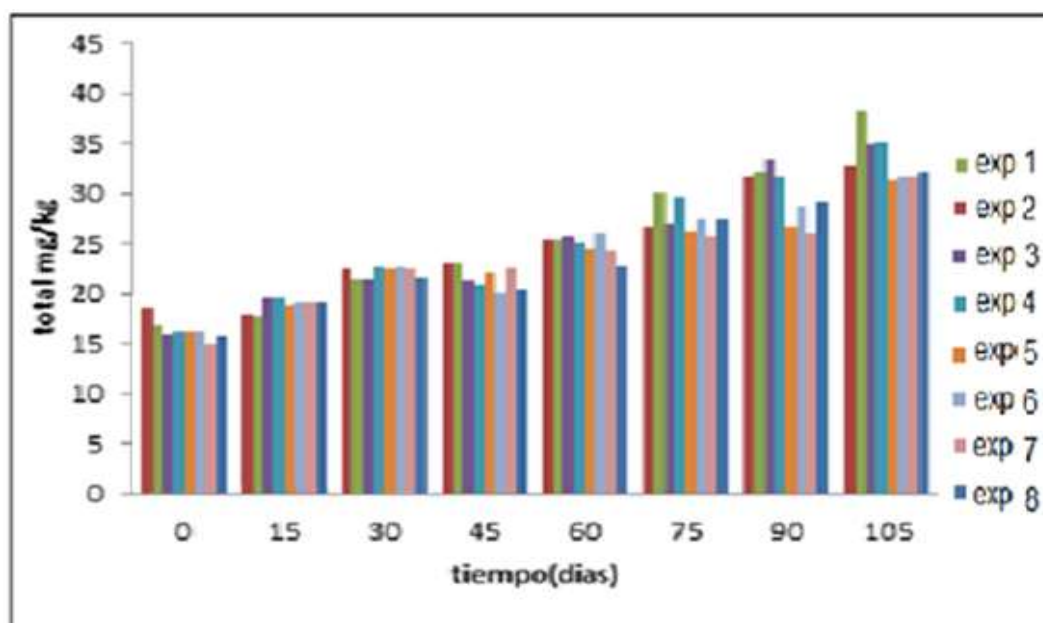
El comportamiento de la viscosidad con respecto a la temperatura de varias mezclas de biodiesel-diésel, es similar hasta un tipo de mezcla B30 (Benjumea , Alvarez, & Molina , 2006), por lo tanto el efecto del tipo de mezcla en dicho parámetro no será muy influyente.

Una alta viscosidad repercutirá en el funcionamiento de los motores, con efectos negativos en el medio ambiente como el aumento de emisiones de gases contaminantes o de material particulado (Astm international , 2016).

10.2.3 CONTAMINACIÓN TOTAL

En la gráfica 3 se aprecia el comportamiento de la contaminación total durante los 105 días de almacenamiento.

Gráfico 3. Contaminación total de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento



Se observa como tendencia general incremento en el parámetro a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, siendo el experimento 1 la muestra que reportó mayor contaminación, cuyas condiciones experimentales eran mezcla B10, 20°C y sin humedad; temperatura y contenido de humedad bajos favorecen la aglomeración de sólidos suspendidos, por lo tanto el efecto de

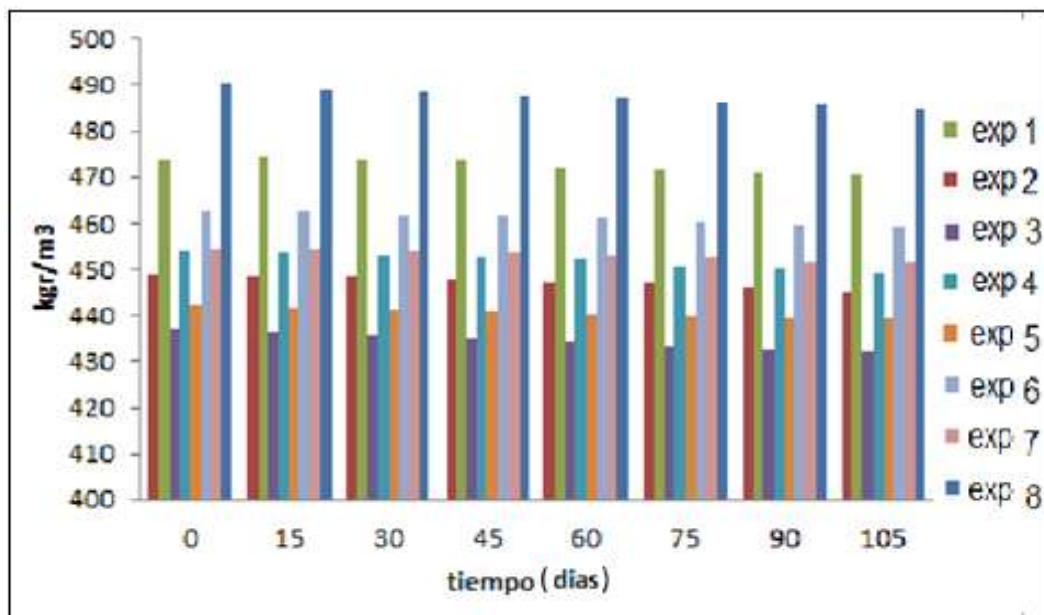
ambas condiciones de almacenamiento hace aumentar la densidad lo cual también es una de las causas para que la contaminación total suba.

La presencia de sedimentos puede provocar en el motor el taponamiento de conductos y de filtros, lo que conlleva a un mal desempeño del biocombustible provocando mayores emisiones de material particulado y gases efecto invernadero (Bp, 2016).

10.2.4 CONTENIDO DE AGUA

En el grafico 4 se presenta el comportamiento del contenido de agua a través del tiempo de almacenamiento.

Gráfico 4. Contenido de agua de las mezclas biodiesel-diésel de aceite de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento



Como tendencia general se observa que el contenido de humedad se mantiene aproximadamente constante a través del tiempo. Se resalta sin embargo, el experimento 8 cuyas condiciones experimentales incrementan la presencia de

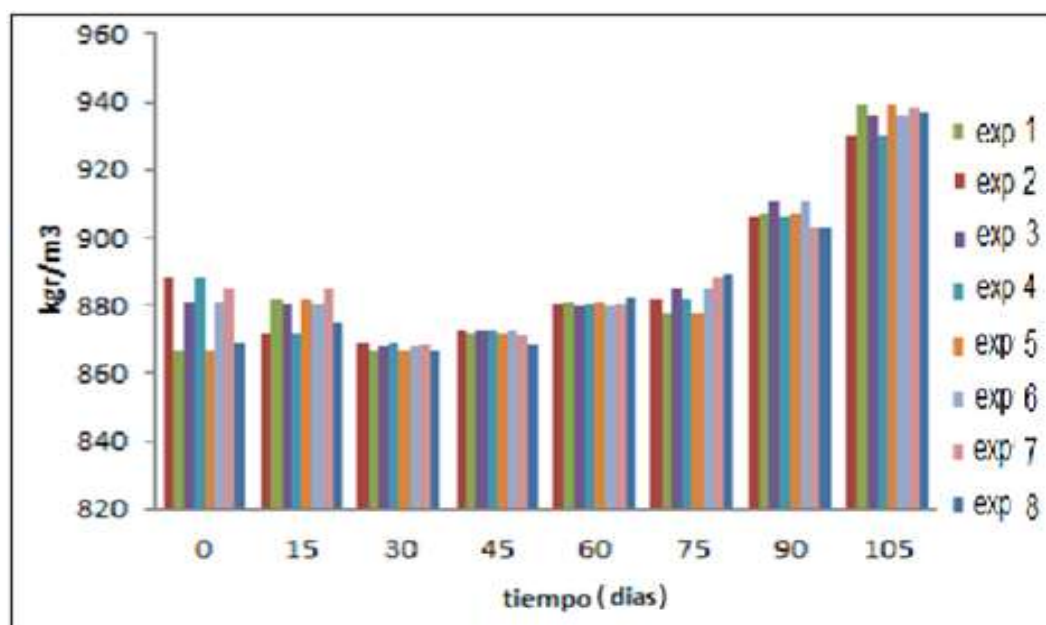
agua, pues al ser mezcla alta (B15) el biodiesel absorberá hasta 40 veces más agua que el diésel (Avellaneda Vargas, 2010).

La presencia de agua en los biocombustibles puede aumentar la actividad microbiana, incrementando sedimentos y provocando una mala combustión, dando lugar así a mayor cantidad de material particulado a la atmósfera (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2008).

10.2.5. DENSIDAD

En el grafico 5 se observa el comportamiento de la densidad a través del tiempo de estudio.

Gráfico 5. Densidad de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento



Se aprecia como tendencia general un incremento en el parámetro, siendo los experimentos 1 y 5 aquellos que reportan un valor mayor, hecho que se

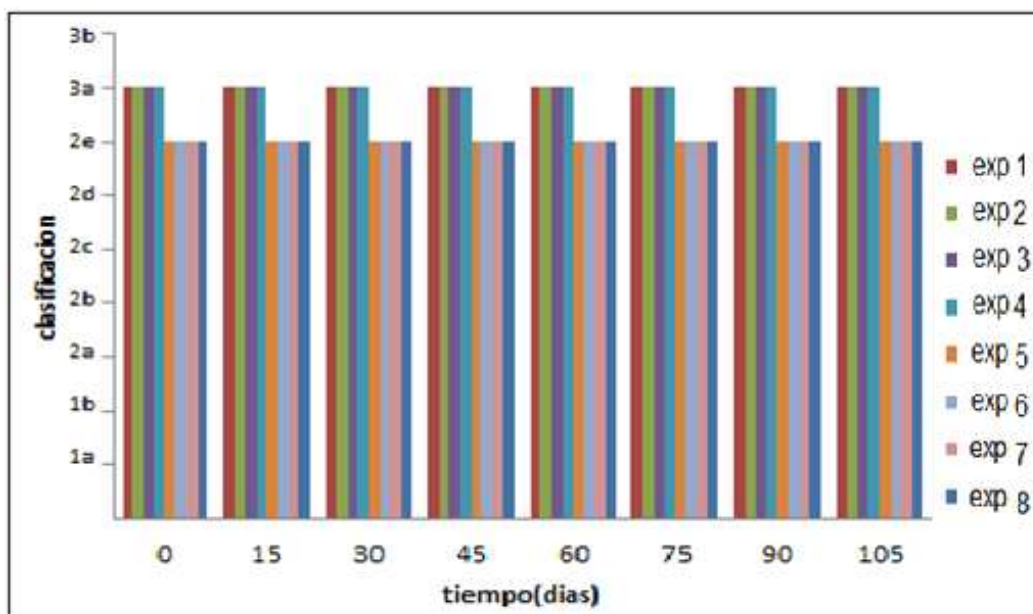
atribuye a las condiciones experimentales de almacenamiento (temperatura de 20°C y bajo contenido de humedad), las cuales podrían llegar a facilitar una disminución del espacio que ocupan las moléculas (Benjumea H., Chaves N., & Vargas R., 2006). En cuanto al porcentaje de mezcla, ésta aumenta la densidad del biocombustible, debido a que el biodiesel tiene una mayor densidad que el diésel, razón por la que el experimento 5 cuyo tipo de mezcla es B15 representa el mayor valor en densidad.

El incremento en la densidad de las mezclas puede perjudicar y dañar ciertos tipos de bomba de combustible, causando corrosión en los cauchos y conductos metálicos, aumentando a su vez las emisiones de material particulado (Montoya & Rojas , 2009).

10.2.6. LÁMINA DE COBRE

En la gráfica 6 se puede notar que los experimentos con tipo de mezcla B15 se clasificaron como 2e y aquellos B10 como 3a (ver anexo 2); la presencia de azufre en el combustible diésel es el causante de la corrosión de la lámina de cobre.

Gráfico 6. Resultados de la lámina de cobre de las mezclas biodiesel-diésel de palma bajo diferentes condiciones de almacenamiento



Los biocombustibles con una clasificación mayor en la prueba lámina de cobre emitirán mayores cantidades de SO_x a la atmosfera lo cual contribuye a incrementar el fenómeno conocido como lluvia ácida (Inecc, 2014).

10.3. PRESENCIA DE PERÓXIDOS

En los gráficos 7 y 8 se muestran los espectros FTIR correspondientes a los experimentos 6 y 8 (seleccionados por reportar mayor variación en intensidad de banda); la presencia de peróxidos se puede evidenciar a través de las bandas de absorción ubicadas entre 900 y 700 cm⁻¹ (ROOR), mientras que aquellas que están en la región comprendida entre 3852.7 cm⁻¹ y 2926 cm⁻¹, se relacionan con procesos de oxidación (Leiva, Romero, Gorge, Gomez, & Castro, 2009).

Gráfico 7. Espectros FTIR del experimento 8

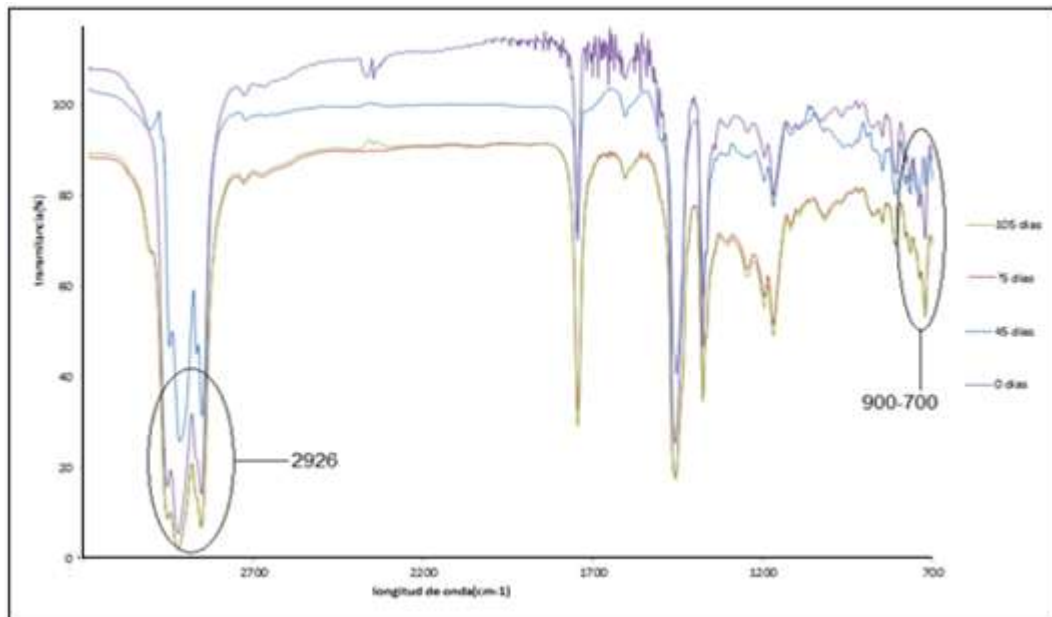
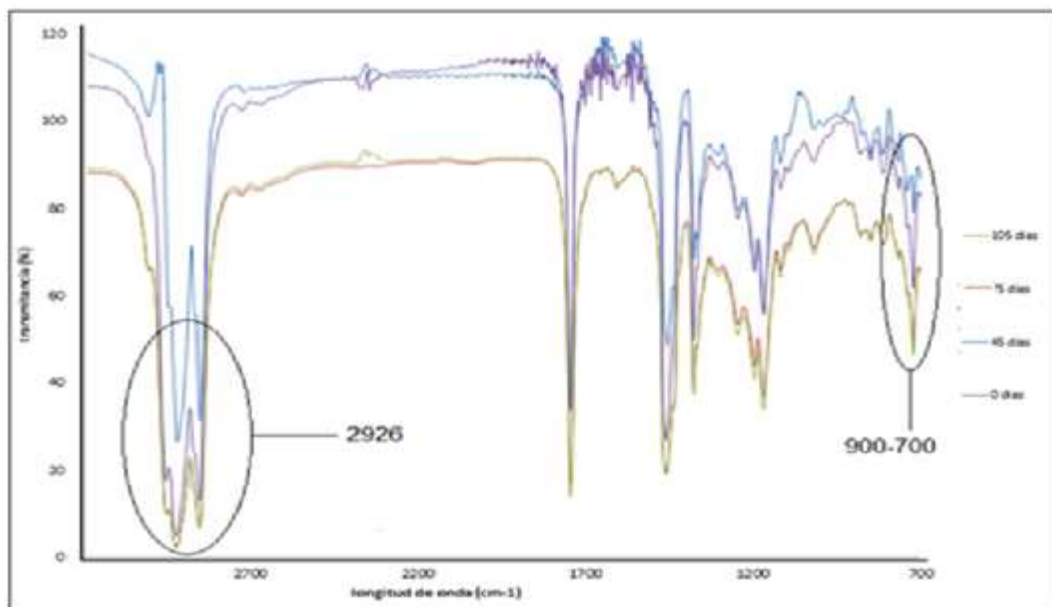


Gráfico 8. Espectros FTIR del experimento 6



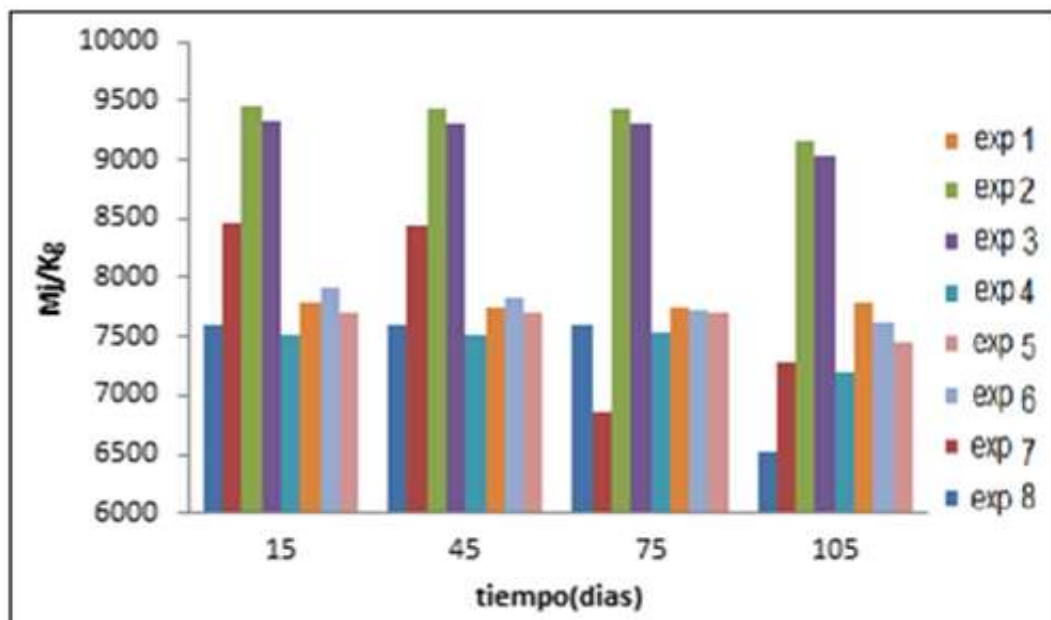
Se aprecia mayor intensidad en las bandas que corresponden a un tiempo de almacenamiento de 105 días, hecho que se puede relacionar con el incremento en la concentración de grupos funcionales asociados a la presencia de

peróxidos, los cuales se ven favorecidos por condiciones experimentales como humedad y alto porcentaje de mezcla (Quiroz, 2011). Igualmente se observa un ligero efecto de la temperatura, en donde un incremento en este parámetro físico, representa mayor intensidad de banda en el espectro del experimento 8. El incremento en la concentración de peróxidos en combustibles y/o mezclas, significa un aumento de las emisiones de NOx cuando se lleva a cabo la combustión (Pattamaprom C, 2011).

10.4. EVALUACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

En el gráfico 9 se muestra el poder calorífico obtenido en los distintos experimentos realizados.

Gráfico 9. Resultados del poder calorífico de las mezclas biodiesel-diésel bajo diferentes condiciones de almacenamiento.



En términos generales se observa tendencia lineal descendente del poder calorífico, en donde los experimentos 7 y 8 reportan mayor disminución con

respecto a las demás muestras, comportamiento que se puede atribuir a las condiciones de almacenamiento (mezcla B15 y temperatura de 30°C); el biodiesel tiene menor poder calorífico que el diésel, razón por la cual a mayor porcentaje de mezcla, disminuye el poder calorífico (Rojas, Chaparro , & Ospina, 2011). El incremento de temperatura de las mezclas biodiesel-diésel dará como resultado un menor poder calorífico durante las pruebas de poder calorífico (Martinez, Riesco , & Armas , 2009).

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, por lo tanto al disminuir su poder se genera mayor consumo del biocombustible que a su vez aumentará las emisiones producto de la combustión.

11. CONDICIONES ADECUADAS DE ALMACENAMIENTO

11.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó a cada parámetro físico-químico para valorar las condiciones adecuadas de almacenamiento de la mezcla biodiesel-diésel.

En el ANOVA con nivel de significancia del 5% se encontró que el efecto del almacenamiento representa diferencias estadísticamente significativas en todas las propiedades, dado que al menos uno de los promedios del valor es diferente de los otros. Además se determinó valores de probabilidad continua (P y F) registrados en la tabla valores p y F para los experimentos 1 a 8 del análisis de varianza con significativa en el nivel 0.05 (ver anexo 3).

A partir de la prueba de Tukey se puede afirmar que para viscosidad, contaminación total, densidad y acidez hay diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo 0 y los 105 días de almacenamiento en todos los experimentos.

En el caso de la humedad, los experimentos 1, 2, 3, 5, 6 y 7 no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cada experimento a lo largo del almacenamiento (ver anexo 4).

En la tabla 7, al comparar el comportamiento de cada una de las propiedades evaluadas a lo largo del almacenamiento (ver anexo 5,6 y 7) en todos los experimentos se observó que la menor variabilidad en cada caso fue:

Tabla 7. Muestras de menor variabilidad según análisis estadístico

Parámetro	Muestras que presentan menor	
------------------	-------------------------------------	--

	variación	Condiciones Almacenamiento		
		Mezcla (%)	Temperatura (°C)	Humedad
Viscosidad	Muestra 1	10	20	No
	Muestra 6	15	20	Si
	Muestra 8	15	30	Si
Contaminación	Muestra 1	10	20	No
	Muestra 5	15	20	No
	Muestra 6	15	20	Si
Densidad	Muestra 3	10	30	No
	Muestra 5	15	20	No
	Muestra 6	15	20	Si
Acidez	Muestra 3	10	30	No
	Muestra 4	10	30	Si
	Muestra 5	15	20	No
	Muestra 6	15	20	Si
Humedad	Muestra 1	10	20	No
	Muestra 5	15	20	No

	Muestra 6	15	20	Si
	Muestra 7	15	30	No

Al observar todas las condiciones de almacenamiento los experimentos que reportaron menor variación fueron los experimentos 5 y 6

12. CONCLUSIONES

- Temperaturas bajas (20 °C) modifican las propiedades físicas de las mezclas diésel – biodiesel, ya que el biocombustible tiende a solidificar y generar sedimentos incrementando densidad, viscosidad y por tanto contaminación total.
- El incremento de temperatura (30 °C) como factor a evaluar en las condiciones de almacenamiento de las mezclas diésel – biodiesel, afecta propiedades químicas tales como incremento de concentración de peróxidos disminuyendo a su vez el poder calorífico del combustible.
- La presencia de humedad resulta ser factor importante en el incremento de la concentración de peróxidos en las mezclas combustibles, hecho que se evidencia a través del aumento en intensidades de bandas en los espectros FTIR de las muestras seleccionadas.
- Las propiedades químicas de las mezclas diésel – biodiesel aumentan durante el tiempo de almacenamiento, como consecuencia del efecto de factores tales como presencia de humedad y bajo porcentaje de mezcla (B10).
- El porcentaje de mezcla diésel – biodiesel como factor evaluado en las condiciones de almacenamiento de las mezclas diésel – biodiesel, afectó especialmente propiedades químicas; bajos porcentajes (B10) incrementaron índice de acidez y corrosión a la lámina de cobre, mientras que porcentajes altos (B15) disminuyeron el poder calorífico debido a las características del biodiesel.

- Las condiciones de almacenamiento más adecuadas para preservar la estabilidad química de las mezclas de combustible diésel - biodiesel por mayor tiempo, implican temperatura de 20°C, bajo contenido de humedad y porcentaje de mezcla de B15, condiciones que se representan en el experimento # 7.

13. RECOMENDACIONES

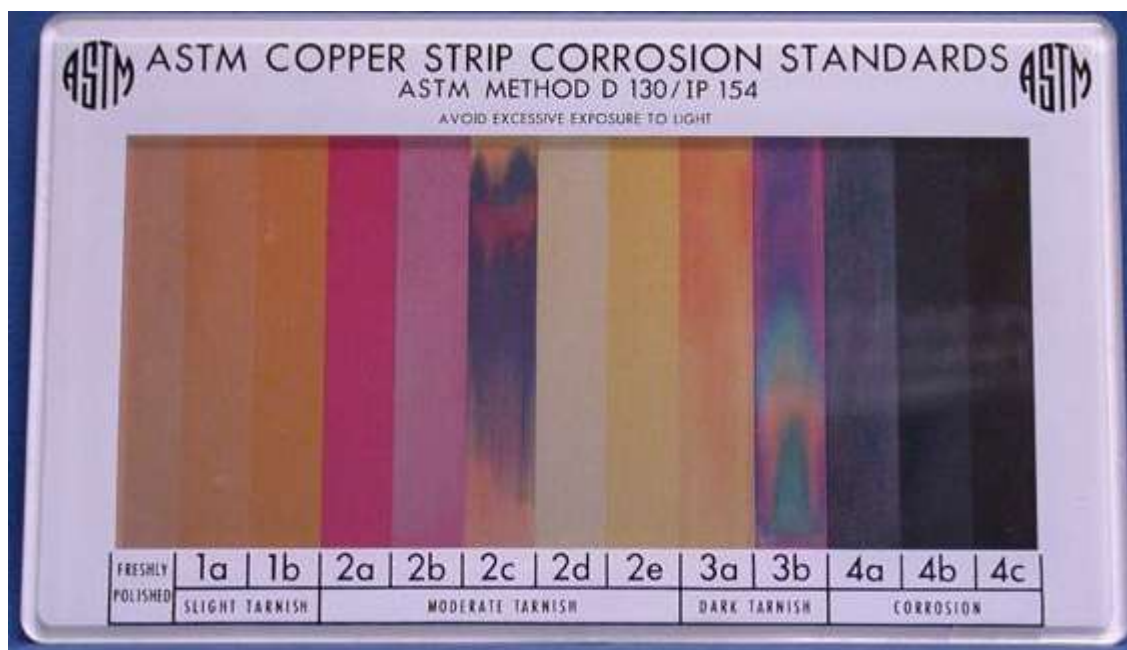
- Realizar estudios similares donde se relacione la estabilidad en términos de composición de esteres metílicos de ácidos grasos (FAMES).
- Para investigaciones similares utilizar materiales similares a los utilizados durante el almacenamiento de los combustibles
- Evaluar en fuentes móviles combustión y productos, de la mezcla biocombustible pasado el tiempo establecido de almacenamiento.

14. ANEXOS

Anexo1. Caracterización físico-química del biodiesel puro

PARÁMETRO	VALOR (LABORATORIO)	UNIDAD	MÉTODO	VALOR NORMA (FEDEPALMA)
VISCOSIDAD CINEMATICA	2,074	mm ² /s	ASTM D445	1,9 - 6,0
CONTENIDO DE AGUA	0,049	%	Método gravimétrico para % de humedad	<0,05%
DENSIDAD	877	Kg/m ³	ASTM/NTC	860 – 900
LAMINA DE COBRE	1B		ASTM D130	<3
CONTAMINACION TOTAL	97,142	mg/Kg	EN 12662	24 máximo
INDICE DE ACIDEZ	0,134	mg NaOH/g	ASTM D664	0,5 máximo

Anexo 2. Tabla de colores para la prueba de lámina de cobre



Anexo 3. Valores p y F para los experimentos 1 a 8 del análisis de varianza con significativa en el nivel 0.05.

Experimento	Viscosidad		Contaminación		Densidad		Humedad		Acidez	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
1	58.967	<0,001	74.126	<0,001	28.336	<0,001	0.503	<0,001	5837.207	<0,001
2	72.939	<0,001	78.213	<0,001	73.126	<0,001	0.165	<0,001	17.456	<0,001
3	409.608	<0,001	143.396	<0,001	44.841	<0,001	0.066	<0,001	8.967	<0,001
4	515.535	<0,001	142.345	<0,001	258.251	<0,001	10.155	<0,001	18.763	<0,001
5	448.551	<0,001	30.581	<0,001	13.487	<0,001	0.306	<0,001	8.946	<0,001
6	397.714	<0,001	29.24	<0,001	86.317	<0,001	0.071	<0,001	7.805	<0,001
7	127.341	<0,001	21.658	<0,001	229.023	<0,001	0.217	<0,001	7.056	<0,001
8	280.533	<0,001	66.345	<0,001	131.547	<0,001	4.147	<0,001	7.056	<0,001

Letras resaltadas: amarillo representa menor y rojo mayor variabilidad

Anexo 4. Análisis estadístico humedad

1	A	A	A	A	A	a	a	A
	0	15	30	45	60	75	90	105
2	A	A	A	A	A	a	a	A
	0	15	30	45	60	75	90	105
3	A	A	A	A	a	a	a	A
	0	15	30	45	60	75	90	105
4	Ab	ab	Ab	abd	cb	ac	cd	C
	0	15	30	45	60	75	90	105
5	A	A	A	A	a	a	a	A
	0	15	30	45	60	75	90	105
6	A	A	A	A	a	a	a	A
	0	15	30	45	60	75	90	105
7	A	A	A	A	a	a	a	A
	0	15	30	45	60	75	90	105
8	A	ac	Ac	ac	ac	ac	ac	bc
	0	15	30	45	60	75	90	105

Anexo 5. Análisis estadístico contaminación total

Exp1	A	B	Bc	bd	be	F	g	H
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp2	A	B	Bc	bd	def	df	fg	gh
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp3	A	B	Bc	bd	bef	f	g	hg
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp4	A	B	Bc	bd	def	fg	gh	H
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp5	A	B	Cb	bd	ceh	cfh	cgh	H
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp6	A	B	Cbf	bd	bef	fd	gf	fg
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp7	A	bd	Cd	dh	edh	fdh	ghd	H
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp8	A	B	Cb	db	be	ef	egh	fh
	0	15	30	45	60	75	90	105

Anexo 6. Análisis estadístico densidad

1	ac	A	A	a	a	a	c	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
2	A	A	A	a	a	a	b	C
	0	15	30	45	60	75	90	105
3	a	A	A	a	a	a	b	C
	0	15	30	45	60	75	90	105
4	a	B	B	b	c	d	e	F
	0	15	30	45	60	75	90	105
5	ac	ac	A	ac	ac	ac	C	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
6	a	B	A	a	b	b	c	D
	0	15	30	45	60	75	90	105
7	a	bc	C	cd	ab	a	e	F
	0	15	30	45	60	75	90	105
8	a	ac	A	a	bc	bd	e	F
	0	15	30	45	60	75	90	105

Anexo 7. Análisis estadístico viscosidad

Exp1	A	b	A	a	b	b	ab	c
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp2	A	bc	C	dc	ec	fc	gc	h
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp3	A	bcg	C	dc	ec	fd	gd	h
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp4	A	b	Cd	bd	e	f	fg	h
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp5	A	b	Bc	bd	e	f	fg	h
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp6	A	b	Cd	d	eb	fb	ge	F
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp7	A	b	Cd	bd	be	fb	fg	h
	0	15	30	45	60	75	90	105
Exp8	A	b	Bc	cd	bde	fb	g	h
	0	15	30	45	60	75	90	105

Anexo 8. Análisis estadístico acidez

1	a	bc	C	dc	e	fe	g	H
	0	15	30	45	60	75	90	105
2	a	a	A	a	a	a	a	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
3	a	a	A	a	a	ac	ac	bc
	0	15	30	45	60	75	90	105
4	a	a	A	a	a	a	a	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
5	a	a	A	a	a	a	a	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
6	a	a	A	a	a	a	a	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
7	a	a	A	a	a	ab	ab	B
	0	15	30	45	60	75	90	105
8	a	a	A	a	a	b	b	B
	0	15	30	45	60	75	90	105

15. BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo , J., & Bedoya , I. (2005). Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma . *Ingeniería y desarrollo universidad del norte* .
- Aguilar, C., & Rodríguez, K. (2015). *Evaluación de la Estabilidad Oxidativa del Biodiesel de Jatropha (Jatropha curcas L.) mediante el uso de Antioxidantes Sintéticos y Biodiesel de Palma*. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de www.scielo.cl: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642015000200007&script=sci_arttext
- Agudelo , J., & Benjumea , P. (2003). BIODIESEL una revision del desempeño mecani y ambiental . *rcientificas uninorte* , 1-14.
- Aquino I.P, H. R. (15 de junio de 2012). Influence of light, temperature and metallic ions on biodiesel degradation. *Fuel*, 796-807. Recuperado el 14 de Octubre de 2013, de <http://www.journals.elsevier.com/fuel>
- ARPEL , IICA. (octubre de 2009). *MANUAL DE BIOCOMBUSTIBLES*. Recuperado el 14 de marzo de 2014, de http://www.olade.org: http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Manual_Biocombustibles_ARPEL_IICA.pdf
- Arpel. (2010). *Manual de Biocombustibles*. IICA.
- Arpel, I. (2009). *Manual de Biocombustibles*. ARPEL,ICCA.
- Alternative Fuels Data Center. (agosto de 2015). *Alternative Fuels Data Center*. Recuperado el 28 de enero de 2016, de www.afdc.energy.gov: http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/biodiesel_basics_spanish.pdf
- Avellaneda Vargas, F. (16 de marzo de 2010). producción y caracterización de biodiesel de palma y aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal . *tesis doctoral* . tarragona , españa: universidad rovira i virgili.
- Avellaneda Vargas, F. A. (2010). producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. *TESIS DOCTORAL* . Tarragona , España: Universitat Rovira i Virgili.
- Baleroza, L. (2013). *Caracterización de mezclas diesel-biodiesel*. Ecuador : Universidad Central del Ecuador .

- Banco Mundial . (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas. *banco mundial*.
- Benjumea H., P. N., Chaves N., G., & Vargas R., C. M. (2006). Efecto de la temperatura sobre la densidad del biodiesel de aceite de palma . *energetica* , 41-48.
- Benjumea, P. (2006). Predicción del efecto de la temperatura sobre la viscosidad del biodiesel de aceite de palma y sus mezclas con diésel. *energetica*, 33-38.
- Benjumea, P. n., & Agudelo, J. (2009). *biodiesel: produccion calidad y caracterizacion*. medellin: universidad de antioquia.
- Benjumea, P., Chaves, G., & Vargas , C. (2006). Efectos de la temperatura sobre la densidad del biodiesel de aceite de palma y sus mezclas con diesel conveccional . *Revista Eneretica* , 46.
- biodiosol. (2014). *biodiesel, que es el biodiesel*. Recuperado el 29 de enero de 2014, de www.biodiosol.com: <http://www.biodiosol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/>
- Bosque Ferreira, M. (2013). *Tendencias Globales para el Combustible Diesel*. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de www.unep.org: http://www.unep.org/transport/pcfv/PDF/ecofuel_tendencias.pdf
- Bp. (2016). Calidad superior para los motores más exigentes. *BP Global*.
- Burin , M. (2010). Biodiesel.el dia 31. *INTI*.
- Cardona Alzate, C. A., & Orrego Alzate, E. C. (2009). *AVANCES INVESTIGATEOS*. manizales: Gráficas Tizan.
- Castro Pareja, P. (2009). *producción de biodiesel*. Recuperado el 2 de marzo de 2014, de www.corpoica.org.co/: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Documento/JatrophaContrataciones/CURSO-BIODIESEL.pdf>
- Catejon Sandoval, O. (2011). *capitulo v experimentos factoriales*. Recuperado el 25 de octubre de 2013, de <http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualdestatistix/cap5.pdf>
- Cepsa. (2012). *Estabilidad a la oxidación en diesel*. Recuperado el 10 de DICIEMBRE de 2015, de <http://www.cepsa.com/carburantesoptima/investigacion/investigacion-ensayos-laboratorio-oxidacion-diesel.html>
- Chenard, D. G. (2010). *Influencia del biodiésel sobre la calidad del combustible diésel*. cuba : cubasolar .

- CIOH. (2009). *climatología de los principales puertos del caribe colombiano santamarta* . Recuperado el 19 de febrero de 2014, de www.cioh.org.co:www.cioh.org.co/index.php/.../842-climatologia-santa-marta-junio-2009
- CMGRD . (2012). *MUNICIPIO DE CIMITARRA* . Recuperado el 19 de febrero de 2014, de <http://cimitarra-santander.gov.co/>: <http://cimitarra-santander.gov.co/apc-aa-files/62363730656637383036356563333265/pmgrd-cimitarra-diciembre-2012.pdf>
- CNE. (2007). *Cuáles son las ventajas y las desventajas de usar biodiesel en lugar de diesel*. Recuperado el 27 de ENERO de 2016, de <http://www.cne.gob.sv/>: http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_quickfaq&view=items&cid=4%3Afaq-biocombustibles&id=4%3Aicuales-son-las-ventajas-y-las-desventajas-de-usar-biodiesel-en-lugar-de-diesel&Itemid=181
- consejo municipal de facatativa. (2012). *plan de desarrollo economico social y ambiental*. Recuperado el 19 de febrero de 2014, de www.facatativa-cundinamarca.gov.co: <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/32666261396530396563616434656231/plan-desarrollo-todos-somos-facatativa.pdf>
- Corredor , A. (2009). *“Tablero de comando” para la promoción de los biocombustibles en colombia*. santiago de chile: naciones unidas.
- Ecopetrol. (2012). *Biocombustibles en Colombia un sector cosolidado . Entorno Verde*.
- energias biodegradables. (2013). *beneficios del biodiesel*. Recuperado el 10 de octubre de 2013, de http://www.energiasbiodegradables.com/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=4&Itemid=32
- fedearroz. (mayo de 2012). *boleti informativo* . Recuperado el 19 de febrero de 2014, de www.fedearroz.com.co/: http://www.fedearroz.com.co/revistanew/correo_257.pdf
- fedebiocombustibles. (noviembre de 2013). *2014, el año de los biocombustibles*. Recuperado el 10 de febrero de 2014, de <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-1683.htm>
- Fedebiocombustibles. (2014). *ventajas y desventajas del biocombustible*. Recuperado el 10 de abril de 2014, de <http://www.fedebiocombustibles.com/>: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-923.htm>

- fedebiocombustibles. (2015). *produccion y venta del biodiesel* . Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de www.fedebiocombustibles.com: <http://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-produccion-titulo-Biodiesel.htm>
- fedepalma. (24 de marzo de 2010). *Fundamentos de sostenibilidad en la agroindustria de la palma de aceite , mercados y desarrollo sostenible*. Obtenido de conalpe: http://www.conalpe.gov.co/files/editor/files/conferencia_miguel_mazorra.pdf
- federacion nacional de biocombustibles. (2013). *preguntas frecuentes sobre los biocombustibles*. Recuperado el 1 de noviembre de 2013, de <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-923.htm>
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. (2008). *Guía de buenas prácticas de manejo para el biodiesel y las mezclas diesel–biodiesel en la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados de petróleo en Colombia*. Recuperado el 24 de septiembre de 20013, de <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/6448.pdf>
- fedesarrollo. (octubre de 2012). *evaluacion de la politica de biocombustibles colombia*. Recuperado el 8 de febrero de 2014, de <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Evaluaci%C3%B3n-de-la-pol%C3%ADtica-de-Biocombustibles-en-Colombia.pdf>
- Ferreira, M. (2009). *Tendencias Globales para el Combustible Diesel*". PETROBAS.
- fuel next. (2008). *que es el biodiesel*. Recuperado el 28 de enero de 2014, de [biodiesel.com: http://biodiesel.com.ar/historia-del-biodiesel](http://biodiesel.com.ar/historia-del-biodiesel)
- González, A. H. (2012). *Metodología y técnicas cuantitativas*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Guerrero, J. I., Rodríguez, D. F., & Serratto, L. M. (2013). *Producción de biodiesel a partir de aceite de palma crudo*. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de [www.galeon.com: http://www.galeon.com/densidadaceite/biopalma.pdf](http://www.galeon.com/densidadaceite/biopalma.pdf)
- Herrera Restrepo, j. a., & velez, j. a. (2008). *caracterizacion y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtencion de un combustible (biodiesel)*. *trabajo de grado Requisito final para optar al titulo de Tecnólogo Químico*. pereira, colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

- Indupalma. (2009). *aceite de palma*. Recuperado el 10 de abril de 2014, de <http://www.indupalma.com/>: <http://www.indupalma.com/aceite-de-palma>
- Indupalma. (2012). *aceite de palma*. Recuperado el 17 de septiembre de 2015, de www.indupalma.com: <http://www.indupalma.com/aceite-de-palma>
- Inecc. (2014). Lluvia Acida. *INECC*.
- Isaza Roldan, C. (2009). *energua solar*. Recuperado el 19 de febrero de 2014, de media.utp.edu.co: <http://media.utp.edu.co/tecnologia-mecanica/archivos/proceso-de-autoevaluacion/energiasolar.pdf>
- Jain, S., & sharma, M. (28 de junio de 2011). Correlation development between the oxidation and thermal stability of biodiesel. *fuel*, 354-358. Recuperado el 13 de octubre de 2013, de <http://www.journals.elsevier.com/fuel>
- Kent Hoekmana S., B. A. (20 de octubre de 2011). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149-164.
- Leiva, L., Romero, G., Gorge, N., Gomez, M., & Castro, E. (2009). analisis de espectroscopia UV e IR del 1, 2, 3, 4 - Tetroxano. Un estudio teorico y experimental. *Universidad de argentina*.
- M, C., & J., V. G. (2001). Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 1429 - 1436.
- Ministerio de Minas y Energía. (2011). *Buenas practicas de manejo* . bogota: Cenipalma .
- Moser, B. (2009). Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cell.Dev.Biol.—Plant*, 229-266.
- Murillo , J. E. (2003). *Produccion del biodiesel apartir del aceite palma* . Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de www.bdigital.unal.edu.co: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1191/1/jorgeeduardomurillovaldes.2003.pdf>
- Murillo, J. E. (Agosto de 2003). produccion de biodiesel a partir de aceite de palma. *trabajo de grado para obtener el titulo de ingeniero quimico*.
- next fuel. (2008). *que es el biodiesel*. Recuperado el 29 de enero de 2013, de [biodiesel.com](http://biodiesel.com.ar/): <http://biodiesel.com.ar/que-es-el-biodiesel>
- Oil fox. (2010). *Impactos sobre el motor diesel*. Recuperado el 27 de ENERO de 2016, de www.oilfox.com.ar: <http://www.oilfox.com.ar/pdf/impactos%20sobre%20el%20motor.pdf>

- Pattamaprom C, P. W. (28 de junio de 2011). Storage degradation of palm-derived biodiesels: Its effects on chemical properties. *Renewable Energy*, 412-418. Recuperado el 12 de octubre de 2013, de <http://www.journals.elsevier.com/renewable-energy>
- peña, c. (2011). *diseño experimental*. Recuperado el 5 de noviembre de 2013, de <http://simulacionunilibre.blogspot.com/p/disenio-experimental-definicion-ventajas.html>
- Piloto Rodríguez Ramón, S. R. (2009). Evaluación cinética de la descomposición térmica de diferentes tipos de biodiesel mediante termogravimetría. *Revista CENIC.*, 139-142.
- quiñonez cantor, I., & mateus prieto, I. (2003). dimensionamiento y montaje de un reactor piloto para la obtencio de biodiesel a partir de aceites vegetales gastados. *trabajo de grado*. bogota, colombia: universidad nacional.
- Quiroz, B. A. (noviembre de 2011). Evaluación de estabilidad en almacenamiento en dos ambientes del biodiesel de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) y dos variedades de piñón (*Jatropha curcas*). *Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar*.
- Retana jimenes , i. (noviembre de 2008). *instituto ncional de aprendizaje* . Recuperado el 25 de enero de 2016, de <http://www.ina.ac.cr/>: http://www.ina.ac.cr/mecanica_de_vehiculos/Transferencia%20tecnologica%20sobre%20ventajas%20y%20desventajas%20de%20la%20utilizacion%20del%20biodiesel.pdf
- Retana Jimenez, I. (noviembre de 2008). *Transferencia tecnológica sobre las ventajas y*. Recuperado el 7 de may0 de 2014, de <http://www.ina.ac.cr/>: http://www.ina.ac.cr/mecanica_de_vehiculos/Transferencia%20tecnologica%20sobre%20ventajas%20y%20desventajas%20de%20la%20utilizacion%20del%20biodiesel.pdf
- Rojas, A., Chaparro , O., & Ospina, C. (2011). Evaluacion de mezclas biodiesel-diesel en la generacion de energia electrica . *scielo*, 319-336.
- Romero , H., & Etter, L. (2012). *Evaluacion de la politica de biocombustibles en Colombia* . fedesarrollo .
- Sharma, M. (21 de julio de 2012). Correlation development between the oxidation and thermal stability of biodiesel. *fuel*, 354-358.
- Sierra López , M. (diciembre de 2012). estudio de la estabilidad a la oxidación y otras propiedades del biodiésel empleando bio-oil como aditivo . zaragoza, españa: Escuela de Ingeniería y Arquitectura U. zaragoza.

- Teuta , C., Arias , D., & Plazas , J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico . *Avances* , 76.
- Torres y Carrera, c. d. (2010). *informe biocombustibles*. madrid: torres y carrera.
- U de las palmas de gran Canaria . (2010). *Diseños factoriales* . Recuperado el 1 de octubre de 2015, de <http://www.iuma.ulpgc.es/>: <http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/mastertecnologiatelecomunicacion/Tema3DisenodeExperimentos/doe-5-tratamientos-factoriales.pdf>
- UAM. (2013). *absorción de infrarrojo*. Recuperado el 16 de septiembre de 2015, de Universidad Autonoma de Madrid: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/josem/static/infrarrojo.pdf
- Unipalma. (2010). *aceite de palma*. Recuperado el 10 de abril de 2014, de <http://www.unipalma.com/>: <http://www.unipalma.com/productos-y-servicios/aceite-de-palma>
- Universidad de Antioquia. (2012). Estudio de la estabilidad oxidativa de biodiésel de aceite de palma en contacto con materiales metalicos y poliremicos automatrices. Medellin.
- Universidad de Granada. (2014). *tutorial de espectroscopia*. Recuperado el 13 de octubre de 2015, de <http://www.ugr.es/>: <http://www.ugr.es/~quiorred/espec/intro.htm>
- Universidad de Valladolid. (2012). *Calculo relativo a la combustion*. ingeniería energética y fluidomecánica.
- Upme. (abril de 2009). *Biocombustibles en Colombia*. Obtenido de [upme.gov.co](http://www.upme.gov.co): http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf
- UPME. (2009). *Biocombustibles en colombia*. Recuperado el 18 de febrero de 2014, de UPME: http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf
- UPME. (abril de 2009). *Biocombustibles en Colombia*. Obtenido de [upme.gov.co](http://www.upme.gov.co): http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf
- UPME. (NOVIEMBRE de 2011). *Estado Actual y Perspectivas de los Biocombustibles en Colombia*. Recuperado el 19 de febrero de 2014, de Comisión Económica para América Latina: <http://www.eclac.cl/drni/noticias/noticias/8/45098/BeatrizHerrera.pdf>

- Velásquez, C. A. (diciembre de 2007). Estudio de estabilidad en almacén del biodiesel obtenido de aceite de soya (*Glycine max*), palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*), higuera (*Ricinus communis*) y piñón (*Jatropha curcas*). *Proyecto especial presentado como requisito parcial*. Zamorano , Honduras.
- vivaz castaño, a. m. (29 de julio de 2010). Estudio y obtención de biodiesel a partir de residuos grasos . *Trabajo de grado para optar el título de Químico Industrial*. pereira , risaralkda , colombia : universidad tecnologica de pereira .
- Zahir, E., Saeed, R., Hameed, M. A., & Yousuf, A. (2014). Study of physicochemical properties of edible oil and evaluation of frying oil quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy . *Arabian Journal of Chemistry*, 4.
- zuleta , h., rios, l., & calderon , j. (2012). *Estudio de la estabilidad oxidativa de biodiésel de*. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de www.scielo.org.co: <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v14n2/v14n2a07.pdf>