

# ROMPIMIENTO DE EMULSIONES PROVENIENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA MEDIANTE APLICACIÓN DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

(Breach of emulsions from the process of extraction of oil palm by means of application of electromagnetic radiation)

Edgar Castillo, Sayda Zambrano\*, Johanna Bastos\*, Carlos Fernández, Cenipalma\*\*

\*Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, saayda@gmail.com

\*\*Palmar La Vizcaína, carlos.fernandez@cenipalma.org

(Recibido Agosto 17 de 2007 y aceptado febrero 15 de 2008)

<p><b>Resumen:</b></p> <p>El proceso de extracción de aceite de palma busca separar las emulsiones aceite-agua-lodos empleando técnicas de sedimentación y/o centrifugación; sin embargo, las pérdidas en diferentes flujos del proceso persisten, y reducirlas implica aumentar el tamaño de los equipos. El trabajo consistió en someter a microondas dos flujos de proceso: licor de prensa y recuperados de centrifuga; los tiempos de exposición evaluados fueron desde 10 hasta 60 s con incrementos de 10 s; para el caso de licor de prensa también fueron evaluadas diferentes relaciones de dilución aceite/agua y los resultados fueron comparados con los perfiles de velocidad y eficiencia de sedimentación, para muestras de estos mismos fluidos sin ser irradiadas (testigos). Finalmente se realizaron pruebas de aceite para determinar si existen o no efectos sobre la calidad del mismo por parte de las microondas.</p> <p>En general, someter dichas emulsiones a microondas durante tiempos inferiores a un minuto, mejoran la velocidad de sedimentación y específicamente para los recuperados de centrifuga también se mejora la eficiencia de sedimentación; demostrando que es posible romper los equilibrios de cargas y polaridades en las emulsiones a una temperatura más baja que la utilizada en el proceso (entre 55 °C - 65 °C). Aunque el proyecto no permite la aplicación inmediata en las plantas de beneficio, si demuestra que existe un efecto favorable de las microondas en el rompimiento de emulsiones, por lo que es conveniente continuar investigando en este campo.</p>	<p><b>Abstract:</b></p> <p>The process of extraction of oil of palm seeks to separate principally the emulsions oil-waters down muds presents using technologies of sedimentation and/or centrifugation; nevertheless, the losses in different flows of the process persist, and to reduce them it implies increasing the size of the equipments. The work consisted of submitting two process flows: liquor of press and recovered of centrifugal to the microwaves; the times of exhibition evaluated were from 10 s up to (even) 60 s with increases of 10 s; for the case of liquor of press also different relations of dilution were evaluated oil/water and the results were compared with the profiles of speed and efficiency of sedimentation for samples of the same fluids without were radiated. Finally tests were realized to the oil to determine if they exist or not effects on the quality of the same one on the part of the microwaves.</p> <p>In general, to submit the above mentioned emulsions to microwave during times lower than a minute, they improve the speed of sedimentation and specifically for the recovered ones of centrifugal also the efficiency of sedimentation is improved; demonstrating that it is possible to break the balances of charges and polarities in the emulsions to a temperature lower than the used one in the process (between 55 °C - 65 °C). Though the project does not allow the immediate application in the plants of benefit, if it demonstrates that a favorable effect of the microwaves exists in the breach of emulsions for what it is suitable to continue investigating in this field.</p>
<p><b>Palabras clave:</b> Microondas, Aceite de palma, Relación de dilución, Emulsión.</p>	<p><b>Key words:</b> Microwave, Oil of Palm, Relation of Dilution, Emulsion.</p>

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantas extractoras de aceite de palma presentan en la mayoría de las corrientes del proceso emulsiones estables de aceite-agua-lodos, las cuales son separadas parcialmente mediante operaciones convencionales de clarificación, centrifugación y decantación, condicionando la operación a altos tiempos de retención de los fluidos dentro de los equipos para alcanzar un grado de recuperación de aceite aceptable.

Las pérdidas de aceite en diferentes flujos del proceso son frecuentes y tratar de reducirlas con las combinaciones tecnológicas actuales implicaría aumentar el volumen de los equipos y por ende un aumento en el espacio requerido, los costos de mantenimiento y la deficiencia en el control del proceso. Según el informe de Cenipalma (FEDEPALMA, 2006), para el primer semestre de 2006 se reportan a nivel nacional pérdidas de 0.53% aceite/TRFF (7.06 g aceite/l efluente) para las plantas extractoras de aceite. El TRFF, es una unidad que hace referencia a Tonelada de Racimo de Fruta Fresca.

El calentamiento, el rompimiento microbiano, la centrifugación y finalmente la adición de agentes químicos, son métodos ampliamente conocidos y empleados en la separación de emulsiones aceite-agua, bien sea de forma individual o combinaciones entre sí; sin embargo se obtienen separaciones parciales. Los calentamientos convencionales tienen problemas debido a las bajas velocidades de transferencia de calor entre los lodos densos, la formación de incrustaciones en equipos y la pérdida de volátiles; por otra parte, los desemulsificantes químicos están sujetos a regulaciones de descarga en aguas públicas y además puede que no logren altos niveles en la separación.

Una de las tecnologías exploradas científicamente en el tratamiento de emulsiones son las microondas, cuyos resultados presentan una alternativa de separación efectiva, con tecnología más limpia y libre de químicos o calentamiento convencional. Esta tecnología representa un potencial aún no explotado como alternativa de reemplazo y mejoramiento en procesos agroindustriales dada su facultad de generar energía calorífica dentro de la muestra expuesta, aprovechando sus propiedades dieléctricas y eliminando limitantes en los procesos de transferencia de calor tradicionales; los estudios realizados hasta el momento se limitan a emulsiones preparadas a nivel de laboratorio, con aceites minerales, emulsificantes artificiales y dirigidas hacia el área petroquímica.

En estudios con hidrocarburos se ha logrado demostrar que al aplicar microondas a potencias controladas se incrementa la velocidad de separación respecto a la que se obtiene mediante calentamiento convencional (Wolf, 1986). Se han realizado experimentos con emulsiones agua-aceite, empleando aceite mineral (Fang, C. S. et al., 1995), este trabajo mostró que el calentamiento con microondas es más efectivo para emulsiones densas, viscosas y estables, que los calentamientos con gases o con combustibles.

En la Universidad Industrial de Santander se realizó una investigación sobre rompimiento de emulsiones agua-crudo, usando ondas electromagnéticas con apoyo del Instituto Colombiano de Petróleo - ICP, en este trabajo se encontró que en comparación con un tratamiento termoquímico, las microondas proporcionan mejores resultados en un tiempo de 17 a 36 veces menor, alcanzando grados de separación de agua de más del 70% en sólo 10 minutos (Ortiz, C., Zona, A., 1996).

El objetivo de este estudio fue el de determinar el efecto de la aplicación de microondas en la separación de emulsiones aceite-agua-lodos y en la calidad del aceite recuperado del proceso de beneficio de aceite de palma; para lo cual se experimentó con muestras correspondientes a corrientes de licor de prensa o aceite bruto de prensas y recuperados de centrífuga, seis diferentes tiempos de radiación; los criterios de comparación fueron los perfiles de velocidad y eficiencia de sedimentación para muestras radiadas y testigos.

## 2. GENERALIDADES

La superficie sembrada en palma en Colombia (haciendo referencia solamente al espacio ocupado por la palma de aceite y calculado con base en densidades de siembra reportadas por los productores) corresponde a 275317 hectáreas, distribuidas en 54 municipios de 15 departamentos como: Bolívar, Cesar, Norte de Santander, Santander, Antioquia, Córdoba, Guajira, Magdalena, Caquetá, Casanare, Cundinamarca, Meta, Cauca, Nariño y Valle del cauca; los cuales a su vez son divididos en 4 grandes grupos con base en su ubicación geográfica: zona norte (32,6%), zona central (23,4%), zona oriental (32,4%) y zona occidental (11,6%).

Colombia es el primer productor latinoamericano de aceite de palma y el cuarto a nivel mundial, siendo el cultivo de la palma el principal cultivo de oleaginosas en el país, llegando a producir alrededor de 630400 toneladas de aceite crudo, extraídas por las 52 plantas extractoras del país; donde la zona central tiene 24,8% en la participación de la producción nacional.

El proceso de extracción de aceites vegetales se realiza de dos maneras: cuando el contenido de aceite es bajo (menor de 20%) se somete la semilla a la acción de un solvente; si el aceite contenido en la semilla supera el 20% en peso, como en el caso de la palma de aceite, es más usual que el proceso de extracción se realice por prensado. En la figura 1 se muestra el proceso para la producción de aceite crudo de palma y se identifican los puntos de muestreo de los dos fluidos evaluados en este trabajo (ver figura 1).

En la extracción por prensado, la fruta es sometida a los procesos de esterilización, desfrutado, digestión, prensado, clarificación y secado. Como insumo único podría considerarse el agua, utilizada como medio de dilución, producción de vapor y lavado.

La corriente de aceite bruto de prensas o licor de prensas (LP) corresponde al fluido proveniente de la salida de las prensas, cual está constituido por aceite, agua del fruto, agua de dilución puesta en la prensa, sólidos naturales del fruto, arena y arcilla del suelo. Por otra parte, se conoce como recuperados de centrífuga (RC) a una de las corrientes de salida de las centrífugas desludadoras, esta zona del proceso es de gran interés ya que corresponde a la última etapa en la que se podría llegar a recuperar aceite de los lodos y recircularlo a la zona de clarificación.

Las microondas (MW) son un tipo de energía radiante que forman parte del espectro electromagnético entre las ondas de radio y el infrarrojo, que fluctúa entre 300 y 30.000 MHz. Las microondas se propagan en un medio dieléctrico, son absorbidas por sustancias polares, transmitidas a través del plástico, del papel, del vidrio y cerámica, entre otras y reflejadas por los metales.

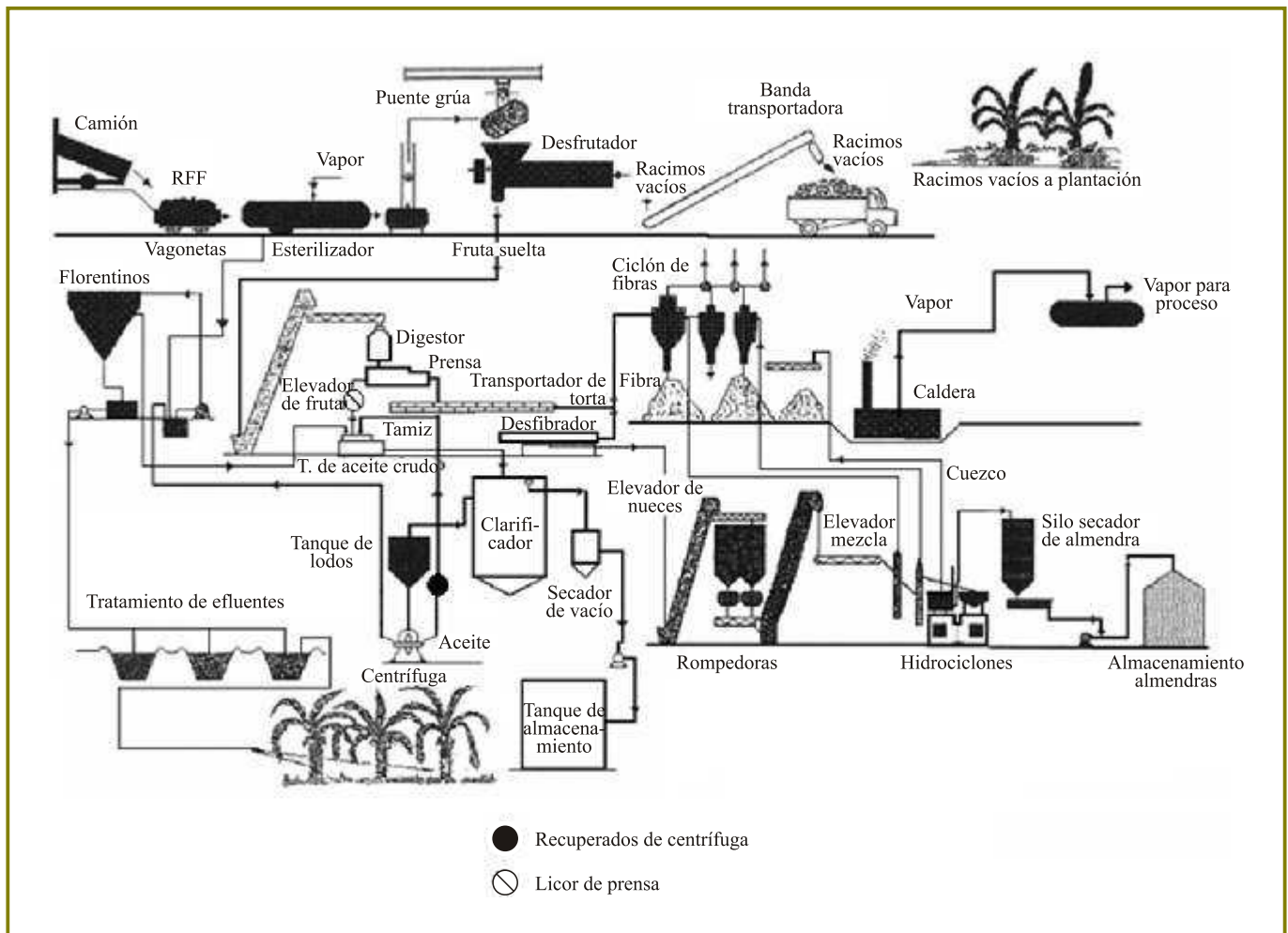


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma.

Algunas ventajas del uso de la tecnología microondas son: calentamiento sin limitaciones de transferencia de calor superficial (absorción volumétrica, evitando el sobrecalentamiento de la capa superficial de las sustancias tratadas), calentamiento rápido y selectivo de áreas húmedas y eliminación de la oxidación superficial, ahorros energéticos y de material, alta eficiencia de transformación de la energía de las ondas electromagnéticas, además las microondas solamente calientan el producto y no el aire interno, por lo cual es desplazada menor energía al ambiente local.

La penetración de la microonda en el material depende básicamente de:

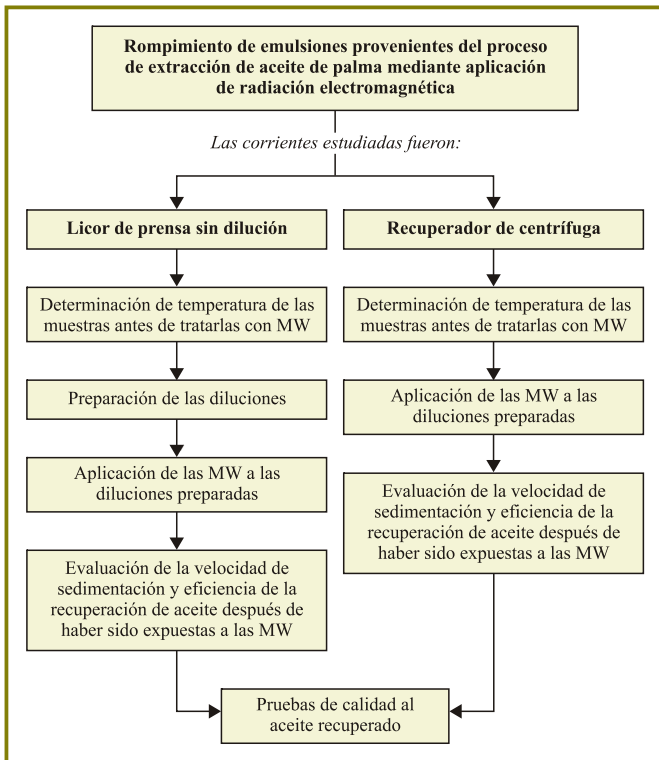
- Constante dieléctrica: capacidad de un material de absorber energía.
- Factor de pérdida: conversión de energía electromagnética en calor.
- Tangente de pérdidas: capacidad de un material de ser penetrado por un campo eléctrico y disipar energía eléctrica como calor.
- Frecuencia de la onda.

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Mediante análisis de bloques completos aleatorios, se analizaron los comportamientos de las emulsiones y sus respectivas sedimentaciones después de haber sido sometidas a cada uno de los tratamientos planteados. Las variables de respuesta tomadas como criterios de decisión fueron la velocidad de sedimentación, entendiéndose como el volumen de aceite recuperado (expresado en ml) por unidad de tiempo y la eficiencia de sedimentación representada como el porcentaje de aceite recuperado respecto al aceite total presente en la muestra.

En la figura 2 se describe la metodología experimental llevada a cabo para el desarrollo de la investigación.

Para cada uno de los fluidos estudiados fueron programados una serie de experimentos con el fin de determinar la temperatura de las muestras antes de ser irradiadas y finalmente la aplicación de las microondas; sin embargo, para LP fue necesaria la preparación de soluciones con diferentes relaciones de dilución aceite/agua (l) en un intervalo de 1.0 a 3.0, con incrementos de 0.5, se seleccionó este rango para



**Figura 2.** Esquema del desarrollo de la experimentación.

cubrir el valor de  $l = 1.5$  que corresponde al valor recomendado para la operación de los clarificadores en este tipo de industrias. Los factores analizados tanto para LP como para RC se resumen en las tablas 1 y 2 respectivamente, las cuales se muestran a continuación.

**Tabla 1.** Tratamientos aplicados para licor de prensa en la evaluación del efecto de las MW sobre el rompimiento de emulsiones.

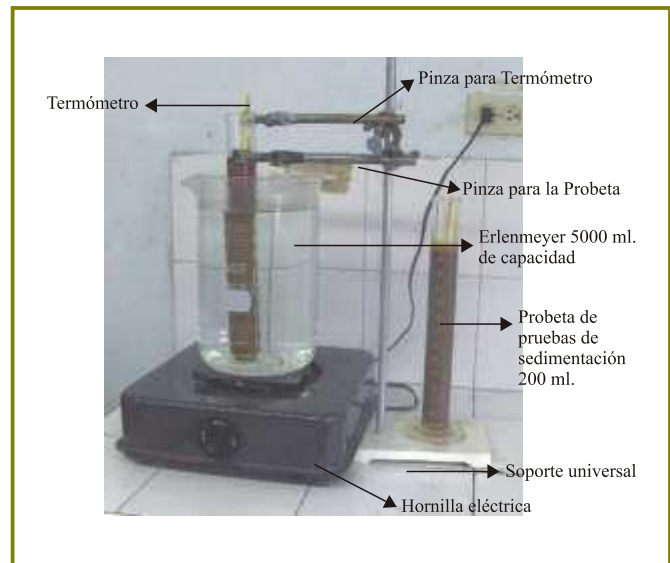
Factores	Nivel	Especificación Nivel
Relación de dilución aceite/agua	5	$1.0=l=3.0$
Temperatura Inicial	1	40 °C
Potencia del Horno	1	900 W
Tiempos de exposición	6	$10=t_{exp}=60$ s

**Tabla 2.** Tratamientos aplicados para recuperados de centrifuga en la evaluación del efecto de las MW sobre el rompimiento de emulsiones.

Factores	Nivel	Especificación Nivel
Temperatura Inicial	1	40 °C
Potencia del Horno	1	900 W
Tiempos de exposición	6	$10=t_{exp}=60$ s

Previo a la experimentación final con microondas se realizó la determinación de la temperatura de las muestras después de haber sido irradiadas, esto con el fin de definir la temperatura a la que se deberían encontrar respectivamente los montajes de sedimentación para cada tratamiento y de esta forma evitar la interferencia del efecto térmico sobre la separación de aceite y la velocidad de este mismo proceso.

La comprobación de las composiciones volumétricas de todas las muestras se realizó empleando una centrifuga de laboratorio Dynac Centrifuge Clay Adams; para las pruebas de sedimentación se dispuso del montaje representado en la figura 3.



**Figura 3.** Esquema del desarrollo de la experimentación.

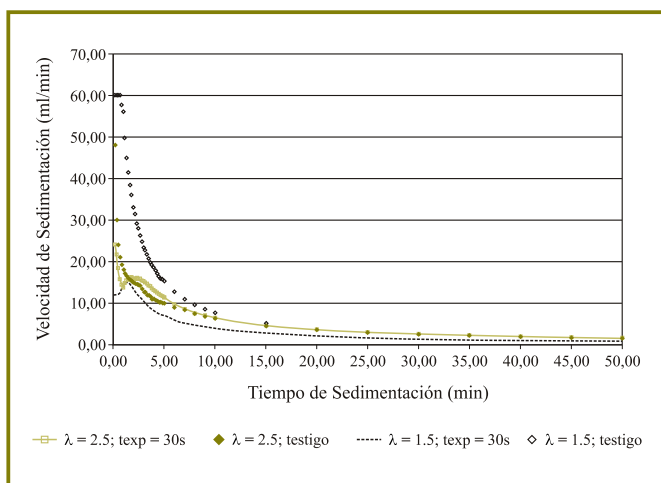
Para la aplicación de la radiación electromagnética a las muestras se utilizó un horno microondas comercial JWIN, 0.9 ft<sup>3</sup>, 900 W, frecuencia de 2450 MHz, 10 niveles de potencia los cuales son mantenidos por un controlador de potencia que se encuentra en el equipo, línea de entrada de 110 V; cabe mencionar que para efectos de mantener una radiación uniforme durante todos y cada uno de los tiempos de exposición se trabajó con la máxima potencia del equipo.

Finalmente se solicitó al Laboratorio de Cromatografía de la Universidad Industrial de Santander un estudio del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases con detector de ionización en llama, según las normas ISO 5508 y 5509 para muestras radiadas bajo las condiciones con las cuales se obtuvieron los mejores comportamientos de sedimentación. El análisis de ácidos grasos se llevó a cabo mediante la obtención y cuantificación de sus metilésteres por cromatografía de gases con detector de ionización en llama (HRGC – FID), según las normas ISO 5509 (“*Animal and Vegetable Fats and Oils–Preparation of Methyl Ester of Fatty Acids*”) y 5508 (“*Animal and Vegetable Fats and Oils–Analysis by Gas Chromatography of Methyl Ester of Fatty Acids*”), respectivamente.

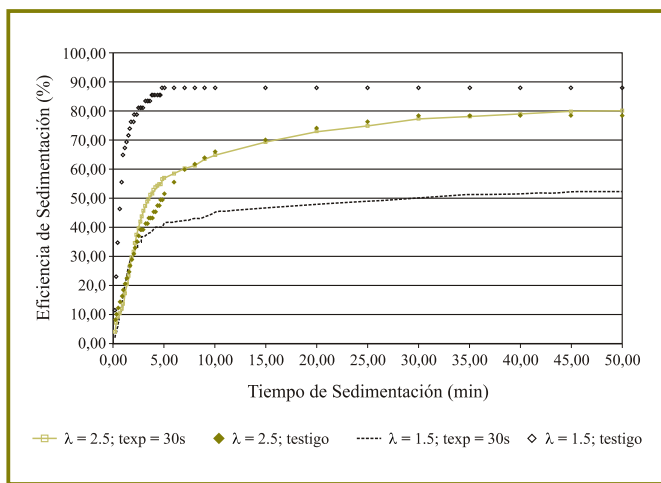
### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La validación de los perfiles obtenidos para la velocidad y eficiencia de sedimentación tuvo como referencia los perfiles de estas mismas variables para muestras no sometidas a la radiación o muestras “testigos”; el rango de temperatura de los montajes de sedimentación para la recolección de datos de velocidad y eficiencia de las muestras no radiadas fue de 90 - 95 °C, el cual corresponde a la temperatura de operación en planta.

En las figuras 4 y 5 se exponen los perfiles de velocidad y eficiencia de sedimentación, correspondientes a muestras de LP con relaciones de dilución (l) de 1.5 y 2.5 tanto para las muestras sometidas a la digestión por microondas (30 s), como a las muestras testigo.



**Figura 4.** Perfil de velocidad de sedimentación de LP para muestras expuestas 30 s a las microondas y el testigo a diferentes relaciones de dilución.



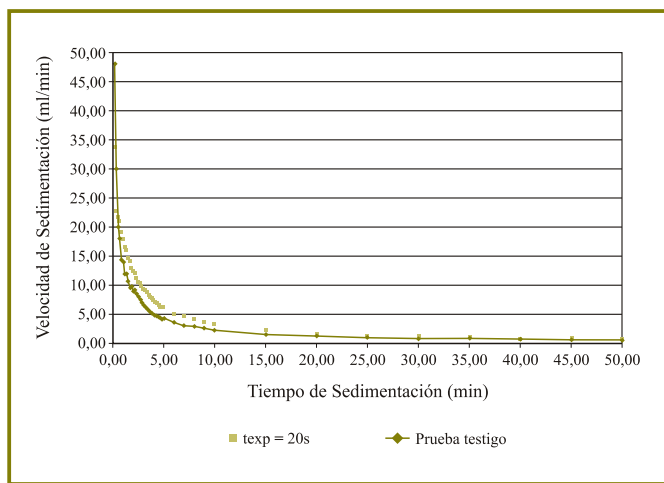
**Figura 5.** Perfil de eficiencia de sedimentación de LP para muestras expuestas 30 s a las microondas y el testigo a diferentes relaciones de dilución.

Los cambios más notorios para los valores de velocidad de sedimentación, se observan durante los primeros diez (10) minutos para todas las muestras en general. El perfil de velocidad para la relación de dilución (l) de 1.5 supera a todos los comportamientos observados, comprobándose una vez más que es la condición más favorable para trabajar en planta; sin embargo, al trabajar el LP en una dilución l de 2.5 y exponerla durante 30 s a la acción de las microondas, se observan valores de velocidad favorables y superiores a los registrados para el testigo de esta misma solución e incluso para la muestra de l = 1.5 radiada durante el mismo tiempo. Las ventajas que se tienen al trabajar con l cercana a 2.5 exponiéndolas 30 s a las microondas es que se obtendría un ahorro de agua de dilución cercano al 40% y el requerimiento de energía para mantener la temperatura de esta corriente sería menor, ya que bajo estas condiciones se alcanza una temperatura entre los 60 - 65 °C, siendo treinta grados (30 °C) menor que la temperatura de operación en las plantas de beneficio correspondientes a la sección de clarificación.

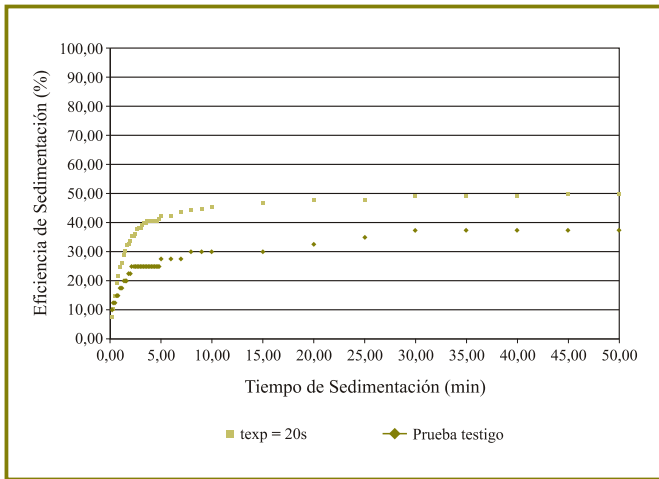
Se puede deducir que en caso de llegar a implementar esta tecnología innovadora en el proceso de extracción de aceite de palma como ayuda para la separación de las emulsiones, es necesario cambiar la relación de dilución aceite/agua que actualmente manejan este tipo de industrias.

Las otras combinaciones de tiempos de exposición y relaciones de dilución aceite/agua no presentaron resultados relevantes para el objetivo de esta investigación, por lo cual no son expuestos en este trabajo.

De igual forma al aplicar los tratamientos específicos para RC y registrar los valores de velocidad y eficiencia de sedimentación, los comportamientos correspondientes al mejor tratamiento y a la muestra testigo son representados en las figuras 6 y 7, respectivamente.



**Figura 6.** Perfil de velocidad de sedimentación de RC con muestras expuestas 20 s a las microondas y el testigo.



**Figura 7.** Perfil de eficiencia de sedimentación de RC con muestras expuestas 20 s a las microondas y el testigo.

De los resultados obtenidos se observó que empleando la radiación con microondas sobre las muestras de RC durante 20 s se obtienen valores de eficiencia en la recuperación del aceite superiores a los que se obtienen con las condiciones convencionales de planta. Además del incremento en las variables evaluadas como variables de respuesta, se cuenta con una reducción en el requerimiento del consumo de vapor para mantener esta corriente a una temperatura cercana a 57 °C, siendo inferior a la temperatura de proceso.

#### 4. CONCLUSIONES

Es evidente el efecto que tiene la radiación electromagnética con microondas sobre el equilibrio de las emulsiones aceite-agua-lodo reflejado en un aumento en la velocidad de sedimentación.

Existe la posibilidad de romper los equilibrios de cargas y polaridades en las emulsiones aceite-agua-lodo a una temperatura más baja que la utilizada en el proceso, por medio de esta tecnología.

El mayor rendimiento en la sedimentación y recuperación de aceite para el licor de prensa sin microondas se obtuvo para una I de 1,5. Esto permite corroborar lo encontrado en una investigación anterior (Díaz, Castillo y Yañez, 2005).

Los mejores resultados de velocidad y eficiencia de sedimentación para el licor de prensa y recuperados de centrífuga, se obtienen para 20 s de exposición, debido a que existe un óptimo para la energía vibracional que se le da a los enlaces; con ese tiempo se llega a la energía de polarización de los enlaces y con otros mayores se le entrega más de lo que necesita y la radiación se manifiesta hacia un efecto térmico.

Los mejores tratamientos para la corriente del licor de prensa, resulto ser para la relación de dilución de 2,5 con 30 s de exposición a las microondas.

El trabajo de investigación presentado no permite la aplicación inmediata de la tecnología de microondas para las plantas de beneficio de aceite de palma en Colombia, debido a que sólo se han irradiado mezclas aceite-agua-lodo en régimen estático; pero sí deja ver claramente que existe un efecto favorable en el rompimiento de dichas emulsiones, presentes en los fluidos del mencionado proceso, respecto a la velocidad de sedimentación y que es necesario continuar con esta línea de investigación pero manejando otras condiciones de experimentación.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Centro de Investigación de Palma de Aceite – Cenipalma y a la Planta de Beneficio Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A., por permitir la ejecución de trabajos de investigación aplicados a situaciones reales.

#### 6. REFERENCIAS

- Chan, C., Chen, Y. (2002). Demulsification of W/O emulsions by microwave radiation. *Separation Science and Technology* 37(15): 3407-3420.
- Rajinder, P., Masliyah, J. (1991). Use of microwaves for demulsification of water-in-oil emulsions. *AOSTRA Journal of Research* 7: 155-162.
- Ong, T. H., Gapor, T. (1998). Applications of microwave technologies and their potential assimilation in the palm oil industry. *Palmas* 19(3): 75-86.
- Fang, C.S., Lai, P.M.C. (1995). Microwave heating and separation of water-in-oil emulsions. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 30(1): 46-57.
- Paré, J., Bélanger, J., García, J. (2000). The Microwave Assisted Process (MAP™): applications to the extraction of palm oil. *Palmas* 21 tomo 2: 371-384.
- Khalid, K., Zakaria, Z., Wan Yusof, W. D. (1996). Variation of dielectric properties of oil palm mesocarp with moisture content and fruit maturity at microwave frequencies. *Elais* 8(2): 83-91.
- Chow, M. C., Ma, A. N. (2001). Microwave in the processing of fresh palm fruits. *Proceeding of the 2001 PIPOC International Palm Oil Congress (Chemistry and Technology)*: 3-8.
- Pérez, R., García, B., Pitarch, J., Catalá, J. M. (2006). Caracterización dieléctrica de macroemulsiones mediante el uso de sonda coaxial. Valencia, España. Artículo en preparación. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Comunicaciones.
- Fang, C. S., Lai, P., Chang, B. (1989). Oil recovery and waste reduction by microwave radiation. *Environmental Progress* 8(4): 235-238.
- Díaz, O., Castillo, E., Yañez, E. (2005). Estudio del Nivel de Dilución Apropiado del Licor de Prensa en el Proceso de Extracción de Aceite de Palma, Apoyado en el Diseño y Evaluación de un Sistema de Control Automático. Proyecto de grado, Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- FEDEPALMA (2006). Estadísticas de la Palma de Aceite en Colombia, Anuario Estadístico. Capítulo 2.

- Núñez, M. F., Ramírez, O. (2004). Aplicación y Evaluación de los Efectos de Campos Magnéticos en el Rendimiento de la Extracción del Aceite Crudo de Palma. Proyecto de grado, Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Ortiz, C., Zona, A. (1996). Rompimiento de Emulsiones Agua en Crudo Usando Ondas Electromagnéticas. Proyecto de grado, Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Owens, T. (1999). Application of Microwave Radiation in a Centrifuge for the Separation of Emulsions and Dispersions. Patent No. US5911885.
- Paré, J. (1991). Microwave-Assisted Natural Products Extraction. Patent No. US5002784.
- Perry, R.H., Green, D.W. (2001). Manual del Ingeniero Químico. Tomo I. 7ª ed. McGrawHill: 18-82.
- Wolf, N.O. (1986). Uso de Radiación Microondas en la Separación de Emulsiones y Dispersiones de Hidrocarburos en Agua. Patente No. US4582629.
- Observatorio Agrocadenas Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). Estadísticas, La Cadena de Oleaginosas en Colombia.