

## Experiencia en el uso de tecnología TD-NRM en Unipalma S. A.

Experience in the Use of TD-NRM Technology in Unipalma S. A.

**CITACIÓN:** Sierra-Z., F. (2021). Experiencia en el uso de tecnología TD-NRM en Unipalma S. A. *Palmas*, 42(1), 149-157.

**PALABRAS CLAVE:** Pérdidas de aceite, Resonancia magnética nuclear, Control de proceso, Eficiencia en plantas de beneficio.

**KEYWORDS:** Oil losses, Nuclear magnetic resonance, Process control, Efficiency in palm oil mills.

SIERRA Z. WILDER F.  
Director de Planta Unipalma

### Resumen

La determinación de contenido de aceite en fruto, almendra y todas las corrientes del proceso de extracción de aceite de palma son un indicador fundamental en las plantas de beneficio para medir la eficiencia de este. El método tradicional para medir contenido de aceite ha sido la extracción química por Soxhlet, sin embargo, la tecnología ha desarrollado nuevas técnicas que permiten obtener resultados en menor tiempo. Las más desarrolladas hasta el momento son la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés) y la resonancia magnética nuclear de dominio temporal (TD-NRM).

Unipalma S. A., en su búsqueda por tener procesos eficientes, optó por adquirir un equipo de resonancia magnética nuclear para realizar determinaciones de aceite, con esto logró tener un mejor control de las pérdidas del proceso, mayor cantidad de análisis por cada punto de muestreo y datos suficientes para toma de decisiones en corrientes del proceso como cambio de tornillos y de boquillas, reparación de prensa de tusa, entre otros. Adicional a esto, tener

contenidos de aceite en un minuto luego de secada la muestra, versus las ocho horas que dura el proceso Soxhlet, permite repetirla para asegurar la información y no depender de un nuevo análisis que tarda más de ocho horas. Los resultados evidencian que con esta metodología se logran correlaciones  $r^2$  sobre 0,9, bastante estables entre muestras y hacen de esta tecnología una buena herramienta para las plantas de beneficio de aceite de palma.

## Abstract

The determination of oil content in fruit, kernel and all the currents of the palm oil extraction process are a fundamental indicator in the mills to measure the efficiency of this. The traditional method for measuring oil content has been chemical extraction by Soxhlet. However, technology has developed new techniques that allow to obtain results in less time. The most developed so far are near infrared spectroscopy (NIR) and time domain nuclear magnetic resonance (TD-NRM). Unipalma S.A., in its search to have efficient processes, chose to acquire a nuclear magnetic resonance equipment to carry out oil determinations, with this it achieved better control of process losses, a greater amount of analysis for each sampling point and sufficient data for decision making in process streams such as screw change, nozzle change, empty fruit bunch press repair, among others. In addition to this, having oil content after drying the sample in 1 minute versus the 8 hours that the Soxhlet process lasts, allows repeatability of the samples to ensure the information and not depend on a new analysis that takes more than 8 hours. The results show that with this methodology  $r^2$  correlations over 0.9 are achieved, quite stable between samples and make this technology a good tool for palm oil extraction mills.

## Introducción

A nivel industrial, cada vez es más exigente cumplir con mejores rendimientos en los procesos, menores horas de paradas de planta y reducción de costos. Cada una de estas variables hace que un negocio sea más o menos rentable y cada una tiene un impacto diferente en los resultados de una compañía, pero todas tienen algo en común y es que van a determinar la eficiencia de negocio.

Es bien conocido en el gremio palmero que la eficiencia de las plantas de beneficio de aceite de palma siempre va a tener como factor fundamental, dentro de su razón de ser, cuánto aceite se pierde en el procesamiento de la materia prima. Independientemente de que esta tenga mayor o menor contenido de aceite o que se tengan diferentes materiales de fruto, la planta tiene como pilar fundamental perder la menor cantidad de aceite durante el proceso. Sin embar-

go, esta industria se enfrenta a un problema al realizar la determinación de las pérdidas, y es que, aunque la metodología tradicional para la determinación de contenido de aceite en muestras es bastante útil para realizar las mediciones en todas las corrientes del proceso, tanto líquidas como sólidas, tiene como falencia una variable sobre la cual no tenemos control: el tiempo.

Cuando las plantas de beneficio en Colombia empezaron a realizar análisis de laboratorio, se propuso tomar muestras acumulativas cada hora y estudiar por turno cada una de las corrientes de proceso (Bernal Castillo, 1988). Esta actividad resulta eficiente, en gran medida, porque los valores acumulativos pueden dar indicios de si un equipo está trabajando mal, lo que permite entrar a intervenir. Sin embargo, las metodologías no estaban estandarizadas para todas las zonas en el país y por ende los resultados no eran comparables. Más adelante se realizaron afinamien-

tos a las metodologías de los análisis de laboratorio y se observó que el impacto en los estados financieros de las empresas al reducir pérdidas de aceite era bastante atractivo (García *et al.*, 2000) y que estos podrían empezar a ser una herramienta para la toma de decisiones en la actualización de un equipo.

Con más plantas aplicando las metodologías en Colombia, se logra ver el impacto económico que se genera al contar con un adecuado control en el proceso respecto a pérdidas de aceite y, además, se crean nuevas perspectivas de cómo debe realizarse el proceso y cómo se puede avanzar a nivel gremial para reducir mucho más las pérdidas de aceite en plantas de beneficio (Yáñez y García, 2004). Adicional a esto, se empieza a ver el negocio global y a tener en cuenta dichas pérdidas desde el cultivo y la cosecha, y cómo estas afectan la tasa de extracción (Acero, 2004). A nivel internacional, también hay algunas publicaciones que evidencian una fuerte preocupación por tener menores tasas de extracción, y una búsqueda por encontrar herramientas que permitan reducir las pérdidas de aceite desde el cultivo hasta la planta de beneficio (Walat y Bock, 2003) (Walat *et al.*, 2013).

Todo lo anterior logró fomentar un desarrollo tecnológico en las plantas de beneficio, pues se incluyeron equipos más eficientes como las prensas de tusa, los fracturadores de racimos, los decantadores de 3 fases, centrífugas de alta eficiencia, incluso hoy se fabrican equipos exclusivamente para reducir las pérdidas de aceite al máximo, como los procesos de reprensado de fibras (Subramaniam *et al.*, 2013), entre muchos otros.

Sin embargo, aunque en la actualidad los laboratorios de las plantas de beneficio tienen equipos modernos, las metodologías para determinación de aceite siguen siendo las mismas, y es aquí donde se regresa a la variable “tiempo”. La técnica más usada es la extracción por solvente mediante el uso de un sistema Soxhlet, y su proceso está muy bien descrito en el manual de laboratorio de Cenipalma (Cala *et al.*, 2011). Este es bastante sencillo, pero tiene un inconveniente, y es que para determinar la cantidad de aceite de una muestra se puede tardar entre 6-10 o más horas, según el contenido de aceite que tenga la muestra. Unipalma S. A., buscando optimizar su proceso productivo y entendiendo que un correcto control de pérdidas de aceite es fundamental para hacer más eficiente su

planta de beneficio, decidió buscar alternativas diferentes y tecnologías que permitieran tener resultados en menos tiempo y que fueran lo suficientemente confiables y repetibles para tomar decisiones.

## Materiales y métodos

La primera parte del proceso de conversión a otro tipo de tecnologías era realizar una revisión bibliográfica del tema. Esta debía hacerse tanto nacional como internacional. Era importante buscar aliados que también estuvieran en búsqueda de nuevas tecnologías para realizar los ensayos o pruebas preliminares, como referencia se tenía la planta de Palmeiras Colombia y Biopalma, en Brasil, que estaban trabajando con un equipo de resonancia magnética nuclear. También se tenía como referente la planta de Agroince, en Colombia, que se encontraba en el desarrollo de un equipo con tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano.

Adicional a esto, se debía indagar en otros procesos productivos como soya, girasol y otras oleaginosas, y qué equipos se usaban para realizar análisis de materias primas, productos terminados y, los más importantes, para el control de procesos. Esto con el fin de establecer relaciones entre el procesamiento del fruto de palma con otros procesos y, de esta manera, evaluar la posibilidad de implementar estos equipos en las determinaciones de la planta de beneficio.

## Resultados y discusión

Luego de la revisión bibliográfica respecto a equipos que realizan determinación de grasas y aceites, nos dimos cuenta que había poca información al respecto, pero que básicamente existían tres formas de determinar el contenido de aceite: Soxhlet, espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) y resonancia magnética nuclear de dominio temporal (TD-NMR).

### Soxhlet

Aunque los equipos para extracción Soxhlet han avanzado mucho y se tienen cabinas especiales para

agilizar dicha acción, este sigue siendo un análisis que requiere de más de 6 horas para dar un resultado. Adicional a esto, los solventes que se utilizan para la determinación son algo costosos (si se utiliza grado analítico) e inflamables, lo cual es un riesgo. Su principio se basa en remover, mediante solventes, los aceites contenidos en las muestras. Para esto se hace recircular el solvente, el cual asciende por evaporación a un condensador y en este se reduce la temperatura pasando a estado líquido y enjuagando la muestra por goteo e inmersión. Este ciclo se repite varias veces hasta que no se presenta coloración en el solvente depositado en el Soxhlet o después de cierto tiempo, finalmente se recupera parte del solvente y se pone a evaporar las trazas en el horno por 30 minutos, o más, hasta obtener el aceite seco en el balón.

### Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR)

Esta técnica analítica viene tomando fuerza a través de los años, ya que es bastante sencilla en operación y tiene múltiples usos tanto a nivel de proceso en línea como en laboratorios de muchas industrias. Su principio de funcionamiento se basa en la radiación absorbida por las moléculas, según una frecuencia determinada. Con este proceso se puede reconocer un compuesto y a su vez arrojar información de la concentración de la muestra. Como ventajas se tiene que puede identificar cuantitativa y cualitativamente un compuesto en una muestra, no requiere adecuación de la misma y es un método no destructivo. Adicional, no requiere uso de solventes y aporta información de varios tipos de análisis de la muestra. Como desventaja, necesita realizar curvas o estándar de calibración con un número de datos significativo

de muestras, cuando las concentraciones son muy pequeñas no se pueden medir por este método (<100 ppm), además, requiere personal calificado para el mantenimiento e implementación. Para el gremio palmero se encontró que están en desarrollo varios equipos fabricados por BUCHI Labortechnik AG (Ramírez, 2016).

### Resonancia magnética nuclear de dominio temporal (TD-NMR)

Este es un método que se ha aplicado en otros procesos en los cuales se han tenido buenos resultados. Para el gremio palmero aplica un equipo desarrollado por Fine Instrument Technology (FIT) (Flores *et al.*, 2019). Su fundamento se basa en usar las propiedades magnéticas de los núcleos de las moléculas. El equipo emite una frecuencia y analiza la información de vibración de estas respecto al tiempo. La intensidad es utilizada para conocer el contenido de aceite y el decaimiento en el tiempo puede usarse para la determinación de ácidos grasos. Para este tipo de análisis existe el estándar ISO 10632:2000 para determinación de aceite y contenido de agua en residuos de oleaginosas, también esta la práctica recomendada por la Sociedad Americana de Químicos de Aceite (AOCS AK 3-94), la cual establece el procedimiento para determinación de aceite en semillas de leguminosas para soya, girasol y maní. Esta metodología tiene como ventaja que la calibración del equipo requiere pocas muestras, ya que es bastante estable, los resultados se dan en gramos de aceite y se tarda alrededor de un minuto, luego de colocar la muestra en el lector. Como desventaja se tiene que actualmente no hay sistemas de medición en línea, el equipo es sensible a los cambios de energía y requiere un tiempo de estabilización.

**Tabla 1.** Comparación entre los diferentes métodos para determinación de aceite en muestras

Tecnología	Tiempo para resultado	Uso de solventes	Análisis destructivo	Tiempo de calibración	Tiempo de implementación
Soxhlet	6-10 horas	Sí	Sí	N/A	N/A
NIR	1 minuto	No	No	Más de 3 meses	No definido
NMR	1 minuto	No	No	1 semana	Inmediato

## NRM en Unipalma S. A.

Luego de realizar la revisión bibliográfica, se encontró que había dos caminos para escoger: tecnología NIR o NMR. Evaluando ventajas y desventajas de cada una de estas soluciones, el grupo técnico de Unipalma S. A. definió que los equipos NMR se ajustaban a la necesidad actual del proceso y podía empezar a implementarse inmediatamente, en comparación con la tecnología NIR que, aunque tiene un gran potencial, aún está en desarrollo y requiere un poco más de tiempo para su ejecución. Sin embargo, para el grupo surgían dudas sobre la operación, ya que normalmente los equipos tecnológicos requieren personal fuertemente calificado y necesitan de condiciones especiales para operar. Todas estas dudas fueron resueltas con el proveedor del equipo quien indicó que no requería personal especializado para su operación y las condiciones ambientales no eran diferentes a las que se tiene en el laboratorio actual. En la Tabla 1 se puede ver un resumen comparativo de las metodologías.

Comprado el equipo y recibido en la planta, los técnicos del proveedor en conjunto con personal de Unipalma S. A. realizaron las curvas de calibración, para esto se realiza una curva de aceite y se determina la intensidad con diferentes masas del mismo. Luego se utilizó como referencia la extracción de aceite con el método Soxhlet de diferentes muestras de las corrientes de proceso (fruto, fibra, efluente, tusa, condensados, nuez, almendra, etc.) con el fin de realizar cada una de las curvas de calibración del equipo, según la muestra. Para cada corriente de proceso se hicieron alrededor de 12 muestras por duplicado en el Soxhlet, este tiene como metodología, primero, tomar las intensidades del equipo y, luego, colocar la referencia que da la extracción Soxhlet, este proceso tardó una semana en Unipalma S. A.

## Entrada en operación

El equipo trae un *software* para lectura de muestras, el cual debe instalarse en un computador, en Unipalma S. A. usamos un PC para uso exclusivo del equipo NMR. Para iniciar a operar luego de prenderlo, se debe esperar alrededor de seis horas para que el equipo se estabilice, este trae dos encendidos, uno de corriente eléctrica y otro que se usa al momento de realizar

la medición. La recomendación del proveedor es tener una UPS y el equipo siempre encendido en modo espera. En Unipalma S. A. tuvimos problemas de energía por los cambios de planta (somos cogeneradores y autogeneradores), así que la recomendación es tener una UPS que no permita que el equipo se desestabilice, ya que estabilizarlo consume bastante tiempo.

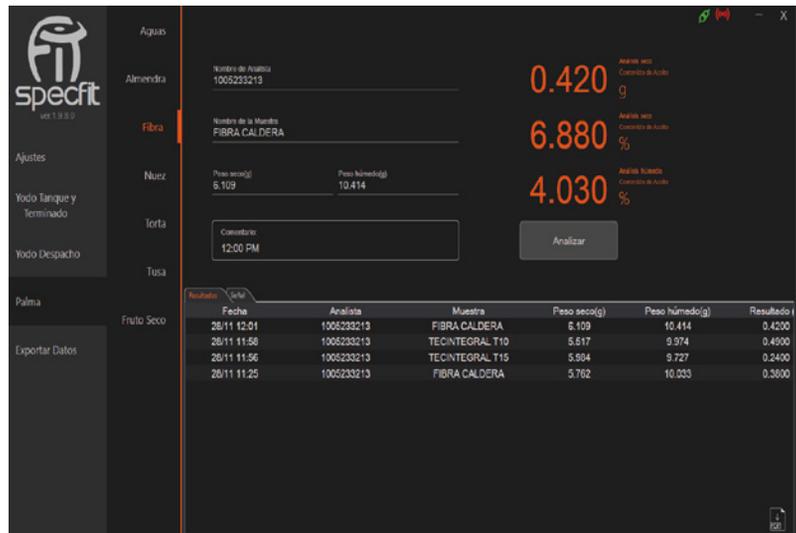
Para el procesamiento de las muestras se debe realizar el mismo procedimiento del manual de laboratorio de Cenipalma en la parte de secado y cuarteamiento. En Unipalma S. A. este se realiza con horno microondas en ciclos de cuatro minutos de calentamiento y un minuto de enfriamiento, para fibras son entre tres y cuatro ciclos; para líquidos entre cinco y seis ciclos, y se va reduciendo la potencia del horno para evitar quemar la muestra.

El equipo trae unos tubos en vidrio para depositar las muestras y hacer las mediciones, se enciende el equipo en modo lectura y previo a cada muestra, se realiza una calibración con agua. En otro tubo se deposita la muestra seca y se realiza la lectura mediante el *software*, seleccionando el tipo de muestra que se requiere determinar. El resultado es expresado en gramos de aceite en un tiempo entre treinta segundos y un minuto, como se puede ver en la Figura 1. Es importante que el volumen de la muestra no supere la marca que trae cada tubo, ya que por debajo de esta se realizan las lecturas (Figura 2).

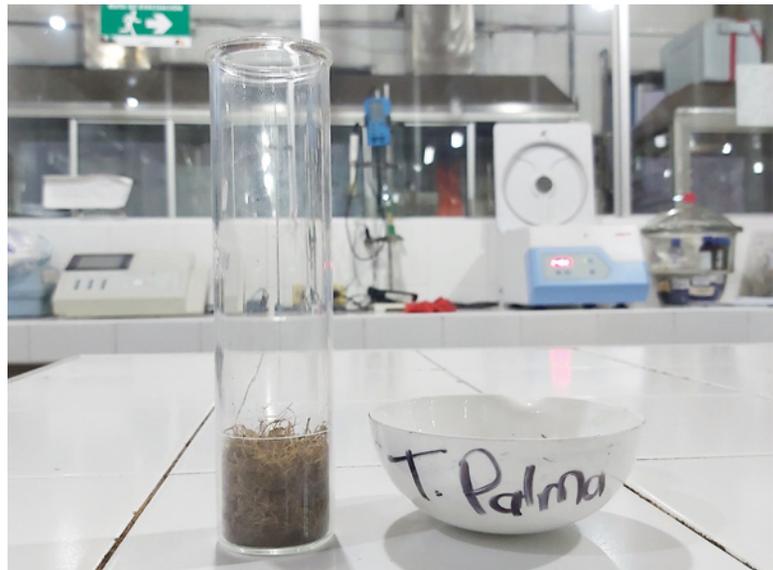
En el procedimiento anterior, teniendo en cuenta el secado de la muestra, no transcurre más de una hora, lo que hace que sea mucho más rápido que la determinación por Soxhlet y que se puedan realizar varias muestras y contramuestras sin problema para asegurar la veracidad de los datos.

Inicialmente tuvimos problemas en las determinaciones debido a que el equipo NMR marcaba menos aceite que la comparación con el Soxhlet, al realizar una revisión junto con los técnicos del proveedor del equipo, se revisó que las muestras tenían algo de humedad, así que se decidió secarlas aún más, fue de esta forma como se percató que el secado era de vital importancia para la determinación, pues cuando la muestra queda con algo de humedad, los valores que reporta el equipo pueden incrementar el porcentaje de error. En la Figura 3 se muestran las diferencias de aceite en muestra seca, en cada uno de los métodos.

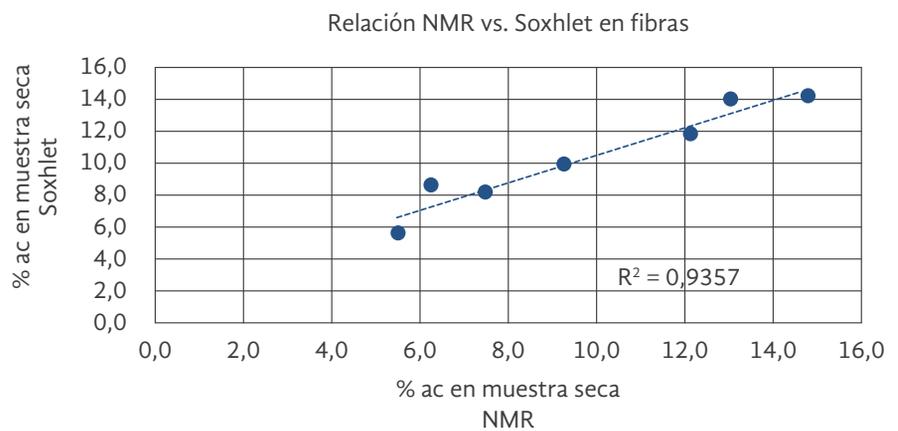
**Figura 1.** Resultado de la determinación de aceite en equipo NMR



**Figura 2.** Tubo de ensayo con muestra para medición por NMR



**Figura 3.** Comparación entre el método Soxhlet y el equipo NMR para muestra de fibras



La entrada del equipo en funcionamiento fue bastante sencilla para todos los analistas de laboratorio, y los datos al realizar la correlación con el método Soxhlet, luego de varios meses de operación, fueron estables. Inicialmente se realizaban pocos análisis por disponibilidad de personal, ya que el del laboratorio se encargaba de la recolección de muestras volumétricas, palmistería y calidad de productos, sin embargo, con el tiempo nos dimos cuenta que no se estaba explotando el potencial del equipo, así que se decidió, desde el mes de marzo, tener una persona por turno exclusivamente para el tema de pérdidas que determinara una muestra cada dos horas, y de esta manera poder tener un mejor control de nuestro proceso. Es así como, si se detecta algún incremento en pérdidas, se puede actuar inmediatamente ante el suceso o volver a muestrear para corroborar la información. En la Tabla 2 se puede ver el incremento en el número de análisis por mes.

Lo más importante de tener datos confiables es poder relacionar la información con otras variables para, de esta manera, buscar la solución o explicación a algunos comportamientos del proceso. En Unipalma S. A. se correlacionaron los resultados de pérdidas de aceite con los días de ciclo de cosecha antes y después de utilizar el equipo NMR. Como se puede ver en la Figura 4, antes del uso del equipo NMR las pérdidas en fibra se incrementaban al subir los días de ciclo de cosecha, sin embargo, luego del uso del equipo se mejoró el control en esta corriente del proceso, aun cuando los días de ciclo de cosecha estuvieron sobre valores histó-

ricos. Por otra parte, al evaluar las pérdidas en efluentes mostradas en la Figura 5 y contrastarlas con los días de ciclo, se puede ver que inicialmente hubo un incremento, el cual luego de unos días y de intervenciones en las centrifugas se corrigieron. En cuanto a los efluentes también se tuvo problemas de diferencias con los datos contrastados con el Soxhlet las primeras semanas, sin embargo, con un buen proceso de secado y mejoramiento de la curva se pudo adecuar. También se tuvo inconvenientes con los equipos en mayo y no se consiguieron algunos repuestos, lo cual inevitablemente incrementó las pérdidas en esta corriente, también motivada por los ciclos de cosecha más largos.

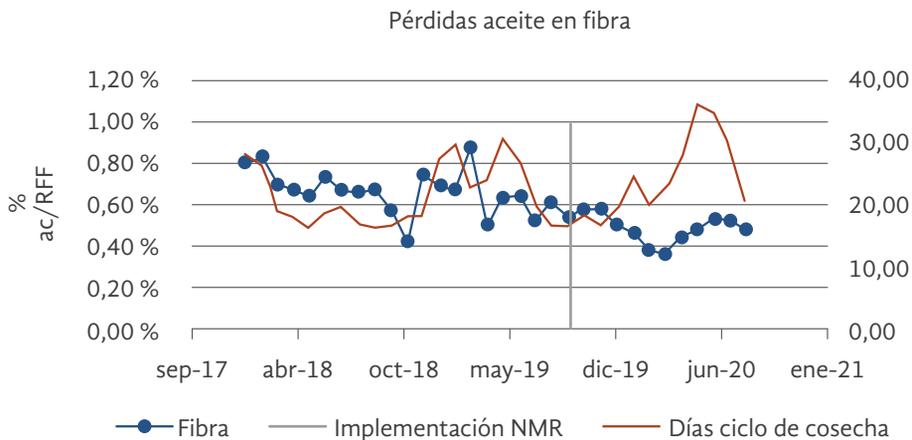
La disminución en pérdidas en Unipalma S. A. por la corriente de fibras fue de 0,2-0,3 % AC/RFF respecto a los datos que se tenían anteriormente esto, convertido en aceite, resulta una cantidad nada despreciable, la cual puede incrementarse al sumar las reducciones en las demás corrientes, lo que indica que la recuperación del costo del equipo se puede realizar en menos de un año, aunque esto dependerá de las pérdidas actuales reales que tenga cada planta y el control que se realice.

Finalmente, luego de tener estabilizadas las corrientes de proceso, el proveedor del equipo mencionó que adicional a los análisis de contenidos de aceite también se pueden realizar análisis de otro tipo, aprovechando las distintas variables que se generan, por esta razón, se está trabajando en elaborar curvas de índice de yodo y determinación de perfil lipídico, aunque están en desarrollo para el equipo de Unipalma S. A.

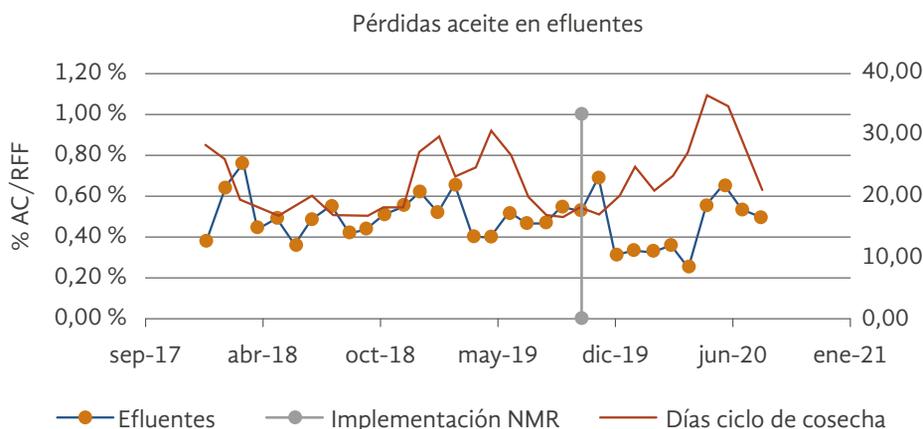
**Tabla 2.** Cantidad de análisis realizados por mes por NMR

Mes	Número de análisis realizados
Febrero	154
Marzo	503
Abril	413
Mayo	548
Junio	725
Julio	634
Agosto	233

**Figura 4.** Comparación de pérdidas de aceite en fibras con los días de ciclo de cosecha del fruto en Unipalma S. A.



**Figura 5.** Comparación de pérdidas de aceite en efluentes con los días de ciclo de cosecha del fruto en Unipalma S. A.



## Conclusiones

El uso de tecnología TD-NMR resultó ser una alternativa que permite tener un mejor control sobre las corrientes de proceso y determinar de forma oportuna la cantidad de aceite que se está perdiendo para tomar acciones. Esta metodología está aprobada para otros tipos de oleaginosas y resulta una opción importante para el gremio. Lo más interesante es que al utilizar nuevas tecnologías se mejoran los procesos y procedimientos actuales en las plantas de beneficio, reduciendo tiempos de análisis y obteniendo un sinergismo entre el laboratorio y el proceso.

Unipalma S. A. tuvo una experiencia satisfactoria en el uso del equipo TD-NMR y redujo el consumo

de solventes, el riesgo de incendio en laboratorio e incrementó la cantidad de datos obtenidos por este en todas sus corrientes de proceso, tanto para aceite de palma como de palmiste.

Esta es una tecnología que va en evolución y no es una caja mágica, por lo cual debe realizarse seguimiento para sacar el mejor provecho.

## Agradecimientos

Agradecemos a la gerencia de Unipalma S. A. por apoyar proyectos novedosos y tecnológicos, todo esto enfocado en la sostenibilidad y optimización del proceso.

---

## Referencias

- Acero, J. (2004). Mitos y realidades de pérdidas de aceite de palma en Colombia. *Palmas*, 25(Especial, tomo 2), 443-447.
- Bernal Castillo, G. (1988). Control de extractoras: métodos de análisis de laboratorio y control rápido de producción. *Palmas*, 39-47.
- Cala-A., S. L., Yáñez-A., E. E. & García-N., J. A. (2011). *Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio*. Bogota D.C.: Cenipalma.
- Flores, D., Carvalho, A. S., Azevedo, S. P., Colnago, L. A. & Consalter, D. M. (2019). Uso de resonancia magnética en la investigación del potencial de aceite de frutas, su composición y pérdidas. *Palmas*, 40(Especial, tomo 2), 20-28.
- García-N., J. A., Yáñez-A., E. E. & Rodríguez-C., N. (2000). Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas Norte y Central. *Palmas*, 21(Especial, tomo 1), 375-380.
- Ramírez-López, L. (2016) ¿Cómo se hace posible el proceso de monitorización ultradetallada en la industria de la palma de aceite mediante espectroscopia infrarrojo cercano? *Palmas*, 37(Especial, tomo 2), 47-55.
- Subramaniam, V., Menon, R., Sin, H. & Choo-Yuen, M. (2013). Recovery System to Increase the Revenue of a Palm Oil Mill. *Oil Palm Research*, 25, 116-122.
- Walat, O. & Bock, N. (2003). OER and Total Oil Losses. *Palm Oil Engineering Bulletin*, 66, 7-11.
- Walat, O. & Bock, N. (2013). *Palm Oil Mill OER and Total Oil Losses* 108, 11-16.
- Yáñez-A., E. E. & García, J. A. (2004). Reducción de pérdidas de aceite y almendra en planta de beneficio en Colombia. *Palmas*, 25(Especial, tomo 2), 448-456.