

Estudio de la estabilidad de emulsiones de aceite de palma en agua utilizando como emulador indol para la empresa COOHILADOS Del Fonce LTDA.

Anggie Carolina Pedrozo Poveda

Trabajo De Grado Para Optar El Título De Ingeniera Química

Director:

Luz Marina Ballesteros Rueda

Ingeniera química, MSC. Phd.

Codirector:

Jeison Heliodoro Garcia Aguilar

Coordinador de producción y jefe de mantenimiento

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela De Ingeniería Química

Bucaramanga

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios y a la virgencita, agradezco todas las bendiciones con las que han colmado mi vida y por permitirme culminar esta etapa.

A mi familia ya que sin ellos esto no tendría ningún sentido, gracias mami por ser mi mejor amiga, mi apoyo y mi empuje en cada uno de los peldaños que he ido subiendo a través de los años, gracias papi por perecear esos cinco minuticos más todos los días antes de prepararme el desayuno para luego llevarme al colegio y por haberme apoyado en cada lucha que he tenido (sin importar que tan perdida pareciera), gracias princesa hermosa por escuchar todas las exposiciones o mis narrativas para aprenderme las formulas y la teoría de las clases, ofreciéndome siempre tu ayuda a pesar de tener menos de 8 años y a ti Bibi por siempre consentirme con comidita sin importar a qué hora llegara del laboratorio o de la U. Este logro es más suyo que mío, así que quiero agradecerles inmensamente por permitirme materializarlo en su honor.

Por último a ti; mi amigo, mi tutor y hasta mi supervisor. Estoy segura que sin tu apoyo no estaría hoy realizando esta dedicatoria, Manu gracias por todas esas noches que pasaste en vela estudiando conmigo (sin importar si era sábado en la madrugada o si yo estaba con varicela), por no dejarme tirar la toalla aquellas veces que pensé hacerlo y por confiar en mis capacidades.

Esta tesis es por y para ustedes GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa COOHILADOS DEL FONCE LTDA. y al grupo de trabajo por el apoyo y el voto de confianza que depositaron en mí. Al centro de investigación en catálisis (CICAT) por la guía y apoyo constante durante este proceso y al economista Ismael Estrada por las horas dedicadas en pro de la resolución de aquellos tropiezos estadísticos que se presentaron en el transcurrir de la realización de este documento.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos	19
2. Cuerpo del trabajo	20
2.1 Metodología	20
2.1.1 Fase 1.	20
2.1.2 Fase 2	21
2.1.3 Fase 3	21
2.1.4 Fase 4	21
2.2 Análisis y resultados	23
2.2.1 Determinación de la influencia de la calidad del agua	23
2.2.2 Determinación de la influencia de la concentración	25
2.2.3 Determinación de la influencia de la velocidad de agitación	27
2.2.4 Determinación de la influencia de la temperatura	29
2.2.5 Análisis cuantitativo	30
4. Conclusiones	36
Referencia Bibliográfica	37
Apéndices	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones de operación de COOHILADOS DEL FONCE LTDA.	16
Tabla 2 Número de fases observadas a 5, 20, 45 , 60 y 7200 minutos en la emulsión cuando se varia el pH del agua utilizada en la preparación de la misma.	24
Tabla 3 Tiempo de separación de la emulsión cuando se varia la concentración de indol, oleína y agua manteniendo contante velocidad, temperatura y tiempo de agitación.	26
Tabla 4 Tiempo de separación de la emulsión cuando se varia la velocidad de agitación manteniendo constante la concentración de indol, oleína y agua; temperatura y tiempo de agitación.	28
Tabla 5 Resumen de la regresión lineal 1 del tiempo de estabilidad cuando se varia la concentración de indol, oleína y agua; tiempo, velocidad y temperatura de agitación, obtenida con el software Stata® 14.	30
Tabla 6 Resultados del tiempo de estabilidad de la emulsión cuando se varia el tiempo de agitación; la concentración de indol, oleína y agua.	33
Tabla 7 Resumen regresión lineal 2 del tiempo de estabilidad cuando se varia el tiempo de agitación; la concentración de indol, oleína y agua obtenida con el software Stata® 14	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de bloques del proceso de producción de sacos de COOHILADOS DEL FONCE LTDA. adaptado del área de producción COOHILADOS DEL FONCE LTDA. ____	14
Figura 2 Fórmula esquelética de la molécula de indol _____	17
Figura 3 estructura de una micela en un medio polar _____	18
Figura 4 Esquema metodológico _____	20
Figura 5 Esquema del procedimiento estándar. _____	22
Figura 6 Orden general de trabajo _____	23
Figura 7 Número de fases observadas a 5, 20, 45 , 60 y 7200 minutos en la emulsión cuando se varia el pH del agua utilizada en la preparación de la misma _____	25
Figura 8 Influencia de la concentración del agua en el tiempo de estabilidad de la emulsión. ____	27
Figura 9 Influencia de la concentración del indol en el tiempo de estabilidad de la emulsión. ____	27
Figura 10 Influencia de la concentración del agua en el tiempo de estabilidad de la emulsión. _	29
Figura 11 Influencia de la temperatura de agitación en el tiempo de estabilidad de la emulsión.	29
Figura 12 Regresión lineal del tiempo de estabilidad cuando se varia la concentración de indol y oleína; tiempo, velocidad y temperatura de agitación, obtenida con el software Stata® 14. Adaptado del software Stata® 14 _____	32
Figura 13 Regresión lineal del tiempo de estabilidad cuando se varia el tiempo de agitación; la concentración de indol, oleína obtenida con el software Stata® 14. Adaptada del software Stata® 14 _____	35

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A. Certificado ICONET ISO 9001 DEL 2015 _____	40
Apéndice B Certificado ICONTEC ISO 9001 DEL 2015 _____	41
Apéndice C. Certificado de calidad proporcionado por NOPCO COLOMBIANA S.A. _____	42
Apéndice D. Tabla de resultados obtenida de la primera etapa de experimentación _____	43

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE EMULSIONES DE ACEITE DE PALMA EN AGUA UTILIZANDO COMO EMULADOR INDOL PARA LA EMPRESA COOHILADOS DEL FONCE LTDA.*

AUTOR: Anggie Carolina Pedrozo Poveda**

PALABRAS CLAVES: Emulsión, Tiempo De Estabilidad, Tenso Activo.

Descripción: Este informe recopila toda la información suministrada y hallada en la práctica realizada en la Cooperativa Multiactiva de Hilados del Fonce LTDA. (COOHILADOS DEL FONCE LTDA.) la cual estudió la influencia de siete variables del proceso de producción en la estabilidad de las emulsiones de aceite de palma en agua utilizando como tenso activo indol, las cuales fueron pH del agua; concentraciones del agua, indol y oleína; temperatura, velocidad y tiempo de agitación. Se manipularon las variables independientes anteriormente mencionadas para analizar el impacto y relevancia que tenía cada una en la variable de salida (tiempo de estabilidad de la emulsión), tomando como niveles de estudio los establecidos por la empresa o elegidos de acuerdo a las condiciones mínimas y restricciones del diseño de la planta. Luego de la primera sesión de pruebas se evidenció la relevancia de tres variables, las concentraciones de oleína e indol y el tiempo de agitación, por lo cual se procedió a realizar nuevos ensayos para corroborar la información obtenida y verificar que la correlación lineal obtenida con el software estadístico gratuito Stata® 14 fuera correcto y permitiera predecir la variación del tiempo de estabilidad de la emulsión. Como conclusión se evidenció la gran relevancia que tiene la concentración del indol y oleína en nuestra variable de salida.

*Trabajo de grado

**Facultad De Ingenierías Físico Químicas. Escuela De Ingeniería Química. Directora Luz Marina Ballesteros Rueda ingeniera química, MSC. Phd

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE STABILITY OF EMULSIONS OF PALMA OIL IN WATER USING AS AN INDOL EMULATOR FOR THE COMPANY COOHILADOS DEL FONCE LTDA.*

AUTHOR: Angie Carolina Pedrozo Poveda**

KEYWORDS: Emulsion, Stability Time, Emulator

DESCRIPTION : This report collects all the information provided and found in the practice carried out in the company Cooperativa Multiactiva de Hilados del Fonce LTDA. (COOHILADOS DEL FONCE LTDA.) which studied the influence of seven variables of the production process on the stability of the emulsions of palm oil in water using as active tensor indole, which were pH of the water; concentrations of water, indole and olein; temperature, speed and time of agitation. The aforementioned independent variables were manipulated to analyze the impact and relevance of each one in the output variable (emulsion stability time), taking as study levels those established by the company or chosen according to the minimum conditions and restrictions on the design of the plant.

After the first session the relevance of three variables, olein and indole concentrations and the agitation time, was evidenced. Therefore, new tests were carried out to corroborate the information obtained and verify that the linear correlation obtained with the Stata® 14 free statistical software was correct and allowed to predict the variation of the stability time of the emulsion. In conclusion, the great relevance of the concentration of indole and olein in our output variable (emulsion stability time) was evidenced and corroborated.

*Bachelor Thesis

**Facultad De Ingenierias Físico Químicas. Escuela De Ingeniería Química. Director Luz Marina Ballesteros Rueda ingeniera química, MSC. Phd

Introducción

La Cooperativa Multiactiva de hilados del Fonce LTDA. "COOHILADOS DEL FONCE LTDA." ubicada en la calle 22 No. 9-57 en el municipio de San Gil, Santander, lleva 18 años de existencia, pero su trayectoria en la elaboración de productos con un mayor valor agregado utilizando como materia prima el *Furcraea bedinghausii* (Garcia Mendoza , 2000). (fique) inició en el año 1940 bajo el nombre consorcio industrial de Santander, en el año 1997. Debido a la crisis del fique y por dificultades de carácter prestacional fue necesario cesar sus actividades laborales, es allí donde un grupo de 87 trabajadores decidieron unirse e inyectar capital para conformar la empresa ahora conocida como COOHILADOS DEL FONCE LTDA., la cual cuenta actualmente con 108 asociados y más de 300 trabajadores (COOHILADOS DEL FONCE LTDA., 2018).

La relación entre el fique o productos derivados del mismo y los seres humanos data de varios siglos atrás, cuando los indígenas utilizaban dicho material para la fabricación de armas de caza, telas, lazos, costales, entre otros. Pero fue hasta el siglo XIX que se le dio mayor provecho a esta fibra, ya que se convirtió en el material por excelencia para empacar el café, manteniendo en óptimas condiciones algunas propiedades como el aroma del grano (Cardona Franco, 2006).

Aprovechando las bondades de esta fibra la empresa COOHILADOS DEL FONCE LTDA. comenzó a utilizarla para producir empaques, telas, cordeles y sogas, contando con la certificación ICONET y la certificación ICONTEC ISO 9001 del 2015 (Apéndice A y B respectivamente) las cuales aprueban su producción y comercialización. Además, al cumplir con

las normativas establecidas por la Federación Nacional de Cafeteros (COOHILADOS DEL FONCE LTDA., 2018). y la norma IJO standard 98/01 de la organización internacional del yute se ratifican sus políticas amigables con el medio ambiente, garantizando así que todas sus materias primas y sus sacos son biodegradables, lo cual les permite ser utilizados para empacar café, cacao, arroz, maíz, papa, entre otros.

Esta cooperativa Sangileña actualmente se encuentran posicionados entre las 3 empresas más importantes a nivel nacional de esta industria (MOJICA PIMIENTO & PAREDES VEGA, 2004). Por tanto se mantiene en búsqueda constante de mejoras en sus líneas de producción, para así brindar al cliente un producto de excelente calidad a un costo muy competitivo. Para ello el fique debe pasar por procesos de transformación físicos para poder ser manipulado y utilizado de manera industrial en la manufactura de productos con mayor valor agregado.

Las pencas del fique requieren un proceso luego de ser cortadas de la planta, ya que estas deben ser recolectadas, desfibrada, lavadas y secadas antes de ser entregadas para la producción de productos con un valor agregado (Compañía de empaques S.A., 2012). En la Figura 1 se puede observar el proceso general al cual es sometido el fique al llegar a las instalaciones de COOHILADOS DEL FONCE LTDA. para la producción de sacos.

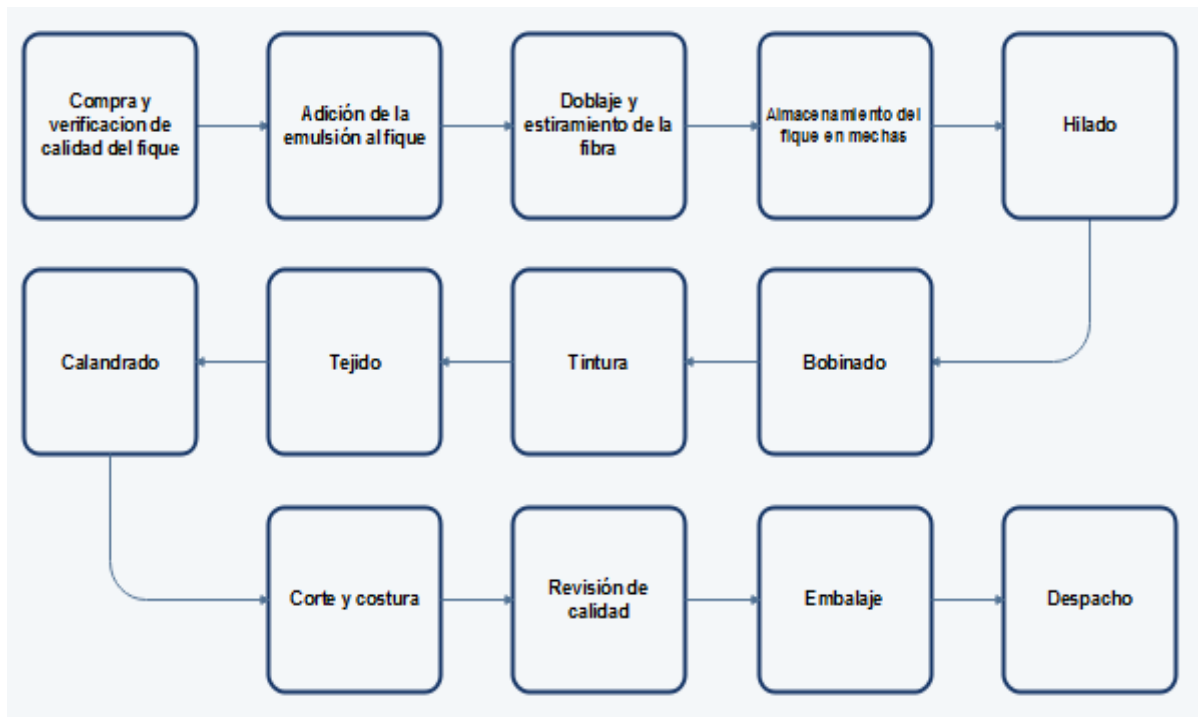


Figura 1 Diagrama de bloques del proceso de producción de sacos de COOHILADOS DEL FONCE LTDA. adaptado del área de producción COOHILADOS DEL FONCE LTDA.

La cadena de producción inicia con la adición de la emulsión a las fibras, las cuales pasarán a ser dobladas y estiradas por la acción de peines en movimiento para generar una mecha del calibre y espesor adecuados para la producción de los hilos. Las máquinas hiladoras reordenan las fibras gracias a los peines de la máquina y la rotación de los usos y carretes, los cuales se llevan a las máquinas bobinadoras para posteriormente tinturar el hilo y así tenerlo listo para el proceso de tejido (inserción de la trama por medio de espadas a gran velocidad), calandrado (planchado a presión) y corte (según la longitud determinada del saco). Estos sacos serán embalados en bultos prensados de 100 a 160 unidades (COOHILADOS DEL FONCE LTDA., 2018).

La emulsión añadida tiene gran relevancia, dado que esta es la responsable de garantizar la lubricación y suavización del fique para poder ser tratado y realizar procesos posteriores. Si la emulsión no se mantiene en una sola fase al ser aplicada puede provocar baja productividad, puesto que pueden quebrar las fibras al presentarse ausencia de oleína en el fique, mientras el exceso de oleína aumenta los costos y puede generar que la fibra se adhiera a las máquinas hiladoras, máquinas bobinadoras y telares.

La empresa COOHILADOS DEL FONCE LTDA. actualmente trabaja con una emulsión de aceite en agua utilizando como tenso activo el indol. Estas tres sustancias no tóxicas permiten la formación de la emulsión, la cual debería permanecer en una sola fase durante todo el proceso de producción, sin embargo la emulsión actualmente utilizada por la cooperativa presenta un menor tiempo de estabilidad que el requerido por el proceso de producción (tres días), ya que se presenta una separación de fases luego de haber sido añadida en el fique, esto se puede evidenciar con mayor facilidad cuando se deja en reposo la mecha de fique que luego se va a utilizar en el proceso de producción (las condiciones de operación actuales se presentan en la Tabla 1). Lo anterior genera pérdida de materias primas, daños en las máquinas y aumento del esfuerzo de los operarios, para la manipulación de la maquinaria y la necesidad constante de frenar la producción para retirar manualmente fragmentos de fique, lo cual ocasiona pérdidas económicas para la empresa.

Tabla 1.

Condiciones de operación de COOHILADOS DEL FONCE LTDA.

Concentración Agua (v/v)	85,7%
Concentración Oleína (v/v)	12,0%
Concentración Indol (v/v)	2,3%
Velocidad de agitación (rpm)	50
Tiempo de agitación total (min)	72
Temperatura de agitación (°c)	25
Temperatura de almacenamiento (°c)	26

Una emulsión se forma cuando dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles se encuentran mezclados formando una sola fase visible, esto es posible gracias a un tenso activo, que funciona como agente tenso activo permitiendo la formación de micelas, en las cuales se presentan zonas hidrófobas y zonas hidrófilas (Robert Aveyard, Binks , & Mea, 1989)., en el caso específico de COOHILADOS Del FONCE la emulsión se prepara con agua, aceite de palma e indol, el último cumple la función del tenso activo, por ello es el encargado de mantener la estabilidad entre la fase polar (el agua) (Greenwood & Earnshaw, 1997). y la fase apolar (la oleína de palma) (Reece, y otros, 2013).

La oleína de palma contiene ácido palmítico vegetal altamente saturado, cuenta con una cadena formada por 16 carbonos y su fórmula química es $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ (Behrman & Gopalan, 2012). por lo cual es la fase dispersa de la emulsión siendo un compuesto apolar, en contra parte la fase continua de la emulsión es polar (agua). Estos dos líquidos son inmiscibles entre ellos por su polaridad, es decir que al mezclar estas dos sustancias en un recipiente el agua

quedara en el fondo y el aceite quedara sobrenadante debido a diferencia de densidades, lo cual no permite la formación de una sola fase de manera espontánea. Por esto el indol cumple un papel de gran importancia en la formación de las micelas, permitiendo la interacción entre la sustancia polar y la no polar.

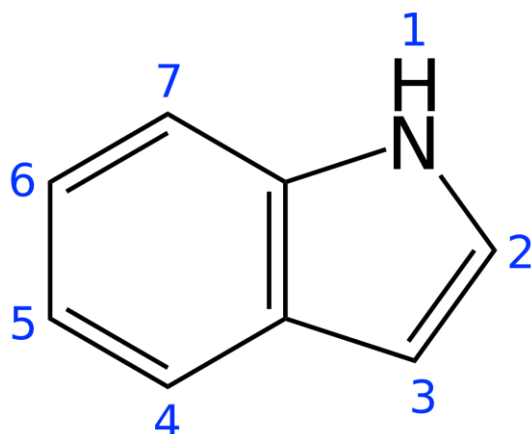


Figura 2 Fórmula esquelética de la molécula de indol

En la Figura 2 se puede observar la estructura del indol (C_8H_7N) o de los compuestos basados en el indol (Lee & Lee, 2010)., presentan una estructura bicíclica que está compuesta por un anillo de benceno y un anillo de pirrol de cinco miembros permitiendo generar interacciones tanto con el agua como con la oleína (Fessenden, 1983).

El benceno es un anillo insaturado que en este caso aporta apolaridad a la molécula (Holum)., permitiéndole generar interacciones con el ácido palmítico (Bruice, 2008)., mientras el grupo N-H del anillo de pirrol puede generar interacción con el agua (Holum)., el cual se atribuye al comportamiento de carácter anfifílico del indol.

Las emulsiones se pueden clasificar del tipo de aceite en agua o de agua en aceite dependiendo de su fase continua. La emulsion utilizada por COOHILADOS DEL FONCE LTDA. se cataloga del tipo de aceite en agua, dado que las micelas se encuentran en un medio

polar (Robert Aveyard, Binks , & Mea, 1989)., esta información nos permite tener mayor claridad del patrón de ordenamiento de la micela. En la Figura 3 podemos ver como las cabezas polares se encuentran en la superficie de la micela, mientras las colas hidrofóbicas se encuentran en el interior.

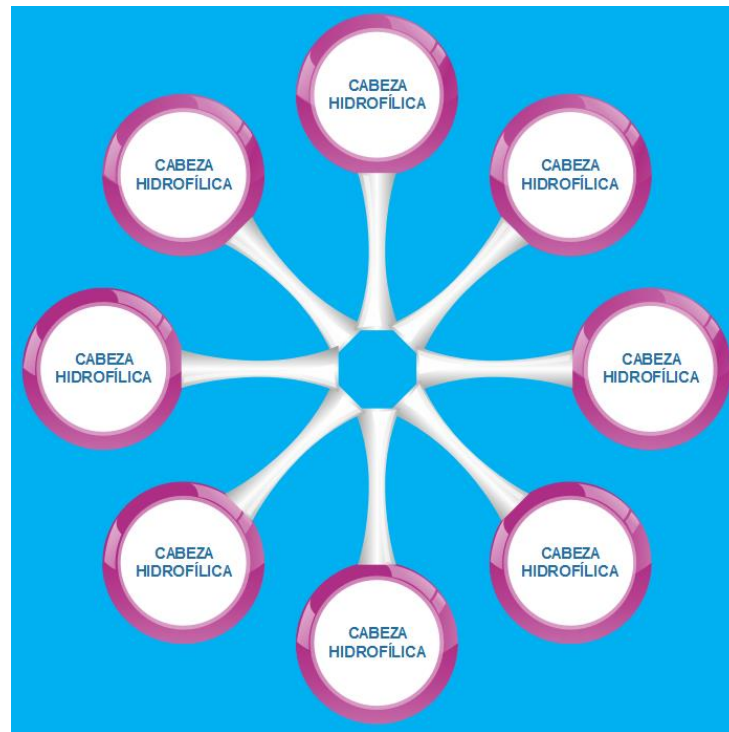


Figura 3 estructura de una micela en un medio polar

Este tipo de emulsiones revelan una ventaja en comparación de las micelas inversas (las cabezas hidrofílicas se encuentran en el centro mientras las calas hidrofóbicas se encuentran en la superficie), ya que pueden estar por más tiempo sin separarse lo cual brinda estabilidad a la emulsión.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Definir parámetros que afectan la estabilidad de la emulsión de aceite de palma en agua utilizando como tenso activo indol.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar la influencia de la calidad del agua en la estabilidad de la emulsión.

Determinar la influencia de las concentraciones de los componentes en la estabilidad de la emulsión.

Determinar la influencia de la velocidad de agitación presente en los tanques de almacenamiento en la estabilidad de la emulsión.

Determinar la influencia de la temperatura en la estabilidad de la emulsión.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Metodología

El presente trabajo cuenta con cuatro etapas metodológicas, las cuales corresponden a la resolución de cada objetivo específico, en la Figura 4 se muestra el esquema metodológico y los rangos de trabajo



Figura 4 Esquema metodológico

2.1.1 Fase 1. Con el objetivo de estudiar la influencia de la calidad del agua de preparación de la emulsión se realizan pruebas utilizando agua tipo 1 y se establece como parámetro de calidad el pH. Se observa el número de fases presentes en la emulsión a los 5, 20, 45, 60 y 7200 minutos.

2.1.2 Fase 2. Se define la concentración de cada muestra para poder analizar la influencia del indol, la oleína y el agua. Se observa el tiempo de estabilidad de la emulsión, teniendo como parámetro visual la aparición de una segunda fase.

2.1.3 Fase 3. Para determinar la relevancia de la velocidad de agitación de la emulsión en la estabilidad de la misma se utiliza la plancha de agitación para velocidades de agitación inferiores a las 2900 rpm y el ultra turrax, para velocidades de agitación de 2900 rpm en adelante. Se tabulan los tiempos de separación.

2.1.4 Fase 4. Con el objetivo de estudiar la influencia de la temperatura de agitación de la emulsión se realizan pruebas variando la temperatura de la plancha de calentamiento, los tiempos de estabilidad de emulsión son recolectados y tabulados.

La preparación de las emulsiones se realiza siguiendo el procedimiento estándar que se enumera a continuación, en la Figura 6 se presentan de manera gráfica cada uno de los numerales descritos. Las condiciones de operación fueron cambiadas según los requerimientos de cada fase metodológica establecida en la Figura 5.

Procedimiento estándar:

1. Utilizando el agitador se mezcla la oleína de palma y el indol.
2. Se mide el pH del agua, si se debe aumentar el pH se agrega NaOH y si se debe disminuir se adicionaba HCl.
3. Se pre-calienta la plancha de agitación a la temperatura a trabajar.
4. Se acomoda la mezcla de indol y oleína en la plancha de calentamiento y se agrega el agua.

5. Se detiene la agitación y se dejan reposar las muestras para observar el comportamiento de la emulsión.

6. Se realiza seguimiento y análisis cualitativo a las emulsiones y se anota el tiempo de estabilidad de emulsión.

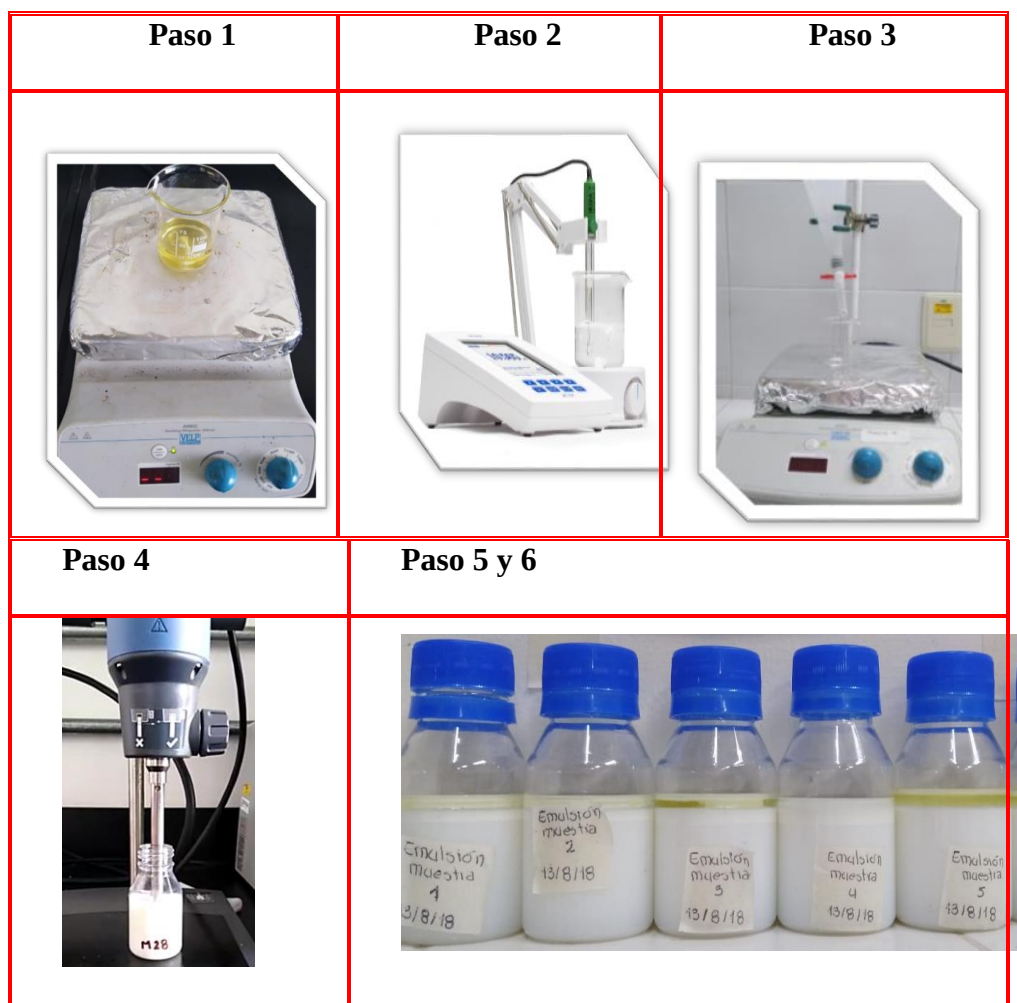


Figura 5 Esquema del procedimiento estándar.

Con los datos obtenidos en las pruebas anteriormente desarrolladas se realiza un primer estudio con el software estadístico Stata® 14, con este se analiza la variación del tiempo de separación de la emulsión en función de cinco variables independientes (concentración de indol

y oleína; velocidad, tiempo y temperatura de agitación), para generar un modelo que permita realizar un análisis cuantitativo del comportamiento de la emulsión.

Posteriormente se eligen las tres variables más significativas y se realizan nuevas pruebas siguiendo el proceso estándar, esto con el fin de corroborar el modelo estadístico obtenido anteriormente con el software estadístico Stata® 14. El proceso realizado se presenta de manera general en la Figura 6.



Figura 6 Orden general de trabajo

2.2 Análisis y resultados

2.2.1 Determinación de la influencia de la calidad del agua Se presentan los resultados de la fase 1 de la metodología en la Tabla 2, en ella se evidencia de forma cuantitativa que la emulsión se comporta de mejor manera al trabajar con pH cercanos al neutro, ya que se mantiene en una sola fase por más tiempo en las pruebas con pH de 7,0 y 7,3. La disminución en el tiempo de estabilidad de la emulsión evidenciado en la *figura* podría atribuirse a los radicales libres presentes en el agua a pH diferentes del neutro, ya que los radicales libres de OH^- y H^+ pueden interferir en las interacciones entre el emulaste y el agua, las cuales son necesarias para mantener la emulsión en una sola fase.

También se debe tener en cuenta la recomendación brindada por la empresa proveedora de indol en los certificados de calidad presentados a COOHILADOS DEL FONCE LTDA. en los cuales se recomienda trabajar en un rango de pH de 6,5 a 7,5 (Apéndice C).

Tabla 2.

Número de fases observadas a 5, 20, 45 , 60 y 7200 minutos en la emulsión cuando se varia el pH del agua utilizada en la preparación de la misma.

pH agua	F_{visibles} 5 (min.)	F_{visibles} 20 (min.)	F_{visibles} 45 (min.)	F_{visibles} 60 (min.)	F_{visibles} 7200 (min.)
3,0	1	2	2	3	3
3,3	1	1	2	3	2
5,5	1	1	3	3	2
7,0	1	1	1	2	2
7,3	1	1	1	2	2
7,5	1	1	2	2	2
8,4	1	2	2	2	2
12,1	2	2	2	2	2

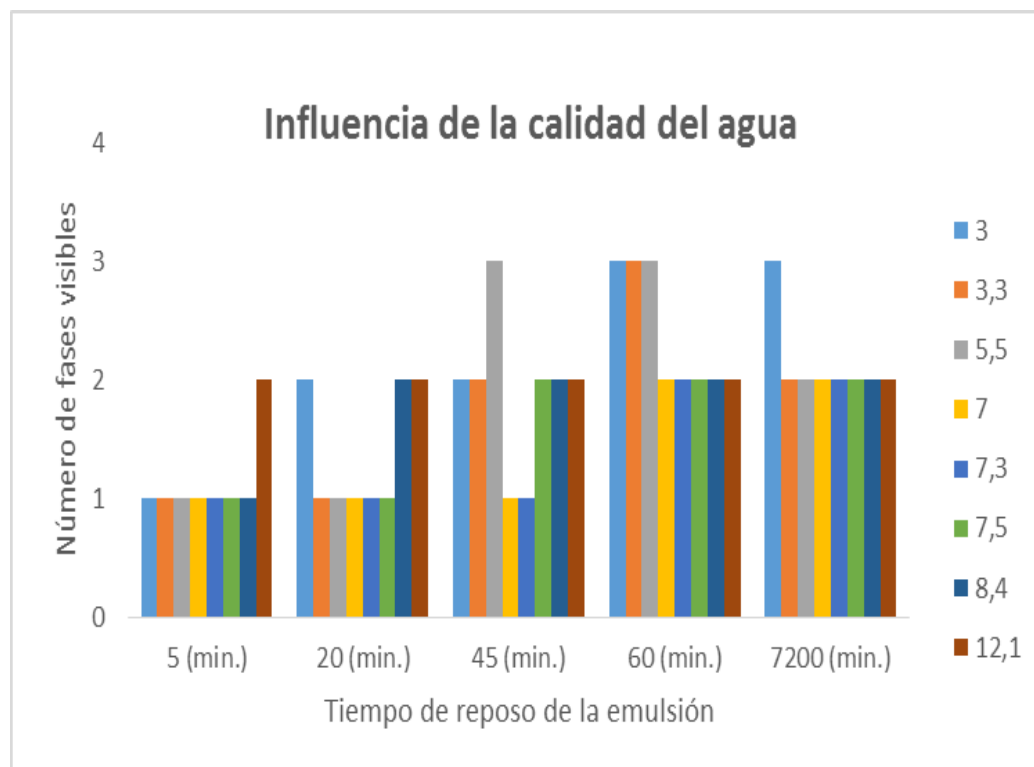


Figura 7 Número de fases observadas a 5, 20, 45 , 60 y 7200 minutos en la emulsión cuando se varia el pH del agua utilizada en la preparación de la misma

2.2.2 Determinación de la influencia de la concentración En la Tabla 3 se evidencia la variación del tiempo respecto a la concentración y en la Figura 8 se ve una variación del tiempo de separación al variar la concentración de agua, así mismo el cambio de la concentración de oleína, presentan una relación inversamente proporcional entre la variable dependiente y las dos independientes, en la Figura 9 se ve una relación directamente proporcional entre la concentración del indol y el tiempo de estabilidad. Este comportamiento se puede adjudicar a la interacción que debe generar el indol entre el agua y la oleína, al aumentar la cantidad de tensoactivo se facilita la estabilidad de la emulsión.

Tabla 3.

Tiempo de separación de la emulsión cuando se varia la concentración de indol, oleína y agua manteniendo contante velocidad, temperatura y tiempo de agitación.

t_{sep} (min)	C_{Agua} (v/v)	C_{Indol} (v/v)	C_{Oleín} a (v/v)	V_{agita} (rpm)	T_{agita} (°C)	t_{agita} total (min)
90	0,880	0,040	0,080	50	22	4
45	0,882	0,038	0,080	50	22	4
43	0,884	0,036	0,080	50	22	4
39	0,886	0,034	0,080	50	22	4
40	0,888	0,032	0,080	50	22	4
43	0,890	0,030	0,080	50	22	4
34	0,892	0,028	0,080	50	22	4
25	0,894	0,026	0,080	50	22	4
17	0,896	0,024	0,080	50	22	4
34	0,900	0,030	0,070	50	22	4
32	0,880	0,030	0,090	50	22	4
34	0,870	0,030	0,100	50	22	4

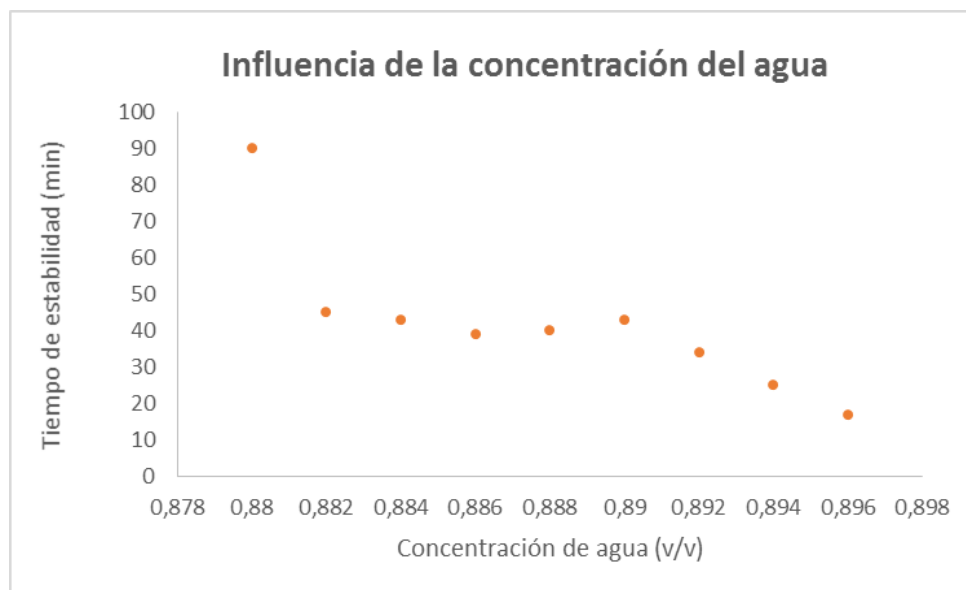


Figura 8 Influencia de la concentración del agua en el tiempo de estabilidad de la emulsión.

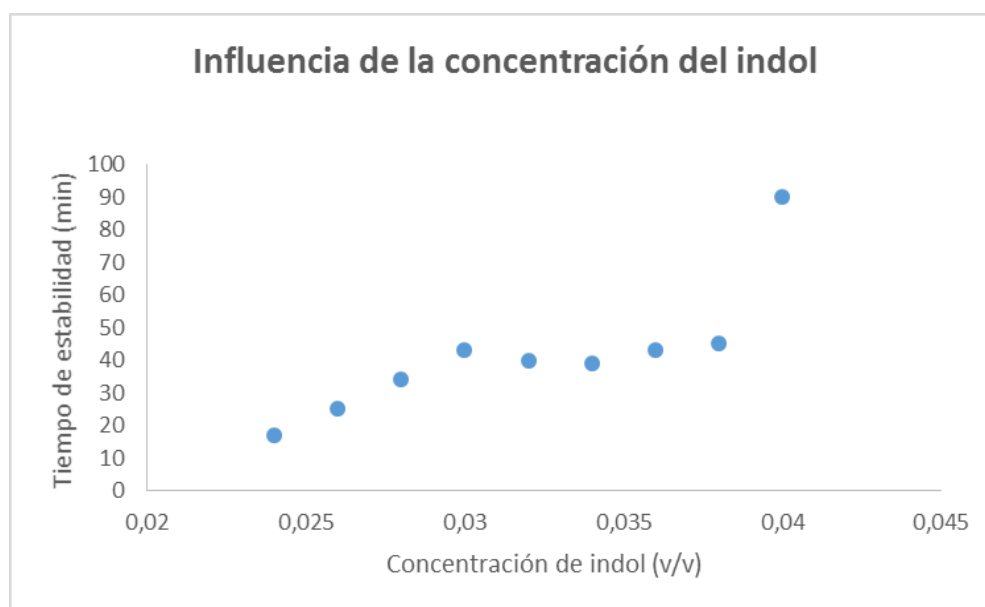


Figura 9 Influencia de la concentración del indol en el tiempo de estabilidad de la emulsión.

2.2.3 Determinación de la influencia de la velocidad de agitación La Figura 10 se grafica el tiempo de estabilidad de 5 emulsiones, cada serie tiene las mismas condiciones para las dos velocidades de agitación. La emulsión se comporta de manera similar entre cada serie a pesar de

tener condiciones distintas (ver Tabla 4), se atribuye este comportamiento a la disminución del tamaño de la micela, dado que si disminuimos el radio las fuerzas repulsivas pueden dominar, asegurando la estabilidad del sistema por más tiempo²¹

Tabla 4.

Tiempo de separación de la emulsión cuando se varia la velocidad de agitación manteniendo constante la concentración de indol, oleína y agua; temperatura y tiempo de agitación.

t_{sep} (min)	C_{Agua} (v/v)	C_{Indol} (v/v)	C_{Oleína} (v/v)	V_{agita} (rpm)	T_{agita} (°C)	t_{agita} total (min)
90	0,880	0,040	0,080	50	22	4
130	0,880	0,040	0,080	3.000	22	4
45	0,882	0,038	0,080	50	22	4
107	0,882	0,038	0,080	3.000	22	4
43	0,884	0,036	0,080	50	22	4
66	0,884	0,036	0,080	3.000	22	4
40	0,888	0,032	0,080	50	22	4
62	0,888	0,032	0,080	3.000	22	4
17	0,896	0,024	0,080	50	22	4
60	0,896	0,024	0,080	3.000	22	4

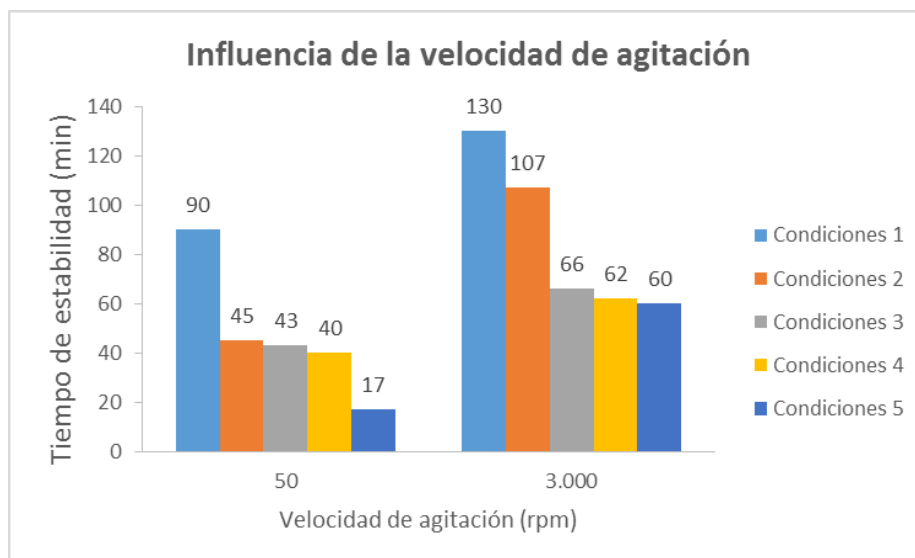


Figura 10 Influencia de la concentración del agua en el tiempo de estabilidad de la emulsión.

2.2.4 Determinación de la influencia de la temperatura En la Figura 11 se ve un comportamiento creciente del tiempo de estabilidad al aumentar la temperatura, se estima que este comportamiento se debe a la solubilidad de los componentes, puesto que al aumentar la temperatura esta propiedad física presenta una mejor eficiencia²¹.

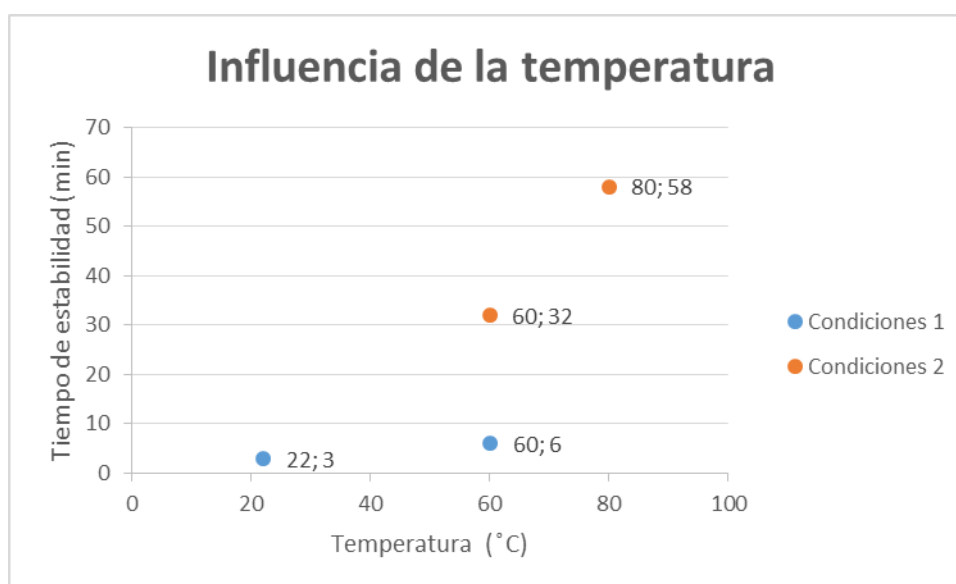


Figura 11 Influencia de la temperatura de agitación en el tiempo de estabilidad de la emulsión.

2.2.5 Análisis cuantitativo Se realizó una regresión lineal en el software estadístico Stata® con todos los datos obtenidos en la primera etapa de experimentación, los resultados se presentan en el apéndice D.

Tabla 5 .

Resumen de la regresión lineal 1 del tiempo de estabilidad cuando se varia la concentración de indol, oleína y agua; tiempo, velocidad y temperatura de agitación, obtenida con el software Stata® 14.

$R^2 = 0,756$ Prueba F =0,000 No. Obs= 36			
Variable	Coficiente	Error estándar	P-valor
C _{Indol} (v/v)	6998,397***	1082,728	0,000
C _{oleína} (v/v)	-1240,685**	604,858	0,049
V _{agi} (rpm)	0, 010**	0,005	0,037
T _{agi} (° c)	-0,987	0,900	0,281
t _{agi} (min)	4,477***	0,750	0,000
Constante	-72,587	76,16244	0,348

En la Tabla 5 se muestran los coeficientes y la significancia de cada variable independiente (El P-valor representa la significancia de cada una de nuestras variables independientes, teniendo relevancia aquellos que tengas un valor igual o inferior al 5%), en la cual se obtuvo que las variables independientes escogidas explican el 75,6% de la variable de salida. En el análisis

*significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%

cuantitativo se observa que la concentración de indol y el tiempo de agitación son las variables con mayor significancia, seguidos de la velocidad de agitación y concentración de oleína respectivamente, mientras la temperatura de agitación no tiene una significancia relevante al modelar el tiempo de estabilidad, además, los coeficientes que acompañan la variable independiente nos indica si hay presencia de una relación directamente proporcional o una relación inversamente proporcional.

Ecuación 1 Regresión lineal 1 obtenida por el software Stata® 14

$$t_{sep} = -72,587 + 6998,397C_{indol} - 1240,685C_{oleina} + 0,010V_{agi} - 0,987T_{agi} + 4,477t_{agi}$$

C_{indol} = Concentración indol (v/v)

C_{oleina} = Concentración oleína (v/v)

V_{agi} = Velocidad de agitación (rpm)

T_{agi} = Temperatura de agitación (°C)

t_{agi} = Tiempo de agitación (min)

t_{sep} = Tiempo de estabilidad (min)

La Ecuación 1 representa el modelamiento lineal del tiempo de estabilidad en función de cinco variables independientes, con ella podemos ratificar la gran influencia que tiene la concentración del indol y irrelevancia de la velocidad de agitación. La regresión lineal realizada esta representada por la línea recta observada en la Figura 12 y los puntos de dispersión representan los datos experimentales del t_{sep} .

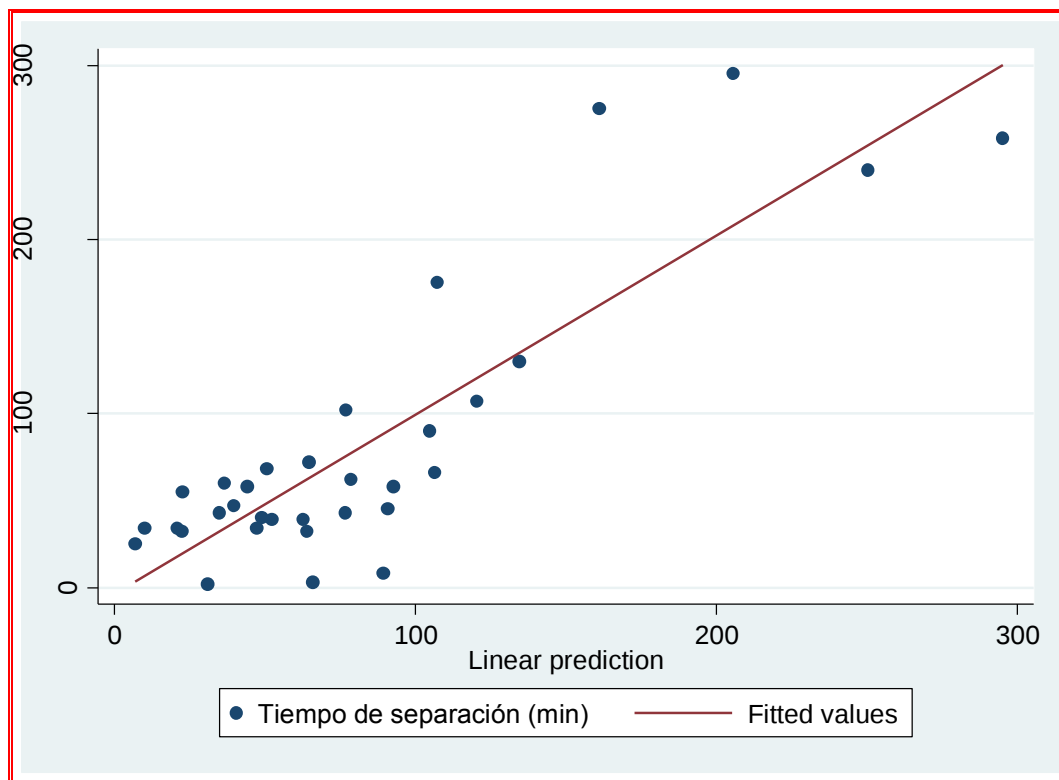


Figura 12 Regresión lineal del tiempo de estabilidad cuando se varia la concentración de indol y oleína; tiempo, velocidad y temperatura de agitación, obtenida con el software Stata® 14. Adaptyado del software Stata® 14

Con el análisis anteriormente presentado se realiza una segunda etapa de pruebas para corroborar la importancia de las 3 variables independientes con mayor relevancia, las cuales serían el tiempo de agitación y la concentración, tanto de oleína como de indol (ver tabla 6).

Tabla 6.

Resultados del tiempo de estabilidad de la emulsión cuando se varia el tiempo de agitación; la concentración de indol, oleína y agua.

T_{sep} (min)	C_{Indol} (v/v)	C_{Oleína} (v/v)	T_{agi} total (min)
283	0,03	0,06	30
57	0,01	0,06	30
837	0,05	0,06	30
2880	0,07	0,06	30
4320	0,09	0,06	30
93	0,03	0,08	30
318	0,03	0,05	30
514	0,03	0,03	30
767	0,03	0,01	30
212	0,03	0,06	10
279	0,03	0,06	60
337	0,03	0,06	120
373	0,03	0,06	180

En la tabla 6 se observar la relación presente entre el tiempo de estabilidad de la emulsión con sus variables independientes (tiempo de agitación, concentración de indol y oleína).

Corroborando $t_{sep} = J + K \cdot C_{Indol} - L \cdot C_{Oleína} + M \cdot t_{agi}$ donde K, L y M son números positivos.

Tabla 7.

Resumen regresión lineal 2 del tiempo de estabilidad cuando se varia el tiempo de agitación; la concentración de indol, oleína y agua obtenida con el software Stata® 14

R^2 = 0,921		Prueba F =0,000		No. Obs= 13	
Variable	Coefficiente	Error estándar	P-valor		
C _{Indol} (v/v)	58691,41***	5845,71	0,000		
Coleína (v/v)	-7331,78	7097,08	0,329		
t _{agi} (min)	-0,132	2,57	0,960		
Constante	-938,35*	443,19	0,063		

La Ecuación 2 explica el 92,1% de la variable de salida, mientras la significancia de la concentración de indol se mantiene constante en su máximo valor (ver tabla 7), la concentración de oleína y el tiempo de agitación pierden importancia en comparación de los datos contenidos en la primera regresión lineal 1 (Ecuación 1).

Ecuación 2 Regresión lineal obtenida por el software Stata® 14

$$t_{sep} = -938,353 + 58691,410C_{indol} - 7331,780C_{oleina} + 0,132t_{agi}$$

En la Figura 13 se evidencia que la regresión lineal realizada por el software estadístico Stata® 14 y los datos hallados experimentalmente de t_{sep} son muy parecidos, dado que esta regresión lineal modela la gran mayoría de las 13 muestras estudiadas, lo cual verifica que el

modelo representado por la Ecuación 2 puede ser utilizado para anticipar el comportamiento de una emulsión de aceite de palma en agua utilizando como tenso activo indol.

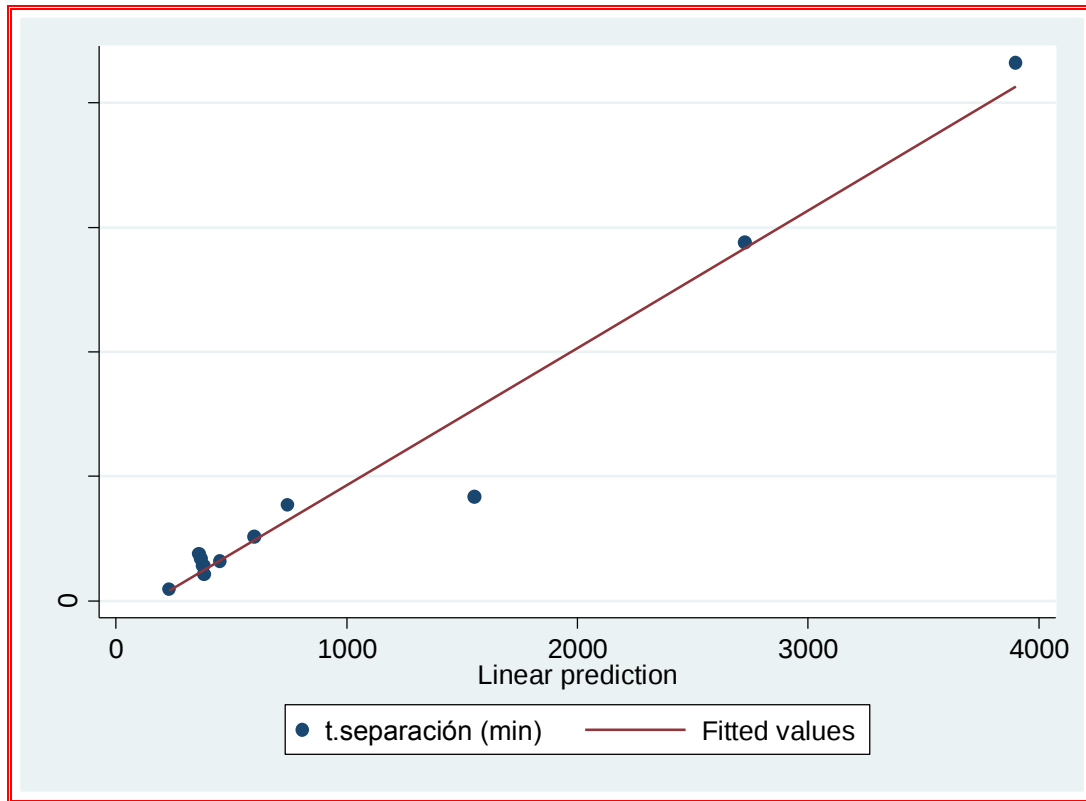


Figura 13 Regresión lineal del tiempo de estabilidad cuando se varia el tiempo de agitación; la concentración de indol, oleína obtenida con el software Stata® 14. Adaptada del software Stata®14

A pesar que se estudió la relevancia de 5 variables independientes algunas no representan una alternativa viable para la empresa por sus requerimientos energéticos y su bajo impacto a favor de la homogeneidad de la emulsión, es decir, parámetros tales como el tiempo o la temperatura de agitación no serán las primeras contingencias a tomar si se llegase a repetir este problema industrial.

Los resultados evidenciados en esta práctica industrial sirvieron para recomendar a COOHILADOS DEL FONCE LTDA. rediseñar el tipo de agitador utilizado, ya que se evidencio

que las aspas actuales solo permitían un movimiento radial, además se aconsejó el aumento de la concentración de indol y la disminución de la concentración de oleína y agua, también. Al implementar estas observaciones la empresa logro estabilizar la emulsión por el tiempo mínimo requerido por el proceso de producción. La empresa COOHILADOS DEL FONCE LTDA. estaba perdiendo aproximadamente \$5'000.000 mensuales ya que al separarse la emulsión requerían la contratación de un operario extra (salario mensual de aproximadamente \$2'000.000), además se estaba dejando de producir 14 toneladas mensuales (perdida de \$3'000.000 mensuales por cese de actividades y reprocesamiento de material).

4. Conclusiones

El pH del agua con el que se va a preparar la emulsión tiene influencia en su tiempo de estabilidad, por esto se debe mantener en un rango de 6,5 a 7,5.

La concentración de los componentes (especialmente del indol) representa una gran influencia en el tiempo de estabilidad. al aumentar la concentración de indol y disminuir la concentración de agua y oleína se favorece el estado homogéneo de la emulsión

La velocidad de agitación no representa una variable determinante en el tiempo de estabilidad de la emulsión, pero el tipo de agitador que se emplea si tiene importancia.

La temperatura de agitación no representan una influencia significativa en el tiempo de estabilidad

Referencia bibliográfica

AGUA.ORG.MX. (2017). centro virtual de información del agua. Obtenido de

<https://agua.org.mx/que-es/>

Behrman, E. J., & Gopalan, V. (. (2012). Cholesterol and Plants. Journal of Chemical Education, 12.

Bruice, Y. (2008). Química orgánica. (V, Ed.) Pearson.

Canadian Metabolomics conference . (Marzo de 2019). Obtenido de

<http://www.ymdb.ca/compounds/YMDB00069>

Cardona Franco, P. A. (24 de Junio de 2006). La cabuya. Obtenido de Semana:

<https://www.semana.com/especiales/articulo/la-cabuya/79581-3>

Citius. (Abril de 2019). citius servicios gerenciales de investigación. Obtenido de

<http://citius.us.es/web/servicio.php?s=EPM>

Compañía de empaques S.A. (12 de Febrero de 2012). Video institucional Fique Compañía

Empaques. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=k-cuLF4JMu0>

COOHILADOS DEL FONCE LTDA. (1 de Agosto de 2018). COOHILADOS DEL FONCE LTDA. Obtenido de <http://www.coohilados.com.co/index.php/2015-05-08-19-37-47/empaques>

DI SCIPIO, S. A. (2008). Estudio del mezclado de emulsiones concentradas de aceite en agua aplicando la metodología de superficie de respuesta. . Facultad de Ingeniería Universidad Centra.

Di Scipio, S., ESCALONA, Y., Quijada, K., & Millán, F. (2008). estudio del mezclado de emulsiones concentradas de aceite en agua aplicando la metodología de superficie de respuesta. Facultad de Ingenieria, 53-64.

Fessenden, R. J. (1983). Química Orgánica. México: Iberoamérica.

Garcia Mendoza , A. (2000). Revisión taxonómica de las especies arborescentes de furcraea (agavaceae) en México y Guatemala. Boletín de la Sociedad Botánica de México.

Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the Elements (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Holum, J. R. (s.f.). Química general, orgánica y bioquímica para ciencias de la salud. Augsburg: LIMUSA WILEY.

Lee, J.-H., & Lee, J. (Julio de 2010). Indole as an intercellular signal in microbial communities. FEMS Microbiol.

Levenspiel, O. (1986). CHEMICAL REACTION ENGINEERING. Barcelona: Reverté S.A.

Mojica Pimiento, A., & Paredes Vega, J. (2004). El cultivo del fique en el departamento de Santander. Bucaramanga: Centro Regional de Estudios Económicos del Banco de la República.

Pérez Arbeláez, E. (1978). Plantas útiles de Colombia. En E. Pérez Arbeláez, Plantas útiles de Colombia (págs. 165, 166). Bogotá: Litografía Arco.

Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2013). Campbell Biology (10th ed.). Boston: Pearson.

Robert Aveyard, R., Binks, B., & Mea, J. (1989). Interfacial tension minima in oil–water–surfactant systems. Effects of alkane chain length and presence of n-alkanols in systems containing aerosol OT. Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases, 1755-1770 .

Roldán Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Medellín : Universidad de Antioquia .

TREYBAL, R. (1980). Operaciones de Transferencia de Masa. México: 2ª ed. McGraw-Hill.

Apéndices

Apéndice A. Certificado ICONET ISO 9001 DEL 2015



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

CERTIFICATE

ICONTEC as an IQNet Partner hereby states that the organization:

COOHILADOS DEL FONCE LTDA.

Calle 22 No. 9 - 57 San Gil, Santander, Colombia

for the following scope:

Producción y venta de empaques, telas, cordeles, sogas y geotextiles en fique
Production and sell of packing, fabrics, cords, ropes and geo textiles made out of fique(natural fiber)

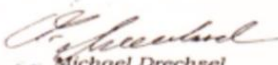
has implemented and maintains a
Quality Management System
 which fulfils the requirements of the following standard

ISO 9001:2015

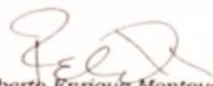
Issued on: 2004 08 25

Registration Number: CO-SC2415-1





Michael Drechsel
President of IQNet



Roberto Enrique Montoya-Villa
Executive Director of ICONTEC



IQNet Partners*:
 AENOR Spain AFNOR Certification France AIB-Vincotte International Belgium APCER Portugal CCC Cyprus
 CISQ Italy CQC China CQM China CQS Czech Republic Cro Cert Croatia DQS Holding GmbH Germany
 FCAV Brazil FONDONORMA Venezuela ICONTEC Colombia IMNC Mexico Inspecta Certification Finland INTECO Costa Rica
 IRAM Argentina JQA Japan KFQ Korea MIRTEC Greece MSZT Hungary Nemko AS Norway NSAI Ireland PCBC Poland
 Quality Austria Austria RR Russia SIGE Mexico SII Israel SIQ Slovenia SIRIM QAS International Malaysia
 SQS Switzerland SRAC Romania TEST St Petersburg Russia TSE Turkey YUQS Serbia
 IQNet is represented in the USA by: APNOR Certification, CISQ, DQS Holding GmbH and NSAI Inc.

* The list of IQNet partners is valid at the time of issue of this certificate. Updated information is available under www.iqnet-certification.com

Apéndice B Certificado ICONTEC ISO 9001 DEL 2015

ICONTEC Certifica que el Sistema de Gestión de la organización:
ICONTEC certifies that the Organization's Management System of:

COOHILADOS DEL FONCE LTDA.
Calle 22 No. 9 - 57 San Gil, Santander, Colombia

ha sido auditado y aprobado con respecto a los requisitos especificados en:
has been audited and approved based on the specified requirements of:

ISO 9001:2015

Este Certificado es aplicable al siguiente alcance:
This certificate is applicable to the following scope:

Producción y venta de empaques, telas, cordeles, sogas y geotextiles en fique.
No aplica: 8.3

Production and sell of packing, fabrics, cords, ropes and geo textiles made out of fique(natural fiber)

Esta aprobación está sujeta a que el sistema de gestión se mantenga de acuerdo con los requisitos especificados, lo cual será verificado por ICONTEC
This approval is subject to the maintenance of the management system according to the specified requirements, which will be verified by ICONTEC

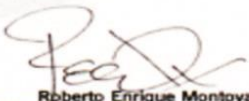
Certificado: SC2415-1
Certificate

Fecha de Aprobación: 2004 08 25
Approval Date:

Fecha de Vencimiento: 2019 08 24
Expiration Date:

Fecha Última Modificación: 2017 11 15
Last Modification Date

Fecha de Restauración:
Restoration Date


Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo
CEO

ISO/IEC 17021-1:2015
DS-CSG-001

ISO/IEC 17021-1:2015
DS-CSG-001

ICONTEC INTERNACIONAL, Carrera 27 No. 52 - 55, Bogotá D.C., Colombia

Apéndice B

Apéndice C. Certificado de calidad proporcionado por NOPCO COLOMBIANA S.A.

NF-0011	CERTIFICADO DE CALIDAD	No	45594
Dueño de Proceso:	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD		lunes, 2 de enero de 2017
Fecha Edición	dd/mm/aaaa 17/04/2000	Aprobado Por	Dirección Técnica
Fecha Revisión	dd/mm/aaaa 01/03/2011	Revisado Por	Asistente Técnica
Versión	4		
CLIENTE	COOHILADOS DEL FONCE LTDA		
NIT	804005332		dd/mm/aaaa
ORDEN DE COMPRA	4013	FABRICACION	21/12/2016
PEDIDO INTERNO	34319	VENCIMIENTO	11/12/2018
PRODUCTO	INDOL FIQ-M/TAMBOR X 200 K.		
CODIGO	1900799		
CANTIDAD			
LOTE INTERNO	612095	ORDEN DE PDN	132434
PROPIEDADES	ESTANDAR	RESULTADO	METODO
Aspecto	Liq. Brillante	Idem	VISUAL
Color Gardner	Máx. 7	3	NI-0077
pH solución al 10%	6,5 - 7,5	6,56	NI-0075
Solubilidad al 10%	Opaca	Idem	VISUAL
NOPCO COLOMBIANA S.A. GARANTIZA LA VIDA UTIL DEL PRODUCTO; SOLO SI EL PRODUCTO HA SIDO GUARDADO BAJO LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO INDICADO EN SU HOJA DE SEGURIDAD Y SI SE ENCUENTRA SELLADO Y EN SU ENVASE ORIGINAL			

Apéndice D. Tabla de resultados obtenida de la primera etapa de experimentación

t_{separación} (min)	C_{Agua} (v/v)	C_{Indol} (v/v)	C_{Oleína} (v/v)	pH_{agua}	V_{agitación} (rpm)	T_{agitación} (°C)	t_{agitación} total (min)
90	0,880	0,040	0,080	6,7	50	22	4
45	0,882	0,038	0,080	6,7	50	22	4
43	0,884	0,036	0,080	6,7	50	22	4
39	0,886	0,034	0,080	6,7	50	22	4
40	0,888	0,032	0,080	6,7	50	22	4
43	0,890	0,030	0,080	6,7	50	22	4
34	0,892	0,028	0,080	6,7	50	22	4
25	0,894	0,026	0,080	6,7	50	22	4
17	0,896	0,024	0,080	6,7	50	22	4
34	0,900	0,030	0,070	6,7	50	22	4
32	0,880	0,030	0,090	6,7	50	22	4
34	0,870	0,030	0,100	6,7	50	22	4
8	0,910	0,030	0,060	6,9	3.000	22	4
175	0,910	0,030	0,060	6,9	3.000	22	8
275	0,910	0,030	0,060	6,9	3.000	22	20
3	0,930	0,010	0,060	6,7	3.000	22	30
2	0,935	0,005	0,060	6,7	3.000	22	30
1	0,870	0,010	0,120	6,7	3.000	22	30
295	0,910	0,030	0,060	6,9	3.000	22	30
240	0,910	0,030	0,060	6,9	3.000	22	40
258	0,910	0,030	0,060	6,9	3.000	22	50

130	0,880	0,040	0,080	6,7	3.000	22	4
107	0,882	0,038	0,080	6,7	3.000	22	4
66	0,884	0,036	0,080	6,7	3.000	22	4
58	0,886	0,034	0,080	6,7	3.000	22	4
62	0,888	0,032	0,080	6,7	3.000	22	4
72	0,890	0,030	0,080	6,7	3.000	22	4
68	0,892	0,028	0,080	6,7	3.000	22	4
60	0,894	0,026	0,080	6,7	3.000	22	4
55	0,896	0,024	0,080	6,7	3.000	22	4
102	0,900	0,030	0,070	6,7	3.000	22	4
39	0,880	0,030	0,090	6,7	3.000	22	4
47	0,870	0,030	0,100	6,7	3.000	22	4
4	0,935	0,005	0,060	6,7	3.000	60	30
32	0,935	0,005	0,060	6,7	10.000	60	30
58	0,935	0,005	0,060	6,7	10.000	80	30