

CLARIFICACIÓN ESTÁTICA REDUCIDA

REDUCED STATIC CLARIFICATION

RESUMEN



AUTOR



Juan Carlos Urueta

Ingeniero Mecánico
Especialista en Desarrollo
empresarial
Danayma S.A.,
Ecuador
juruela@yahoo.es

Palabras CLAVE

Clarificación estática, tanques preclarificadores, recuperación de aceite.

Static clarification, pre-clarification tanks, oil recovery.

Editado por Fedepalma.

En los últimos dos años se ha demostrado ampliamente los excelentes resultados obtenidos a partir de la implementación de los pequeños tanques preclarificadores, los cuales, reducen en relación 1:4 los tiempos de clarificación del 90% del aceite susceptible de recuperar en esta fase, mejorando sensiblemente el parámetro de acidez y facilitando la operación misma. Paradójicamente recuperar valores cercanos al 10% del aceite total requiere cambiar el principio físico de separación por densidades relacionadas, por el efecto de fuerzas centrífugas, cuyas inversiones representan entre 10 y 20 veces el valor de un sistema de clarificación como el referido. El presente trabajo es consecuencia de un conjunto de reflexiones gestadas a través de algunos años de dedicación, investigación, pruebas y errores, en el tema de los preclarificadores. De las principales conclusiones se destaca que la clarificación estática reducida genera economía en los costos unitarios de producción: menor mano de obra, mayor aprovechamiento de la capacidad instalada, mejor calidad y cantidad de aceite. La implementación de estos equipos hace más dinámico el control de procesos. El trabajar con sustancias de diferentes características exige mantener condiciones especiales de operación, alcanzar una mejor interpretación de datos y una mayor capacidad de decisión en el recurso humano responsable.

SUMMARY

In the last two years, it has been shown the excellent results obtained from the implementation of small crude palm oil settler tanks. These tanks not only reduce the clarification time of the 90% of oil that can be recovered in a ratio of 1:4 compared to the conventional settler, but also improve the free fatty acid parameter. Paradoxically, to recover the other 10% of the oil it is necessary to use centrifuge forces equipment, which represents between 10 and 20 times the cost of a small crude palm oil settler tanks. This paper summarizes some of our result during more than two years working with these equipments. It can be concluded that the use of these tanks reduces the unitary cost of production due to a lesser labor cost, better use of the installed capacity, and better quality and amount of oil. The implementations of these equipments make more dynamic the control process.

Agradezco a Fedepalma y a Cenipalma la oportunidad de participar en este importante evento y compartir con ustedes experiencias que son resultado de una serie de inquietudes generadas durante mi gestión al servicio del sector palmero colombiano.

En los últimos dos años se han demostrado ampliamente los excelentes resultados obtenidos a partir de la implementación de los pequeños tanques preclarificadores, los cuales reducen en proporción de 1 a 4 los tiempos de clarificación del 90% del aceite susceptible de recuperar en esa fase. Con ello se logra mejorar considerablemente el parámetro de acidez y se simplifica mucho el proceso.

Es paradójico cómo para recuperar ese 10% restante muchas veces se requieren inversiones que representan entre 10 y 20 veces el valor de un sistema de clarificación convencional como el referido; en realidad, se debe cambiar el principio físico de separación del aceite por las densidades relacionadas, por el efecto de fuerzas centrífugas.

En este trabajo se parte de presentar un esquema muy general que corresponde a la puesta en marcha de los tanques preclarificadores; la estructura básicamente es un tanque rectangular que permite calcular la longitud libre, es decir, la longitud de separación del aceite, vinculando la ecuación del movimiento brosquiano a partir del movimiento aleatorio de las partículas y la velocidad de arrastre por fricción; una vez determinada esa longitud, se coloca una serie de bafles, cuyo objeto es ofrecer



Foto 1. C.I. Alamosa S.A., Bosconia - Colombia

resistencia al flujo durante su desplazamiento, y a través de unos sistemas de conexión se va capturando el aceite en un proceso rápido, que en el caso más crítico tarda una hora. Generalmente se dispone de unos volúmenes de control para el manejo del lodo y del aceite ya casi terminado, con unos sistemas de bombeo automatizados por nivel.

Cuando el proceso se ha estabilizado, para efectos de la recuperación, dos compartimientos especiales (fotografía 1) permiten extraer por tubería un aceite que presenta mayor calidad en aspectos fundamentales como son la acidez y la humedad. El proceso de separación física se realiza manteniendo una capa de aproximadamente 40 centímetros de aceite en cada uno de los compartimientos.

La investigación empezó en el año 2004, cuando el departamento de Ingeniería de Palmeras de Alamosa presentó en un congreso nacional su primer trabajo, que consistió en el primer preclarificador que montaron, con la característica importante de generar una recuperación de aceite del 50% y una eficiencia del 85% en lo que corresponde a la clarificación.

Después de ese trabajo, el clarificador fue mejorado en la extractora Villa Esperanza, debido a que fue ubicado después del tamiz de crudo, de tal manera que permitía mejorar el parámetro de impurezas, lo cual, a su vez, exigía que se le diera un tratamiento con mayor rigurosidad al aceite después de ser recuperado.

La Tabla 1 muestra los resultados promedio de esas extractoras cuya recuperación de alguna manera ha sido bastante significativa, simplificando cada día más pasos y logrando obtener eficiencias representativas.

Con la implementación de los pequeños tanques preclarificadores, operados y monitoreados de conformidad con las especificaciones lógicas del proceso, los antiguos tanques preclarificadores que se proveían de altos volúmenes pero con bajas concentraciones de aceite (normalmente entre 5 y 8% v/v), se han convertido prácticamente en tanques de lodo en tránsito.

En diluciones 8-10% aceite, 45-55% agua es difícil la recuperación de aceite por efecto la temperatura y el cambio de densidades relacionadas. En estos casos se obtienen mejores resultados con equipos que permitan aprovechar las fuerzas centrífugas para la separación del aceite. Sin embargo, en el caso



Tabla 1. Datos generales de la puesta en marcha de los primeros preclarificadores

Detalle	Unidad	Alamosa	Ebel	Aceites	Danayma
Producción anual promedio	Ton/año	38.000	30.000	120.000	60.000
Capacidad de la planta	Ton/Hr	14,00	9,50	45,00	14,00
Capacidad del preclarificador	m ³	8,00	9,00	9,00	8,00
Modelo	Año	2004	2005	2005	2005
Principio de operación		Continuo	Baches	Continuo	Continuo
Relación de dilución aceite/agua	adimensional	1,00	1,00	1,40	1,00
Carrera de trabajo	min	60	50	70	50
Temperatura	°C	90	92	85	90
Contenido de aceite en licor de presas	% v/v	36	35	35	35
Contenido de aceite en lodos primarios	%v/v	12	10	12	10
Humedad en aceite recuperado	%v/V	0,44	0,55	0,80	0,60
Impurezas en aceite recuperado	%v/V	1,50	0,20	0,80	0,80
Acidez promedio %	2,46	2,10	2,00	2,10	
Eficiencia de la clarificación	%	85,71	92,59	85,19	92,59
Cantidad de aceite recuperado	%	53,00	90,00	65,00	84,00

específico de las centrífugas verticales, esta ventaja no tiene una trazabilidad adecuada, ya que en la mayoría de los casos se hace retornar el recuperado con concentraciones volumétricas entre 24 y 32% de aceite a los clarificadores convencionales, separando el proceso físico de separación y la calidad del producto final.

Lo que se logra es mejorar los parámetros de acidez; en realidad, los tanques verticales de clarificación estática se han convertido en unos tanques de lodo, por lo que se ha advertido la necesidad de cambiar el principio de trabajo. Normalmente se incurre en el error de no aprovechar la ventaja mecánica de la centrífuga, que entrega un producto cuyas concentraciones volumétricas de aceite están entre el 24 y el 32%, y muchas veces se diluye esa concentración con el lodo residual del licor de prensa y, en consecuencia, los tiempos de clarificación se aumentan significativamente, al tiempo que el proceso se torna un poco difícil en el manejo que se realiza en el laboratorio.

Los objetivos de este trabajo son básicamente:

- Optimizar el proceso de recuperación de aceite aumentando los volúmenes de captación del producto final en el menor tiempo posible; ese es el principio fundamental del trabajo.
- Mostrar unas prácticas y procedimientos que faciliten la obtención de un producto de mayor calidad.
- Mostrar la infraestructura y el origen de una herramienta de bajo costo y de alta eficiencia para

recuperación de aceite complementaria a los procesos de centrifugado.

Inicialmente se comenzó a construir unos prototipos teniendo en cuenta algunas presunciones básicas; pero anteriormente se habían estudiado con bastante detenimiento las características del aceite recuperado de centrífuga. Al estabilizar ese parámetro se construyeron con estas dimensiones una serie de prototipos (Figura 1) en los cuales se buscaba a establecer cuál era la relación geométrica entre el diámetro y la altura y las condiciones de operación, considerando la temperatura y otras características del proceso para poder obtener el mejor resultado.

Estos prototipos fueron desarrollados en un material de las mismas características del equipo industrial. En la curva de comportamiento, normalmente cuando la relación entre el diámetro y la altura por la configuración física del prototipo había mucha emulsificación y se dificultaba obtener un dato muy real, pero se veía que en la medida en que se incrementaba esa relación, se mejoraba sensiblemente ese parámetro. Entonces se escogió en el punto en el cual la relación era igual a 4 y se separó una etapa de aceite en aproximadamente 12 minutos. Se llena el recipiente con agua una tercera parte de su altura efectiva y se abre la válvula de admisión de vapor para calentarla hasta una temperatura de 90 grados centígrados, con el fin de reducir las pérdidas al inicio del proceso (Figura 2).

La infraestructura de la planta se condicionaba a la disponibilidad de una serie de recursos que había que aprovechar, y por eso tomando en cuenta unos valores constantes se hizo la extrapolación del

prototipo a una escala industrial y se encontró una semejanza de aproximadamente ocho unidades. En fin, al terminar el montaje del equipo se estableció que la altura de la capa de aceite susceptible de formarse en 90 minutos era de 0,8 metros, aproximadamente.

La Figura 3 muestra el esquema de un tanque preclarificador y ahí se observa cómo comienza el proceso de formación; lo ideal es que la capa se llene completamente para ser recuperado. Aquí vemos claramente las dos fases que se forman.

Con base en el prototipo, y ya aforando los caudales, se construyó un balance másico considerando los porcentajes de aceite y los porcentajes de lodos, simplemente estableciendo las ecuaciones a partir de los flujos y las concentraciones de aceite, y con ellos se trató de mantener estas condiciones estables a lo largo del proceso.

Algunos datos experimentales nos reflejan que en 1,5 horas se

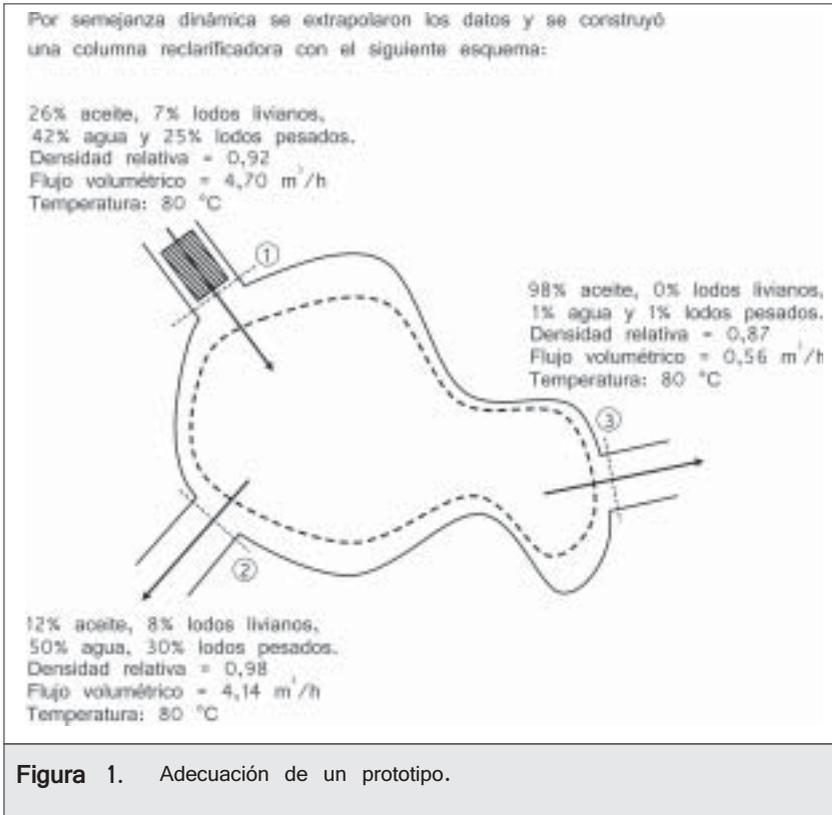
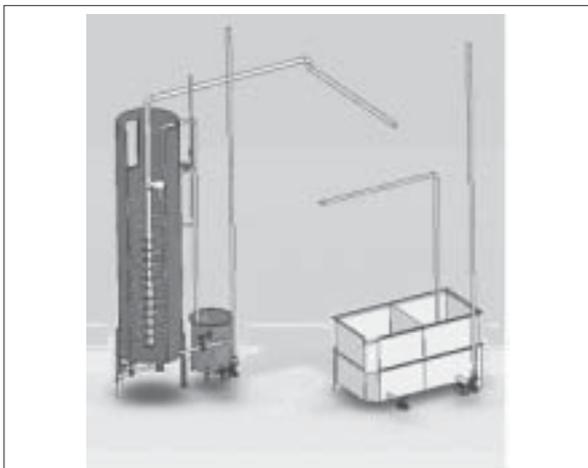


Figura 1. Adecuación de un prototipo.



Se llena el recipiente con agua una tercera parte de su altura efectiva y se abre la válvula de admisión de vapor para calentarla hasta una temperatura de 90°C, con el fin de reducir las pérdidas al inicio del proceso.

Figura 2. Prototipo.

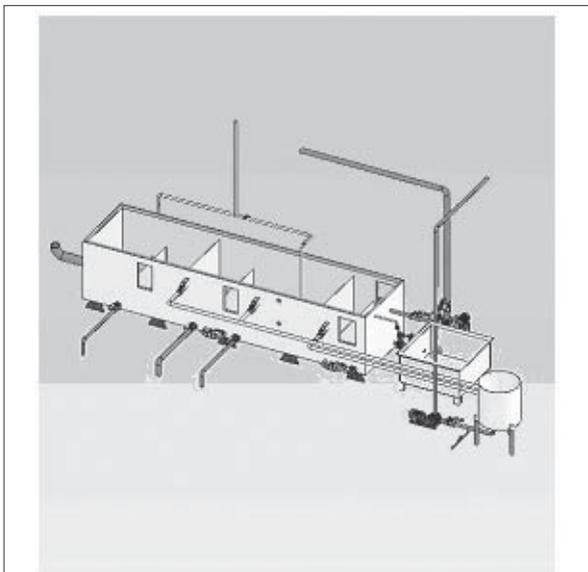


Figura 3. Esquema general de un tanque preclarificador, Danayma S. A. - Ecuador.



recuperan aproximadamente 0,84 metros cúbicos de aceite y que el caudal de entrada a la columna es de 5 metros cúbicos por hora; cabe agregar que todo ese material proviene de una centrífuga ABM de 12 puntas con una capacidad nominal de 10.000 litros por hora, que a veces se opera hasta 13.000 manteniendo obviamente los parámetros de pérdida dentro de la regularidad del caso.

Suponiendo un proceso isotérmico, y por ensayo y error, se estableció el balance de masa que se mostró anteriormente, y al concluir todos los cálculos se encontró que el aceite recuperado en la columna corresponde a 0,487 toneladas por hora, que en relación porcentual con todo el aceite que se recupera en la planta extractora, equivale al 16,56%.

El equipo está configurado básicamente por un tanque cilíndrico circular provisto de un serpentín en forma de corona circular, con un colector y una línea de alimentación del aceite recuperado de centrífuga, una línea de descarga de aceite que viene a este tanque y una línea de lodos ya terciarios de los lodos finales, que preferiblemente son operados por un decantador; en el caso de que las concentraciones, por una razón específica o por las condiciones cambiantes de la fruta y del proceso así lo obliguen, se vuelve a recircular eso en un tanque clarificador aparte. Normalmente lo que se hace es llenar una tercera parte de la capacidad del recipiente al iniciar el proceso para tratar de reducir las pérdidas, después de lo cual se abre la válvula de vapor y se inicia un proceso de calentamiento a 90 grados centígrados.

Se alimenta el fluido de trabajo y se abre la válvula de rebose para recircular los lodos. Se va tomando siempre el fondo; al formarse una capa de aproximadamente 10 centímetros, se cierra esa válvula de emisión de vapor, para tratar de reducir la emulsificación y se espera que se forme una capa de aproximadamente 80 centímetros, momento en el cual se cierra la válvula de rebose para suspender el flujo del producto alimentación, y finalmente se recupera el aceite.

Los lodos residuales de la columna son vertidos a un tanque de lodos, y dependiendo de la concentración de aceites, estos son recirculados a la centrífuga y procesados con la ayuda de un tricante. La válvula de purga se emplea exclusivamente para mantenimiento y la de rebose para finalizar el proceso.

Se han establecido algunas ecuaciones que modelan la eficiencia del equipo (Figura 4); en realidad se comenzó a aforar caudales y concentraciones, pero se observó que después de cierto tiempo, cuando las condiciones se hacían estables, ya el equipo trabaja de forma continua; la relación volumétrica de los caudales era casi constante; estableciendo esas ecuaciones se midió la eficiencia porcentualmente calculando las diferencia de concentración de aceite al ingreso con respecto al aceite detectado en el lodo de salida, y se comparó con un valor permisible tanto en el clarificador como en la columna reclarificadora; de esa manera se puede mantener dentro de los parámetros de control ordinarios una eficiencia en el clarificador de 92,59 y en la columna de 87,5.

Como se dijo anteriormente, se contaba con algunos equipos que se pudieron reinvertir y darles un uso

La eficiencia del equipo se mide relacionando cada caudal con su respectiva concentración de aceite v/v, tomando en cuenta el ingreso del producto y la descarga del efluente. Sin embargo, el aforo de caudales muchas veces se vuelve impráctico, ya que, al estabilizarse el proceso estos valores se vuelven casi constantes. Suponiendo, en el caso de los preclarificadores, que Q_1 es el caudal del licro de prensas y Q_2 el de los lodos primarios, cuando el proceso es estable y continuo se cumple $Q_1 = XQ_2$, siendo X constante, por lo cual la ecuación de eficiencia se reduce a:

$$\eta_{\text{preclarificador}} = \frac{Ac_{\text{lodo de prensas}} - Ac_{\text{lodo terciario}}}{Ac_{\text{lodo de prensas}} - Ac_{\text{permiso lodo primario}}} \times 100\%$$

En el caso de Danayma S.A. La eficiencia de este equipo es:

$$\eta_{\text{preclarificador}} = \frac{35 - 10}{35 - 8} \times 100\% = 92,59\%$$

$$\eta_{\text{reclarificador}} = \frac{Ac_{\text{recambio de centrifuga}} - Ac_{\text{lodo terciario}}}{Ac_{\text{recambio de centrifuga}} - Ac_{\text{permiso lodo terciario}}} \times 100\%$$

En el caso de Danayma S.A. La eficiencia de este equipo es:

$$\eta_{\text{reclarificador}} = \frac{26 - 12}{26 - 10} \times 100\% = 87,50\%$$

Figura 4. Ecuaciones de eficiencia.

más significativo, los costos adicionales estuvieron por el orden de los US\$3.000, pero haciendo un presupuesto bastante objetivo como proyecto, y teniendo en cuenta las tres estaciones de bombeo, todo el sistema eléctrico, los tanques, los sistemas de emisión de vapor, las líneas de conducción y todos los controles necesarios para el buen ejercicio de este sistema, arrojaron un valor calculado de US\$12.000, obviamente considerando una depreciación del equipo a cinco años, una capacidad de procesamiento de 60.000 toneladas de racimo de fruta fresca por año aproximadamente 28.800 horas de servicio, 20 días laborales por mes y un mantenimiento preventivo garantizado.

La forma más fácil de medir si un proyecto de clarificación es rentable o no, es midiendo el impacto que generan los parámetros de control del proceso. En los efluentes del decantador, como se aprecia en la Tabla 2, se vio una reducción en aceites sobre sólido seco no aceitoso del 16 al 14; en el efluente del mismo decantador ha bajado en gramos por litros de 11 a 8 el contenido de aceite. El aceite en lodos en el clarificador convencional está actuando como un tanque de lodo en tránsito y ha disminuido del 10 al 8, mientras en el efluente final de la centrífuga también se ha encontrado una disminución de 9 a 7. Eso ha permitido que en el período entre mayo y agosto del presente año, el sistema hubiera ahorrado 0,12% de las pérdidas, cantidad que no hubiera sido suscep-

tible de recuperar si no se hubiese hecho el cambio y se hubiera seguido con el sistema tradicional de clarificación.

La idea del trabajo es tratar de obtener aceite en el menor tiempo posible, digamos que en la primera fase, después de haber sido prensado, en 50 minutos ya se tiene aceite recuperado y eso representa ciertas ventajas y la oportunidad de hacer despachos con una alta calidad del producto.

Aquí se mide el impacto del efecto que ha hecho en los parámetros de calidad en cuanto a acidez principalmente. En cuanto a humedad, la verdad es que los resultados no han sido satisfactorios por la calidad del aceite, que llega siempre un poco más húmedo y hay que seguir secándolo.

Entre las ventajas del proyecto resaltan las siguientes:

1. El mejoramiento que se lograría en la calidad del producto respecto a los parámetros de acidez y de dobing.
2. La simplificación de la cadena de trabajo; se habla de 50 minutos en el caso de preclarificador y de un rendimiento por hora de la columna.
3. La disminución de la cantidad de aceite contenida en los efluentes de centrífuga y decantador
4. El establecimiento de una trazabilidad adecuada en los procesos de centrifugado.

Tabla 2. Mejoramiento del control de pérdidas

A continuación se muestran unos datos promedio de mayo a agosto de 2006, los cuales ilustran el control de pérdidas.

Parámetro	Valor normal	Valor mejorado	Variación
Aceite en sólidos (Ac/SSNA)	16	14	-14,29%
Aceite en efluente (gr/Lt)	11	8	-37,50%
Aceite en lodos (% v/v)	10	8	-25,00%
Aceite en efluente (gr/Lt)	9	7	-28,57%

Mes	Sólido Tricanter					Efluente tricanter			Efluente centrífuga		
	RFF	% Sólido/ RFF	% SSNA/ Sólido	% Ac/ SSNA	Pérdidas	m ³ /RFF	Kg/Ac/m ³	Pérdidas	m ³ /RFF	Kg/Ac/m ³	Pérdidas
Mayo	6.680.820	1,25	10,60	2,00	177,04	0,07	3,00	1.402,97	0,44	2,00	5.879,12
Junio	5.102.660	1,25	10,60	2,00	135,22	0,08	3,00	1.224,64	0,45	2,00	4.592,39
Julio	3.601.530	1,24	10,60	2,00	94,68	0,07	3,00	756,32	0,45	2,00	3.241,38
Agosto	3.727.892	1,10	10,60	2,00	86,93	0,08	3,00	894,69	0,47	2,00	3.504,22
Acumulado	19.112.902				493,87			4.278,83			17.217,11
Kg aceite recuperado		21.990									
% aceite recuperado		0,12									



5. La obtención de condiciones estables.
6. La facilidad en la dilución de los lodos, por lo extenso que se vuelve.

También debe reconocerse que presenta algunas desventajas, como:

1. Hay un mayor contenido de humedad e impurezas en el aceite recuperado.
2. Se presenta una mayor demanda de vapor en el proceso.
3. Aumentan los tiempos y movimientos para el operario.

En general se pueden señalar las siguientes conclusiones:

- El tiempo es un factor determinante en la recuperación de aceite, ya que influye directamente sobre los parámetros de acidez y dobi.
- Los costos de producción, en especial mano de obra y servicios, varían de la forma más parecida a una función constante, particularmente en el caso estudiado.
- Los pequeños tanques preclarificadores y la columna reclarificadora o de recuperados de centrífuga representan la alternativa más económica, con excelentes niveles de eficiencia si son operados en condiciones normales.
- Una de las principales ventajas de implementar estos equipos es que cualquier cambio generado en el proceso puede ser medible casi instantáneamente y verificable en el corto plazo a través de ensayos de laboratorio, lo cual facilita el control de pérdidas y el monitoreo de los balances másicos globales.
- Por la rapidez en la captación del producto final, inherentemente se logra inculcar una fuerte

disciplina en el personal de laboratorio respecto a los análisis y muestreos, facilitando que este recurso humano deje de ser un simple generador de información y se convierta en un usuario de la misma, para la toma de decisiones.

- Las extractoras que todavía cuentan con sistemas extensos de clarificación convencional pueden aprovechar esa capacidad instalada para diluir lodos y optimizar el funcionamiento y la eficiencia de los equipos de recuperación por efecto de fuerzas centrífugas.
- La clarificación estática reducida genera economías en los costos unitarios de producción: menor mano de obra, mayor aprovechamiento de la capacidad instalada, mejor calidad y cantidad de aceite. Esto puede ser estratégico para enfrentar la crisis actual que atraviesa el gremio palmicultor.
- En plantas de mayor capacidad puede disponerse de equipos operados en paralelo, con el fin de aprovechar el principio físico de separación de aceite.
- La implementación de estos equipos hace más dinámico el control de procesos.
- Trabajar con sustancias de diferentes características exige mantener condiciones especiales de operación, alcanzar una mejor interpretación de datos y una mayor capacidad de decisión en el recurso humano responsable.

Por último, quiero agradecer especialmente a la alta visión corporativa e innovadora del grupo Agroindustrial de Anaima integrado por tres extractores, a todos los colaboradores de Anaima S.A y a las empresas que en Colombia me permitieron desarrollar la parte preliminar de este trabajo: C.I El Roble y Extractora La Esperanza.