

Clarificación de aceite de palma usando campos eléctricos de alta intensidad

Palm Oil Clarification Using High Density Fields

Nixon Zumaeta¹
Mauricio Agudelo¹
Nancy Castro¹
Jenny González¹

Resumen

Se han realizado ensayos conducentes a explorar la posibilidad de mejorar el proceso de clarificación del aceite de palma mediante el empleo de campos eléctricos de alta intensidad. La nueva técnica busca reducir el tiempo de proceso y las pérdidas de aceite de palma emulsionado en la corriente de agua y lodos. Se prepararon emulsiones de 30, 50 y 70% de licor de prensa obtenida de una planta extractora. Las suspensiones fueron sometidas a diferentes campos entre 8.000 a 15.000 V durante 20 ó 40 minutos, obteniéndose tres capas diferentes, una de aceite, otra de agua-lodos-aceite y otra de lodos-agua; cada una de estas fases fue analizada usando método de Kart Fisher para determinar el contenido de humedad y el método Soxhlet para determinar el contenido de aceite con el fin de cuantificar la eficiencia de los tratamientos y las pérdidas de aceite en las capas del fondo. Los resultados fueron analizados estadísticamente, obteniéndose diferencias entre la electroclarificación y la clarificación estática tradicional.

Summary

In order to explore the possibility of improving the palm oil clarification process through the use of high density electric fields, essays have been carried out. The new technique tries to reduce the process time and losses of palm oil emulsified in the stream of water and mud. Emulsions of 30%, 50% and 70% of press liquor obtained from a palm oil mill. The suspensions were submitted to different fields between 8000 to 15000 V during 20 or 40 min., obtaining 3 different layers, one of oil, another one of water-mud-oil, and the other of mud-water. Each one of these phases was analyzed using the Kart Fisher method to determine the content of moisture, and the Soxhlet method to determine the content of oil, in order to quantify the efficiency of the treatments and the oil losses in the bottom layers. The results were statistically analyzed, having obtained differences between the electro-clarification and traditional static clarification.

Palabras Clave

Clarificación,
Aceite de palma,
Electroclarificación.

1 . Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana, Puente del Común, Chía, Colombia.
Tel. 571- 8615555, ext. 1780/81 Fax 571-8615618

E-mail: mauricio.agudelo@unisabana.edu.co - nixon.zumaeta@unisabana.edu.co

Nota: Este artículo se publica "sin editar", la responsabilidad de los textos es de los autores.

Introducción

La Agroindustria de la Palma de Aceite es una de las más importantes del país por el gran crecimiento que ha tenido en su producción y consumo. Siendo Colombia el cuarto productor a nivel mundial y primero en América Latina, este sector merece ser centro de una amplia investigación que permita optimizar el proceso de extracción para disminuir pérdidas y aumentar la competitividad en el ámbito internacional.

Con el ánimo de contribuir a este objetivo la Universidad de La Sabana está realizando una serie de investigaciones aplicando campos eléctricos de alta intensidad sobre emulsiones aceite-agua, observando y cuantificando el efecto que tiene en la eficiencia de separación de las mismas. Se cree que esta tecnología permitirá recuperar de forma económica una mayor cantidad de aceite en el proceso de extracción, disminuyendo tiempo de proceso y pérdidas en los efluentes del clarificador.

Clarificación asistida con campos eléctricos

En la actualidad todas las plantas de beneficio realizan la clarificación del aceite de palma usando sedimentación estática y en unas pocas se usa agitación lenta. En el clarificador de aceite, al cabo de 4 a 6 horas de proceso, se forman tres capas visiblemente diferentes: una superior de aceite rojo de palma con un bajo contenido de humedad, una intermedia en la cual hay aceite, agua y materia orgánica (lodos) en proporciones similares; y por último una inferior más acuosa con bajos contenidos de aceite y lodos.

La velocidad de decantación de las gotas de aceite en el clarificador está regida por la ley de Stock:

$$U = \frac{(\rho_1 - \rho_2) \times g \times d}{18\mu}$$

En donde:

- ρ_1 es la densidad del medio (agua-lodos)
- ρ_2 es la densidad del aceite
- μ es la viscosidad del medio (agua-lodos)
- d es el diámetro de la gota de aceite

El factor más importante y determinante de la velocidad de clarificación es el tamaño de la gota

de aceite (d = diámetro). Si la gota es grande se logra una rápida separación y muy poco aceite permanece en la fase acuosa, pero si las gotas son pequeñas ($d < 50\mu\text{m}$) la mezcla agua-aceite se convierte en una emulsión en donde se requeriría un tiempo de residencia muy alto para permitir que las pequeñas gotas de aceite se separen. El tiempo empleado industrialmente en los clarificadores no permite recuperar las gotas pequeñas y se pierden en la fase acuosa y en la fase intermedia.

Si se puede lograr que las gotas pequeñas se unan unas con otras (sufran coalescencia), se podría alcanzar el suficiente tamaño para que estas gotas viajen a la parte superior del equipo en menor tiempo y puedan ser recuperadas. Es en la recuperación de estas pequeñas gotas donde se centra el presente trabajo. Para lograr este objetivo se propone el empleo de campos eléctricos de alta intensidad en un proceso conocido como electrocoalescencia.

El funcionamiento de un electrocoalescedor está basado en la siguiente teoría: cuando un líquido (aceite) está formando una emulsión con otro (agua) las pequeñas gotas dispersas adquieren una carga eléctrica negativa, repartida en toda la superficie de la gota, provocada por la diferencia de constantes dieléctricas, a su vez la fase continua (agua) que rodea a la gota de aceite adquiere una carga eléctrica positiva, efecto conocido como doble capa eléctrica. La Figura 1 representa este fenómeno.

Si esta emulsión se somete a un campo eléctrico de alta intensidad las cargas se orientan hacia las placas cargadas eléctricamente que forman el campo, haciendo que las gotas se muevan hacia las placas. Debido a la existencia de gotas de diferentes tamaños, éstas se mueven a distintas velocidades y, como consecuencia, en el trayecto pueden chocar unas con otras consiguiéndose la coalescencia (unión) y un aumento de tamaño, que conlleva a una reducción del tiempo de clarificación y una mayor recuperación de las pequeñas gotas de aceite. Para lograr que las gotas se muevan se requiere una intensidad de campo mínimo, igualmente si se hace oscilar el campo se logra generar una turbulencia entre las placas que promueve el choque entre gotas y la formación de gotas más grandes. La Figura 2 muestra el movimiento de las gotas entre placas cargadas eléctricamente.

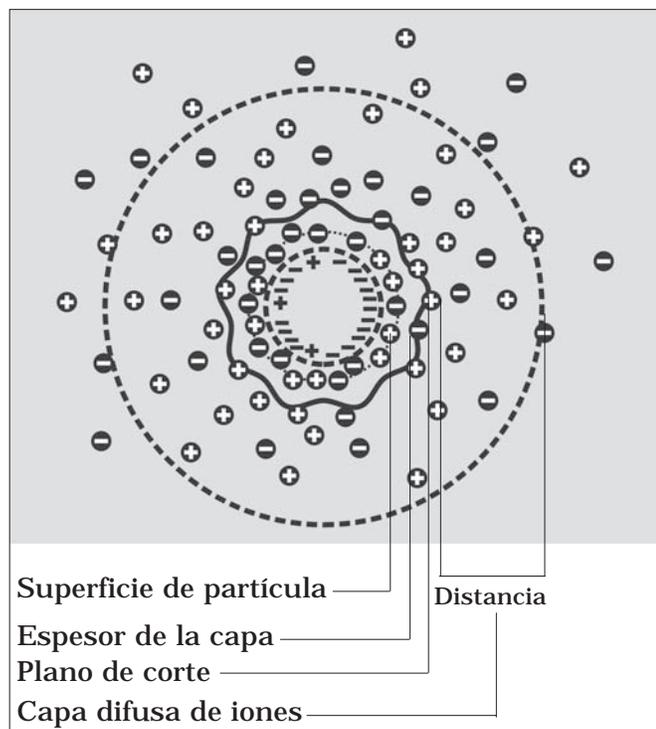


Figura 1 Efecto de la doble capa eléctrica

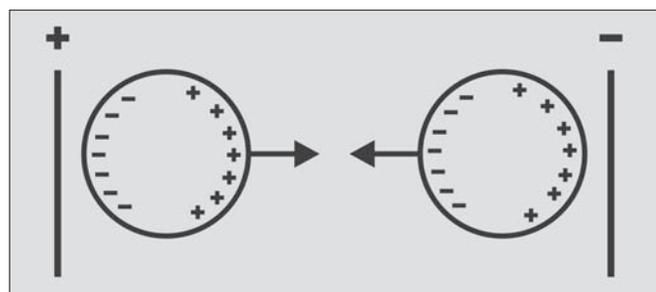


Figura 2 Partículas cargadas sometidas a un campo eléctrico

Como se observa hay tres factores fundamentales para el empleo de campos eléctricos: la intensidad, la frecuencia y el tiempo de aplicación. En el presente trabajo se estudia el efecto de la intensidad del campo eléctrico y el tiempo de aplicación sobre las pérdidas de aceite. Además

se estudia una variable muy importante, la concentración de aceite, la cual permite observar el comportamiento de diferentes emulsiones y de esta forma determinar la mejor dilución del licor de prensa, con la cual se obtendrían menores pérdidas de aceite al aplicar campos eléctricos.

En investigaciones hechas en la Universidad de la Sabana² para la utilización de campos eléctricos en el proceso de clarificación del aceite de palma, se probó en emulsiones 1:1 de aceite crudo de palma-agua, voltajes de 110 y 220V A.C. y frecuencias de voltaje de 8, 25 y 60Hz con tiempos de aplicación de 30 y 60s, se obtuvo que los contenidos de humedad en la capa superior se redujeron en un 90% comparado con un proceso sin campo cuando se aplican 110V con placas a 5mm de distancia con frecuencia de voltaje de 25Hz durante 60s. Con un voltaje de 15.000V y 60Hz por 1 y 5 minutos, se observó que además del voltaje, el tiempo de aplicación del campo incide significativamente en el contenido de humedad de la capa superior.

Nixon Zumaeta³ en pasantía realizada en la Universidad de Canterbury (Nueva Zelanda), observó que al aplicar campos eléctricos generados por corriente directa sobre diferentes emulsiones aceite-agua, se acelera el proceso de separación obteniendo fases con alta pureza para concentraciones altas de aceite en agua (desde el 10 al 90%). En el presente estudio se complementa esta investigación permitiendo avanzar en el desarrollo de esta nueva tecnología.

Materiales y métodos

El presente proyecto se dividió en dos etapas, una para evaluar la eficiencia de los campos eléctricos en la separación de emulsiones aceite de palma crudo-agua a bajas concentraciones de aceite, y la otra para determinar su eficiencia en la clarificación del licor de prensa durante su proceso de extracción. La primera etapa es importante, ya que permite estudiar la posibilidad de tratar los efluentes del clarificador y del esterilizador con el fin de recuperar el aceite que se encuentra emulsionado, reduciendo las pérdidas de aceite y mejorando la calidad del

2 HERRERA, A.; CALVO, C. Efecto de aplicación del campo eléctrico sobre la eficiencia y la velocidad de separación de las dispersiones obtenidas en el proceso de clarificación del aceite crudo de palma. Tesis. Universidad de la Sabana, 2001.
3 ZUMAETA, N. Determinación del aumento del tamaño de gotas de aceite debidas a la aplicación de campos eléctricos. Chile, 2003.

agua depositada en los ríos. Con la segunda parte se busca encontrar una combinación aceptable de voltaje, tiempo de aplicación y relación licor de prensa-agua que permita reducir el contenido de aceite emulsionado en los efluentes del clarificador.

Para las dos etapas se realizaron experimentos aplicando voltajes de 7KV, 14KV y 21KV de corriente directa (DC) pulsante, y como electrodos placas de acero inoxidable separadas 20 milímetros. Se obtuvieron intensidades de campo eléctrico de 350KV/m, 700KV/m y 10.50KV/m, manteniendo una temperatura constante de 60°C y dejándola 5 minutos de reposo después de aplicar el campo eléctrico.

Para la primera etapa se definieron como variables, el voltaje, la concentración de aceite de palma crudo y el tiempo de aplicación. Se utilizaron concentraciones de 1, 5 y 9% de aceite de palma crudo y tiempos de 20 y 40 minutos. Como variables de respuesta se definieron la concentración de agua en la fase superior (% agua F1) y la concentración de aceite en la fase inferior (% aceite F2). Para estudio de las variables se realizaron 18 tratamientos por triplicado con un testigo diario (por concentración) arrojando un total de 54 muestras con nueve blancos, distribuidas completamente al azar, donde el blanco corresponde al tratamiento sin aplicación de voltaje (0 KV) para un tiempo de 40 minutos. Después de aplicado el campo eléctrico se determina la eficiencia de separación midiendo el contenido de humedad de la fase superior, utilizando como método de análisis la prueba de Karl Fisher y secado por estufa.

Para la otra etapa se utilizó licor de prensa diluido en concentraciones de 10, 50 y 70%, con tiempos de aplicación de 30 y 50 minutos. Como variables de respuesta se definieron la concentración de aceite en la fase superior (% aceite F1) y la concentración de aceite en la fase inferior (% aceite F2). En el estudio se realizaron 18 tratamientos por duplicado con un testigo diario (por concentración) arrojando un total de 36 muestras con seis blancos, distribuidas completamente al azar, donde el blanco corresponde al tratamiento sin aplicación de voltaje (0 KV) para un tiempo de 50 minutos. Después de aplicado el campo eléctrico se determina la eficiencia en la separación, tomando el contenido de humedad

de la fase superior utilizando como método de análisis la prueba de Karla Fisher, y el contenido de aceite de las otras fases formadas por medio del método de Soxlet.

Discusión de resultados

Antes de iniciar con la discusión de los resultados es necesario realizar una introducción de lo que debe ser un buen proceso de separación de una emulsión. En un proceso normal de decantación generalmente se forman dos fases, como se observa en la Figura 3. La fase 1 se forma en la parte superior, donde se encuentra la mayor cantidad de aceite y se requiere que la cantidad de agua sea mínima para asegurar alta pureza del aceite. La fase 2 se forma en la parte inferior, donde se encuentra la mayor cantidad de agua, y es necesario que tenga el mínimo contenido de aceite con el fin de disminuir la carga biológica de oxígeno (DBO) y recuperarla más limpia disminuyendo el impacto ambiental y las pérdidas económicas por desperdicio de aceite.

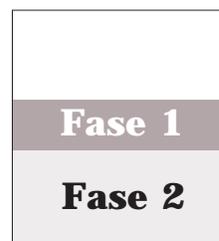


Figura 3 Fases formadas en un proceso de clarificación

En algunos casos, dependiendo de la concentración de aceite en la emulsión, se forma una capa intermedia entre la fase 1 y 2, la cual es una emulsión agua y aceite, que para el caso del proyecto es despreciable debido a que en las concentraciones usadas de aceite no se generó esta fase intermedia.

Emulsión aceite-agua

Para el análisis de los datos obtenidos se realizaron cuatro gráficas, donde se relacionan las variables de respuesta (porcentaje de agua en la fase superior y porcentaje de aceite en la fase inferior) en función de la concentración de

aceite crudo de la emulsión inicial y en función del voltaje.

La Figura 4 muestra el porcentaje de agua en la fase superior (% H₂O F1) en función de la concentración de aceite crudo de palma en la emulsión inicial, para los diferentes tratamientos de voltaje. Los resultados muestran que para una concentración de aceite crudo en la emulsión del 1 y 9% el mejor tratamiento fue aplicando 21KV durante 40 minutos obteniéndose porcentajes de humedad en F1 de 19,5 y 1,12% respectivamente; al compararlo con el blanco (0KV-40min) muestran diferencias favorables del 58% para la emulsión con concentraciones de aceite del 1% y de más del 100% para la concentración de aceite de 9%. Mientras que para la concentración de 5% de aceite en la emulsión el mejor

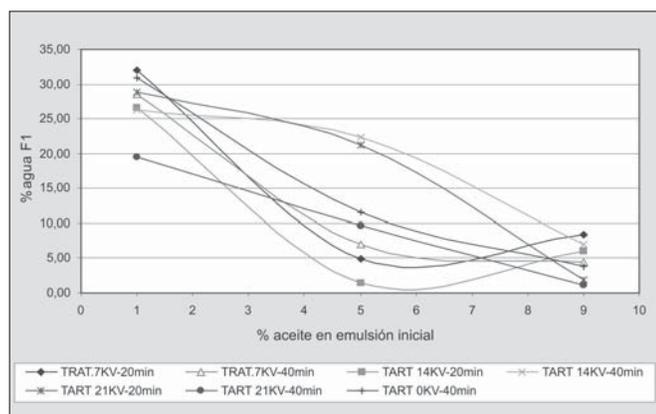


Figura 4 Contenido de agua en la fase superior en función de la concentración de aceite en la emulsión inicial

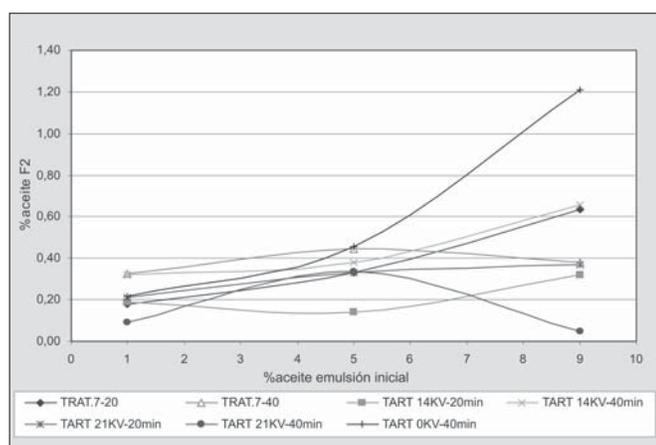


Figura 5 Contenido de aceite en la fase inferior en función de la concentración de aceite en la emulsión inicial

tratamiento fue al aplicar 14KV durante 20 minutos dando como resultado un contenido de agua en la fase superior del 1,42%, para esta concentración se observa una mayor dispersión entre los datos indicando una mayor diferencia entre los tratamientos y a su vez mayor efecto del voltaje. Esto permite observar que el campo eléctrico tiene un efecto positivo y apreciable en la reducción del contenido de agua en la fase aceite comparado con un clarificación estática tradicional.

Al comparar los tiempos de aplicación se observa que este factor influye en la separación aplicando campos eléctricos, cuando se tienen emulsiones con bajas concentraciones de aceite (1 y 5%), pero con la concentración de 9% no es significativo en la separación de una emulsión. Esto indica que a mayor tiempo de aplicación del campo se obtiene mayor separación.

En la Figura 5 se muestra la variación que tiene la concentración de agua en la fase superior (% agua F1) con respecto a los voltajes aplicados para los diferentes tratamientos de concentración y tiempo de aplicación de 40 minutos. En ésta se observa un efecto significativo en la recuperación de aceite más puro con el aumento del voltaje. Para la concentración de 1% en la emulsión se obtuvieron porcentajes de humedad del 30,83% para el blanco, 28,54% para 7KV, 26,32% para 14KV y 19,50% para 21KV; para 5% de aceite en la emulsión se obtuvo 11,62% para el blanco, 6,9% para 7KV, 22,41% para 14KV y 9,62% para 21KV; y para la concentración del 9% de aceite en la emulsión los porcentajes de humedad obtenidos son 3,88% para el blanco, 4,48% aplicando 7KV, 6,98% para 14KV y 1,12% aplicando 21KV; siendo el tratamiento con concentración del 9% de aceite crudo en la emulsión en el que se obtienen los menores porcentajes de humedad y por ende la recuperación de aceite con mayor pureza.

Para ver el efecto que tiene el voltaje en la recuperación de aceite, se graficó el porcentaje de aceite en la fase inferior (% aceite F2) en función de la concentración de aceite en la emulsión para los diferentes tratamientos de voltaje y tiempos de aplicación (Figura 6) y el porcentaje de aceite en la fase inferior (% aceite F2) en función en función del voltaje para el tiempo de 40 minutos (Figura 7).

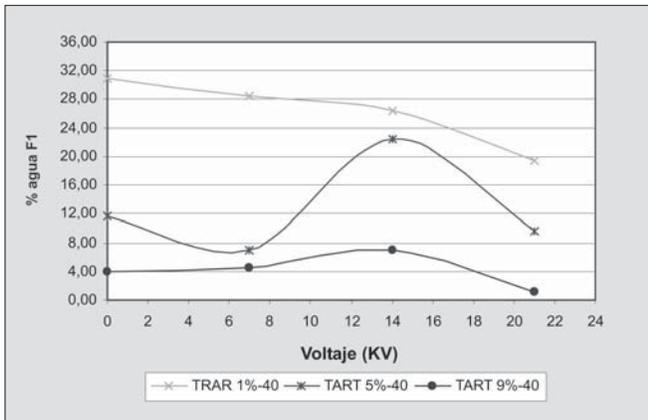


Figura 6 Contenido de agua en la fase superior en función del voltaje

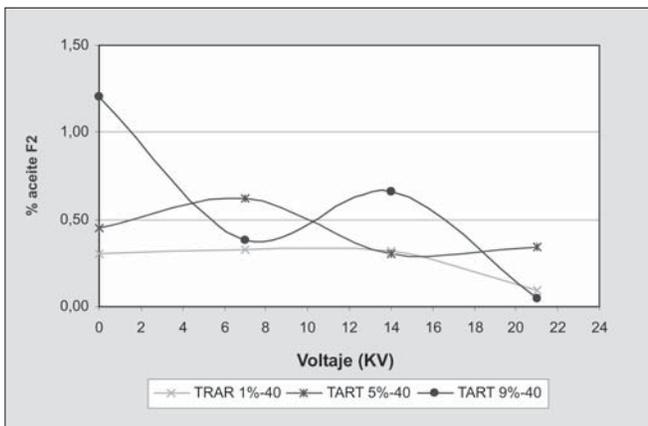


Figura 7 Contenido de aceite en la fase inferior en función del voltaje

La Figura 6 permite ver una diferencia significativa en la recuperación del aceite con la aplicación de voltaje, al comparar los tratamientos con el blanco; obteniéndose para éste porcentajes de aceite crudo en F2 del 0,22, 0,45 y 1,21% para las concentraciones de aceite en la emulsión del 1, 5 y 9% respectivamente; mientras que para los tratamientos donde se aplicó campo eléctrico, con concentraciones de aceite en la emulsión de 5 y 9% los porcentajes de aceite reportados son menores a 0,44 y 0,66% respectivamente. Sin embargo, con la concentración de aceite en la emulsión del 1%, aunque el blanco presenta un mejor comportamiento que utilizando los voltajes de 7KV y 14KV durante 40 minutos, para los otros tratamientos el

contenido de aceite en la fase es menor, entre el 0,21 y 0,09%, siendo el tratamiento de 21KV a 40 minutos en el que se obtiene el mejor resultado, al igual que con la concentración de 9% de aceite en la emulsión, donde se obtuvo el 0,05% de aceite en la fase inferior. Con la concentración del 5% de aceite en la emulsión, aplicando 14KV durante 20 minutos se obtuvo una concentración de aceite de 0,14%.

En la Figura 7 se observa un efecto significativo favorable del aumento del voltaje sobre la concentración de aceite en la fase inferior (% aceite F2) para la concentración de 9% de aceite en la emulsión inicial. En el blanco los porcentajes de aceite que se obtienen son de 1,21, 0,45 y 0,31% para las concentraciones de aceite en la emulsión inicial de 9, 5 y 1% respectivamente, los que aplicando voltaje de 7KV disminuyen más de 200% para la concentración de 9%, y aplicando 14KV para la concentración de 5% disminuyen un 33%. Es interesante destacar que aplicando 21KV de voltaje la fase inferior tiene la mayor pureza, 0,05, 0,09 y 0,34% de aceite en F2 para las concentraciones de aceite crudo en la emulsión de 9, 1 y 5% respectivamente. Con lo anterior se puede decir que para la separación de emulsiones con bajas concentraciones utilizando campos eléctricos se deben utilizar voltajes altos (21KV).

De acuerdo a estos datos obtenidos en la parte experimental se observa una mejoría con la aplicación de voltajes en la concentración de aceite y agua, a medida que se incrementa la concentración de aceite en la emulsión; sin embargo para disminuir la concentración de aceite en la fase 2 se obtienen mejores resultados con voltajes altos (21 KV) a mayor tiempo de aplicación (40 minutos).

Licor de prensa

Para el análisis de esta parte del proyecto se analizó gráficamente el efecto que puede tener la aplicación de campos eléctricos sobre la recuperación del aceite crudo de palma en el licor de prensa diluido a diferentes concentraciones, relacionando los contenidos de aceite de la fase superior e inferior con la variación del voltaje y las concentraciones de licor de prensa en la dilución inicial.

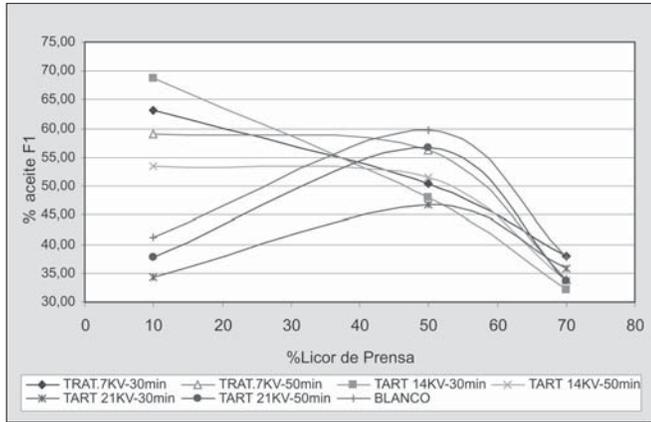


Figura 8 Contenido de agua en la fase superior en función de la concentración de licor de prensa

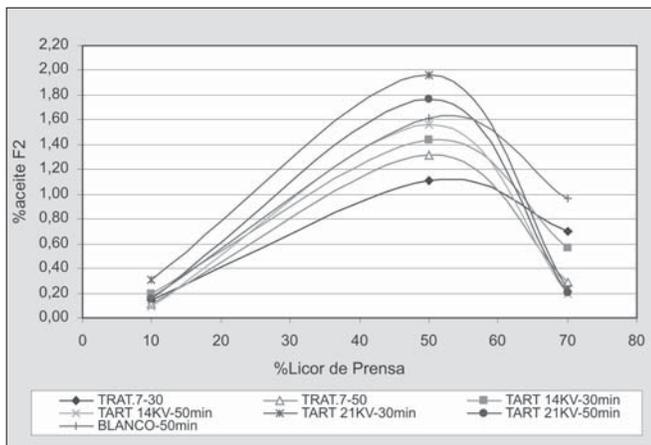


Figura 9 Contenido de aceite en la fase inferior en función de la concentración de licor de prensa

En la Figura 8, donde se relaciona el porcentaje de aceite en la fase superior en función de la concentración de licor de prensa, se observa que el porcentaje de dilución del licor de prensa es un factor que incide en la recuperación de aceite. Al utilizar mayores concentraciones de licor de prensa 70%, el aceite recuperado es menor respecto a las otras concentraciones. Por la menor dispersión que existe en los datos y al compararlos con el blanco, el campo eléctrico no tiene efecto en la recuperación del aceite para esta concentración. Esto se debe a que entre mayor sea el contenido de agua adicionado al licor que sale de la prensa los lodos se sedimentan más fácilmente, permitiendo que el campo

eléctrico actúe más eficientemente sobre las partículas de aceite permitiendo que coalescan. Cuando hay más concentración de lodos, se genera una interacción entre las partículas del lodo y del aceite interviniendo desfavorablemente en la separación del aceite.

Se observa que a concentraciones menores del 30% se presenta un mejor efecto en la recuperación de aceite, donde el mejor resultado se obtiene aplicando 14KV durante 30 minutos, (68,73% de aceite recuperado). Sin embargo el voltaje de 7KV sería el ideal, ya que existe poca variación respecto a la aplicación del tiempo y concentración.

En la Figura 9, la recuperación de aceite en la fase superior con respecto a la variación del voltaje para 50 minutos, muestra que para concentraciones del 50 y 70% la aplicación de los diferentes voltajes no genera efectos en la recuperación del aceite respecto al blanco, mientras que en la concentración del 10% se observa que los tratamientos donde se aplicaron 7 y 14KV tiene mayor recuperación de aceite respecto al blanco (43 y 30% respectivamente) viéndose más claramente el efecto del voltaje.

La variación de la concentración de aceite en la fase inferior en función de la concentración de licor de prensa, se observa en la Figura 10, donde la tendencia de los datos muestra para la concentración del 10%, oscilando el porcentaje de aceite entre 0,09 y 0,16%, para los tratamientos menores al blanco. Para la concentración de 50% se observa que la menor concentración de aceite para la fase es obtenida con el tratamiento de 7KV a 30 minutos (1,11%).

Al comparar para el tiempo de 50 minutos, el efecto del voltaje en la concentración de aceite de la fase inferior (Figura 8), la tendencia de los datos muestran que al aumentar el voltaje la eficiencia en la separación del aceite disminuye para las concentraciones del 10 y 50% de licor de prensa utilizando el voltaje de 21KV, comparándolo respecto al blanco. Para la concentración de 10% de licor de prensa, sólo se observa efecto del voltaje aplicando 14 y 7KV obteniendo valores de 0,09 y 0,12% de aceite respectivamente. Mientras que diluido el licor de prensa 50% se obtiene el mejor resultado para 7KV con 1,32% de aceite.

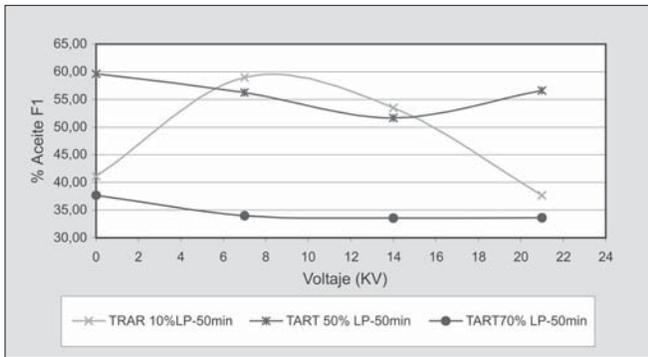


Figura 10 Contenido de aceite en la fase superior en función del voltaje

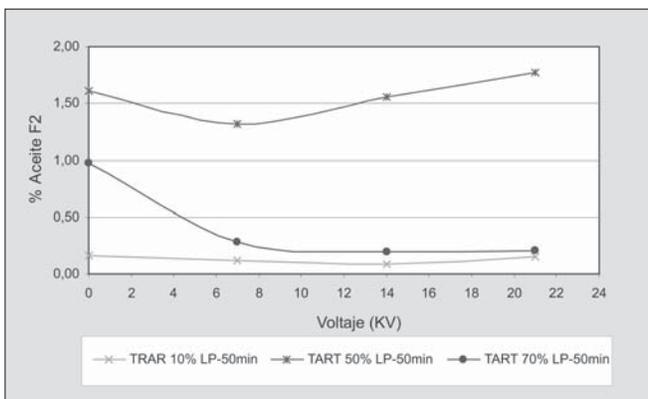


Figura 11 Contenido de aceite en la fase inferior en función del voltaje

Conclusiones

La aplicación de campo eléctrico para emulsiones de aceite-agua a bajas concentraciones de aceite, favorece la separación cuando se aplican altos voltajes, que para la presente investigación corresponden a 14 y 21 KV; este proceso se favorece cuando se tienen mayores concentraciones de aceite (mayor a 5%). Esto indica que esta técnica puede ser una buena alternativa para mejorar la recuperación del aceite emulsionado presente en efluentes del proceso de extracción.

La aplicación de campos eléctricos de alta intensidad durante el proceso de clarificación de licor de prensa tiene buenos resultados y es prometedor usando bajas diluciones y un campo de 21 KV. Sin embargo es necesario continuar con el desarrollo de esta tecnología, ya que en teoría se puede mejorar mucho más el porcentaje de recuperación de aceite. ☼

Bibliografía

- BERNAL, G. 1991. Descripción general del proceso eficiente de clarificación del aceite de palma y de sus condiciones de operación. *Revista Palmas*, Colombia, v.12, no. Especial.
- BONHET, M. The Separation of Immiscible Fluid Dispersions. *International Chemical Engineering*.
- DRAXEL, J.; MARRR, R. 1993. Design criteria for electrostatic deemulsifiers. *International chemical engineering*, v.33.
- DRIELICH, J.; BRYLL, G. 1992. The effect of electric field pulsation frequency on breaking water in oil emulsions. *Fuel Processing Technology*, p.105-113.
- HARPUR, I.G.; WAYTH, A.G. 1997. Destabilization of water in oil emulsions under the influence of an A.C electric field: Experimental assessment of performance. *Journal of electrostatic*.
- HERRERA, A.; CALVO, C. 2001. Efecto de Aplicación del campo eléctrico sobre la eficiencia y la velocidad de separación de las dispersiones obtenidas en el proceso de clarificación del aceite crudo de palma. Tesis. Universidad de la Sabana.
- PARKER, H.; PITT, A. Technical review of the principles of oil-water separation.
- SATO, T. 1993. Stability of Dispersion. *Journal of Coatings Technology*, v.65, no.825, p.113-121.
- ZHANG, X.; BASARAN A.O.; WHAM R. 1995. Theoretical prediction of electric field enhanced coalescence of spherical drops. *Journal*, v.41, no.7, p.1629-1639.
- ZUMAETA, N.; ROLDÁN, J. 2003. Determinación del aumento del tamaño de gotas de aceite debidas a la aplicación de campos eléctricos. Chile.