

Masa que pasa al digestor (MPD) como metodología para la estimación del potencial de aceite industrial*

MPD Method (Mass Passing to Digester) for Estimating the Potential of Industrial Oil

AUTORES: Kennyher Caballero Blanco, Ingrid L. Cortés Barreto, Nidia E. Ramírez Contreras y Jesús A. García Núñez. Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

CITACIÓN: Caballero, K., Cortés, I. L., Ramírez, N. E., & García, J. A. (2019). Masa que pasa al digestor (MPD) como metodología para la estimación del potencial de aceite industrial. *Palmas*, 40 (Especial, Tomo II), 29-38.

PALABRAS CLAVE: masa que pasa al digestor (MPD), RFF híbridos OxG, RFF *E. guineensis*, potencial de aceite, balance de masa.

KEYWORDS: Mass Pasing to Digester (MPD), FFB OxG hybrid, FFB *E. guineensis*, oil potential, mass balance.

*Artículo original recibido en español.



NIDIA E. RAMÍREZ CONTRERAS
Investigadora Asociada, Programa de
Procesamiento de Cenipalma, Associate
Researcher Processing Program,
Cenipalma
Colombia

Resumen

Ante las frecuentes oscilaciones que presenta la tasa de extracción de aceite (TEA), durante el procesamiento de los racimos de fruta fresca de cultivares híbridos OxG y *E. guineensis*, se han propuesto diferentes alternativas para la estimación del potencial de aceite y así explicar causas de estas variaciones. Sin embargo, a pesar de las diversas metodologías existentes, aún no ha sido posible determinar en su totalidad los factores responsables que afectan la TEA. Es por ello, que se propuso la MPD o masa de frutos esterilizados que pasa al digestor como una opción para la evaluación de la calidad de los racimos que llegan a la planta de beneficio.

El MPD permitió evaluar el potencial de aceite de los proveedores que participan en el proceso de extracción, determinando su incidencia (positiva o negativa) sobre el rendimiento. Esto se logró mediante la caracterización de una muestra de masa de fruto esterilizado tomado a la salida del tambor desfrutador, clasificándolos en sus componentes: frutos normales, frutos abortados, frutos partenocárpicos e impurezas.

Los resultados expuestos en esta investigación corresponden a información preliminar de gran valor para la agroindustria. Es posible inferir que el MPD puede ser utilizado como una herramienta para la predicción del comportamiento de la TEA dentro de la planta de beneficio, y dar respuesta a las eventuales fluctuaciones de la misma. Por otro lado, se observó que es factible desarrollar modelos teóricos que relacionen las variables intrínsecas del fruto y racimo como, por ejemplo, la humedad en el mesocarpio, la cantidad de mesocarpio a fruto, el MPD a racimo, etc.

Abstract

Given the frequent fluctuations in the oil extraction rate (OER) during the processing of fresh fruit bunches of OxG and *E. guineensis* materials, different alternatives have been proposed for estimating oil potential and explaining the causes of such variations. However, despite the various existing methodologies, it has not yet been possible to fully determine the responsible factors that affect OER. For this reason, the analysis of the mass passing through the digester (MPD) was proposed as an option for evaluating bunch quality at palm oil mills.

MPD analysis allowed to evaluate the oil potential of producers who supply oil palm fruit to palm oil mills, determining their incidence (positive or negative) on the total yield. This was achieved by characterizing a sample of mass of sterilized fruit taken at the exit of the drum and classifying its components: normal fruits, aborted fruits, parthenocarpic fruits, and impurities.

Our results provide preliminary information of great value for the oil palm agroindustry, since it is possible to infer that MPD can be used as a tool for the prediction of the behavior of OER within mills and to address OER fluctuations. On the other hand, it was observed that it is feasible to develop theoretical models that relate the intrinsic variables fruit to bunch, such as moisture in the mesocarp, the amount of mesocarp, and MPD to bunch, etc.

Introducción

En la búsqueda de herramientas para dar explicación a las oscilaciones que presenta la tasa de extracción de aceite (TEA) dentro de las plantas beneficio, se han diseñado estrategias que van desde la normalización en la metodología para cuantificar y expresar las pérdidas de aceite y almendra (balance de masa) (García *et al.*, 2000), hasta la implementación de procedimientos para la estimación en los racimos de fruta fresca (RFF) del potencial de aceite (análisis fisicoquímico de racimos y estimación del caudal de aceite en vertedero) (Prada & Romero, 2012; Cadena, 2004). A pesar de los esfuerzos por encontrar metodologías adecuadas para la medición, se han reportado diferencias (Cadena, 2004) hasta de cinco puntos entre el potencial industrial de aceite (suma de la TEA +

pérdidas de aceite por balance) y los obtenidos de los racimos en tolva. Con el fin de generar una aproximación entre los resultados de las mediciones e identificar los factores que podrían afectar el rendimiento de la extracción de aceite, se retoma el uso de la metodología para la caracterización de la masa de frutos esterilizados que pasa al digester (MPD), como herramienta de control para evaluar las características de los racimos que llegan a la planta y de los frutos que se procesan (Coronado, 2003). La metodología MPD fue desarrollada en 1993 por Golden Hope en Malasia, para evaluar el potencial de aceite de los racimos de cultivares *E. guineensis* (Chong & Shawaluddin, 1993), pero actualmente está en estudio para racimos de híbridos interespecíficos OxG.

La MPD no solo determina el potencial de aceite (% Ac/RFF) sino también los componentes del raci-

mo y de los frutos, tales como formación de frutos fértiles, mesocarpio en fruto, aceite en fruto, etc. Esta caracterización puede relacionarse con factores agroeconómicos en campo como son la nutrición del cultivo, la disponibilidad de agua, polinización, etc. Un componente adicional que se cuantifica a través de esta metodología es la medición de impurezas como espigas, espigas, pedúnculo, piedras y sólidos. Esta variable no es evaluada con el método de análisis de racimo tradicional.

El balance másico para la MPD se realiza en el conjunto esterilizador – desfrutador. La muestra de estudio es una cantidad representativa de frutos esterilizados tomados a la salida del tambor desfrutador, que permite incluir la variabilidad propia de los racimos que vienen en un lote determinado. A diferencia de la metodología de análisis de racimo convencional, en la que para aumentar la confiabilidad y precisión de los resultados se debe incrementar el número de racimos a evaluar, incurriendo en mayores gastos económicos y tiempo (Coronado, 2003), la MPD permite analizar una mayor cantidad de racimos correspondientes a través del estudio de sus frutos. Por ejemplo, para un contenedor de 10 toneladas de RFF, la metodología de análisis de racimo requiere 28 racimos (Prada & Romero, 2012; García & Yáñez, 2000), mientras que con la MPD se pueden muestrear las 10 t de acuerdo con la capacidad de la vagoneta de cada planta extractora.

El objetivo de la metodología es obtener datos más confiables de la cantidad de aceite que los racimos puedan tener, permitiendo observar el comportamiento e incidencias (positivas o negativas) de la materia prima de los diferentes proveedores que participan en el proceso de extracción de aceite dentro de las plantas de beneficio. De esta manera, se pretende establecer canales de comunicación asertiva entre el campo y la planta de beneficio. A continuación se presentan algunos avances obtenidos en la implementación y ajustes de MPD, tanto para racimos provenientes de cultivares híbridos OxG como para los *E. guineensis*.

Materiales y métodos

En colaboración con las plantas Alianza Oriental S.A. ubicada en el municipio de Acacias (Meta) en la Zona

Oriental, y Salamanca Oleaginosas S.A. en el municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño) en la Zona Suroccidental, se llevó a cabo la experimentación a nivel industrial en la etapa de esterilización – desfrutación para RFF de OxG y de *E. guineensis*.

Balance másico para MPD

El balance másico del MPD se fundamenta en la ecuación de continuidad que se desarrolló durante esta investigación en el sistema esterilizador – desfrutador. Esta ecuación define que el peso de los racimos es equivalente a sus componentes de tusas, el MPD y la pérdida de humedad durante la esterilización

(Ec1):

$$RFF = Tusas + MPD + humedad\ perdida$$

Donde:

- Aceite/RFF: aceite a racimos de fruta fresca.
- Aceite/MPD: aceite a masa de frutos esterilizados que pasan al digestor.
- MPD/RFF: Masa de frutos esterilizados que pasa al digestor a racimos.
- Pérdida de humedad/RFF: pérdida de humedad de los racimos durante el proceso de esterilización.
- Tusa/RFF: tusa a racimo.
- MPD_{fn}: masa que pasa al digestor de frutos esterilizados normales.
- MPD_{fp}: masa que pasa al digestor de frutos partenocápicos.
- MPD_{fab}: masa que pasa al digestor de frutos abortados.
- MPD_{imp}: masa que pasa al digestor de impurezas.

Para cuantificar el %MPD/RFF, se debe determinar la humedad perdida durante la esterilización (Tabla 1). Para ello, se pesan 10 RFF de tamaño similar los que se ubican en la parte superior de la vagoneta. El peso de estos mismos racimos obtenidos después de la esterilización corresponde a la pérdida

Tabla 1. Ecuaciones para el establecimiento del balance másico de MPD en planta de beneficio.

Parámetro	Ecuación
Potencial de aceite MPD	$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} = \% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}} * \% \frac{\text{MPD}}{\text{RFF}}$
MPD a racimo	$\% \frac{\text{MPD}}{\text{RFF}} = 100 - \% \frac{\text{Pérdida de humedad}}{\text{RFF}} - \% \frac{\text{tusa}}{\text{RFF}}$
Aceite a MPD	$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}} = \% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{fn}} + \% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{fp}} + \% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{fab}} + \% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{imp}}$

de humedad. Debido a la variación inherente de la pérdida de humedad entre racimos, y el peso que esta variable tiene sobre el balance másico para la MPD, se compara el procedimiento anterior con el peso total de los racimos dentro de la vagoneta a medir. De esta forma se calcula el error de la estimación de la pérdida de humedad en los 10 racimos.

Para determinar el %Aceite/MPD, se debe estimar el aceite de cada componente. La muestra MPD se toma a la salida del tambor desfrutador y representa 1 % del peso promedio de la vagoneta de ensayo. Posteriormente, se cuartea y se toman dos submuestras de 1.000 g de la masa de frutos esterilizados para su análisis. Este tamaño se estandarizó a través del método de

bootstrapping (coeficientes de variación por debajo del 4 %, condición favorable de muestreo). Cada una de los submuestras de 1.000 g se caracteriza identificando sus componentes: frutos normales, partenocárpico, abortados e impurezas. Posteriormente, estos son analizados mediante extracción Soxhlet para calcular el contenido de aceite (Figura 1). Las ecuaciones para definir la cantidad de aceite de cada componente se presentan en la Tabla 2.

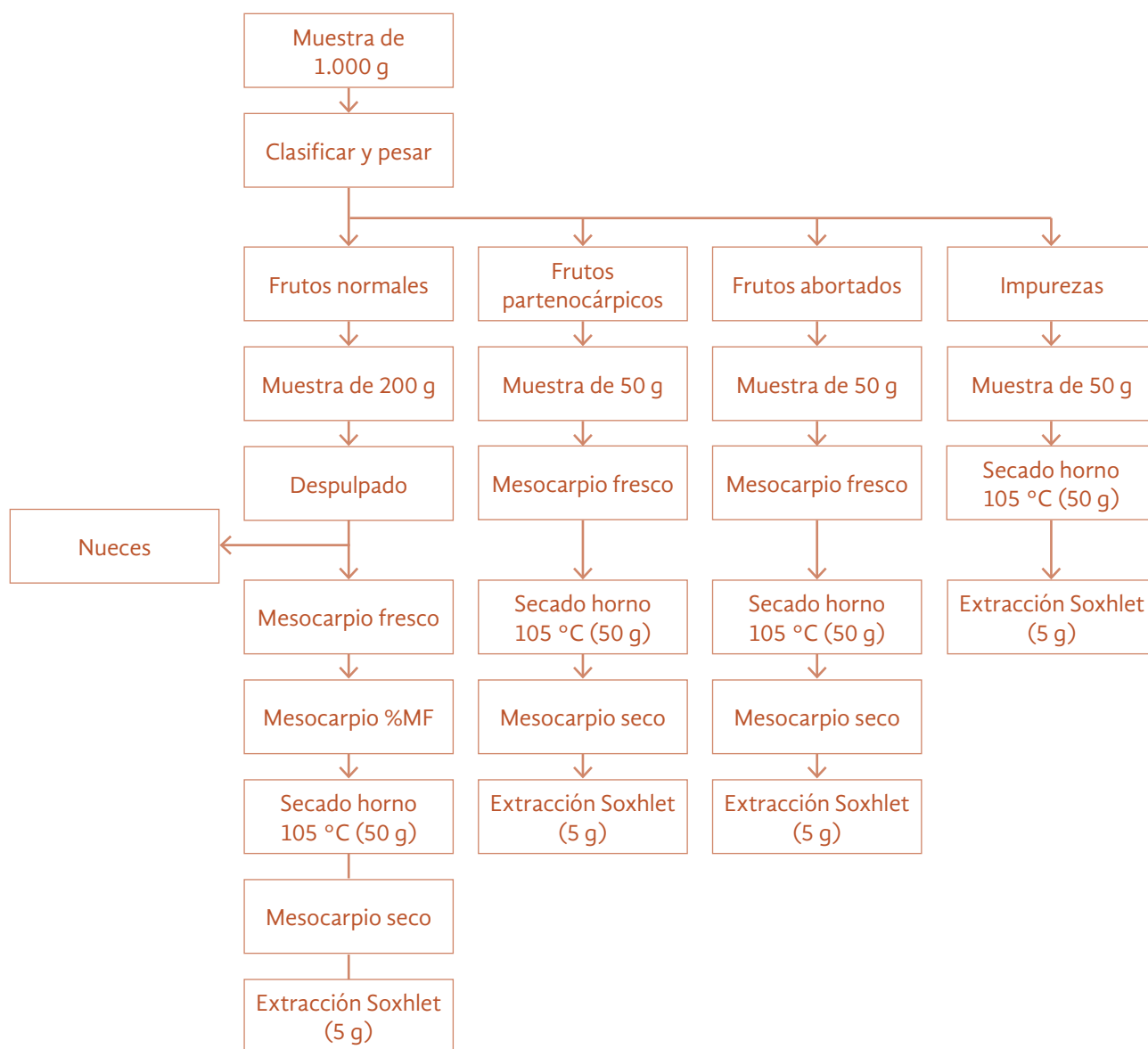
Donde:

- Fn: fruto normal
- Fp: fruto partenocárpico
- Fab: fruto abortado
- Imp: impurezas

Tabla 2. Ecuaciones para determinar el contenido de aceite en la masa de frutos esterilizados.

Parámetro	Ecuación
Aceite a MPD_{fn}	$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{fn}} = \% \frac{\text{Aceite}}{Fn} * \frac{Fn}{\text{MPD}}$
Aceite a MPD_{fp}	$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{fp}} = \% \frac{\text{Aceite}}{Fp} * \frac{Fp}{\text{MPD}}$
Aceite a MPD_{fab}	$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{fab}} = \% \frac{\text{Aceite}}{Fab} * \frac{Fab}{\text{MPD}}$
Aceite a MPD_{imp}	$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{MPD}_{imp}} = \% \frac{\text{Aceite}}{Imp} * \frac{Imp}{\text{MPD}}$

Figura 1. Pasos para determinar los componentes del racimo y fruto en el análisis de aceite a MPD.



Resultados y discusión

Pérdida de humedad en esterilización

En la Figura 2, se observa que la metodología propuesta permite estimar la pérdida de humedad que sufren los racimos durante el proceso de esterilización con un error aproximado del 7 %. Es de resaltar que como se mencionó inicialmente, estos son datos

parciales que requieren un mayor número de repeticiones para aumentar su fortaleza estadística.

La Figura 3 registra la pérdida de humedad encontrada para los cultivares de estudio en el proceso de esterilización. Se evidencia de manera preliminar, que existe una mayor deshidratación en los racimos híbridos. Estudios realizados por Coronado (2003) han encontrado valores similares de pérdida de humedad para los racimos *E. guineensis*.

Figura 2. Porcentaje de pérdida de humedad pesaje de racimos vs. pesaje de vagoneta.

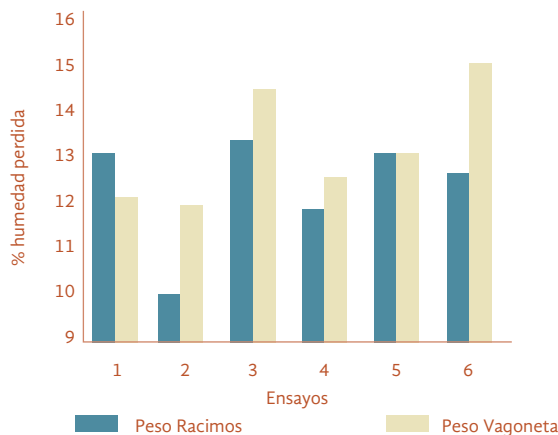
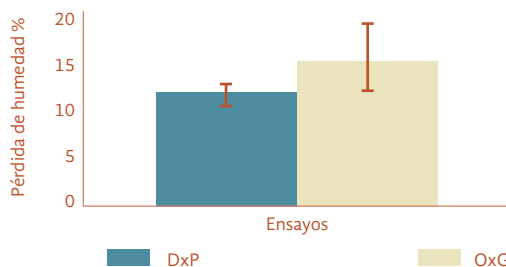


Figura 3. Humedad promedio perdida durante el proceso de esterilización para RFF *E. guineensis* y OxG.



Balance de masa MPD

Estudio comparativo entre potencial de aceite obtenido por la metodología MPD y el potencial industrial de aceite en planta de beneficio.

El potencial industrial de aceite (PIA) en planta de beneficio se expresa como la cantidad de aceite producido más las pérdidas del proceso de extracción. Es decir

(Ec. 2):

$$\%PIA = \%TEA + \%pérdidas \text{ de proceso}$$

Se debe mencionar que al establecer el balance de MPD no se asocian las pérdidas de aceite en tusa y condensados. Por lo que, al PIA no se le suman las pérdidas mencionadas para poder comparar la metodología de estudio.

La Figura 4, muestra el comportamiento de MPD y PIA. Se observa que existe una diferencia promedio de 0,82 puntos sobre el PIA para este caso de estudio.

Lo anterior permite inferir que la MPD es una herramienta que podría predecir el PIA y por consiguiente la TEA. Estadísticamente, esta hipótesis se ha validado por medio de una prueba no paramétrica (test de rango signado de Wilcoxon), y se demostró que bajo una significancia del 5 %, la MPD no presenta diferencias significativas con el PIA (Tabla 3). Es decir, la MPD sirve para predecir la TEA y el PIA.

Determinación del potencial de aceite de proveedores en planta de beneficio mediante el análisis MPD

La Figura 5, muestra el potencial de aceite promedio de algunos proveedores en una de las plantas de beneficio en estudio. Para el caso, los proveedores C, D y F presentan los potenciales de aceite más bajos. Esto se debe a la existencia de una relación de aceite a fruto de 7 % menos con respecto a los demás proveedores evaluados (Figura 6), asociado a una cantidad menor de aceite a mesocarpio y de mesocarpio a fruto (2,5 y 9 % respectivamente) (Figuras 7 y 8).

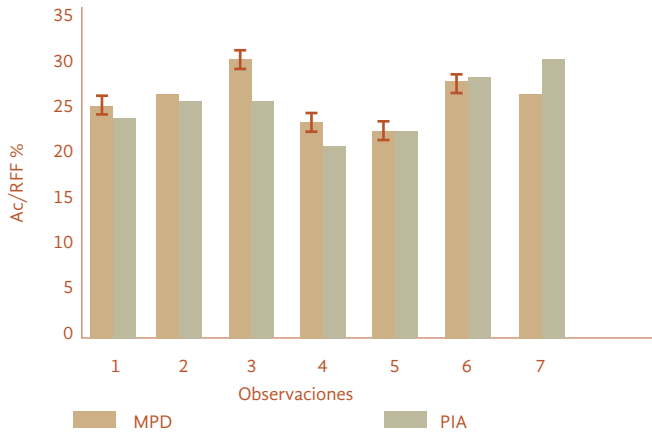


Figura 4. Comparación entre el potencial de aceite MPD vs. PIA en planta de beneficio para el procesamiento de RFF *E. guineensis*.

Tabla 3. Prueba no paramétrica de Wilcoxon. % Aceite/RFF.

Variable	Promedio	Significancia P (%)
MPD	25,51	0,5781
PIA	24,69	

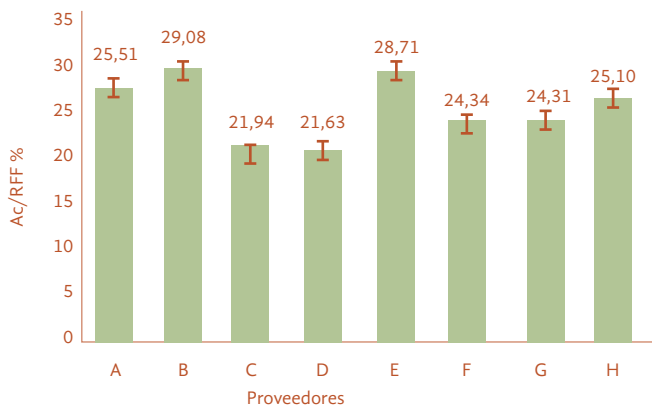


Figura 5. Potenciales de aceite promedio mediante análisis MPD de proveedores.

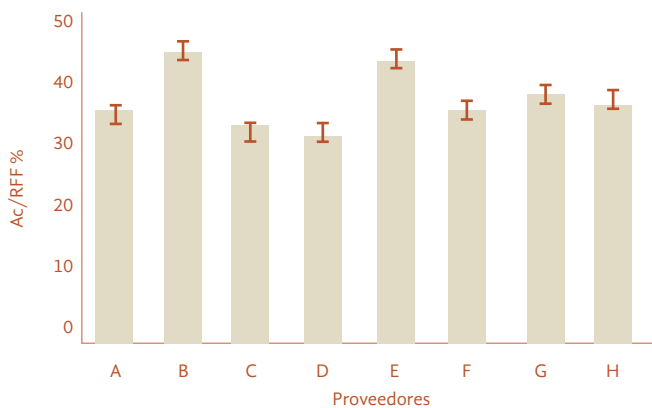


Figura 6. Relación de aceite a fruto normal para los proveedores evaluados.

Figura 7. Aceite en mesocarpio fresco para los proveedores evaluados.

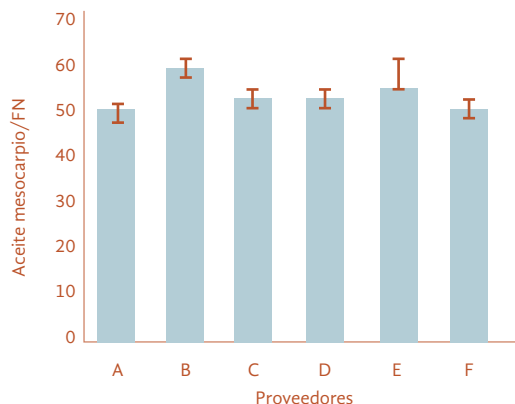
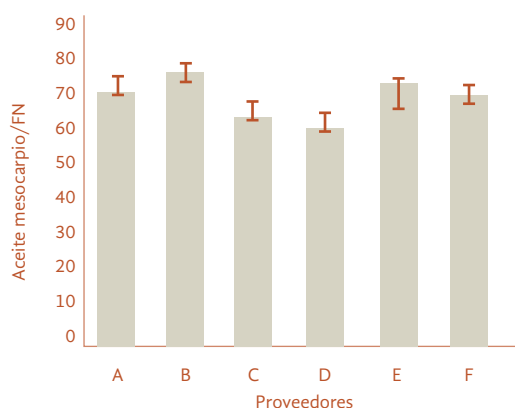


Figura 8. Relación de mesocarpio a fruto para los proveedores evaluados



Una de las posibles causas de los bajos contenidos de aceite a mesocarpio puede estar relacionado con la cosecha. Es decir, es probable que se estén cosechando los RFF sin que lleguen a su máximo estado de lipogénesis. Por otro lado, la cantidad de mesocarpio a fruto está relacionado con el tipo de cultivar sembrado.

Evaluación de las correlaciones existentes entre el contenido de humedad y aceite a racimo en MPD

Los resultados de 32 análisis de MPD y los componentes de los frutos permitieron obtener un modelo matemático preliminar para determinar el contenido de aceite en mesocarpio de frutos normales, partenocárpicos e impurezas impregnadas, por medio de su contenido de humedad. Esto tiene por objeto evitar el procedimiento Soxhlet disminuyendo tiempos y consumo de reactivos.

La Figura 9a muestra que existe una correlación alta ($R = 80,93 \%$) entre el aceite a mesocarpio del

fruto normal y su humedad (Ec.3). Esta correlación también se ha encontrado en el análisis de racimos tradicional (Ec. 4) (Escobar, 2004).

(Ec.3)

$$\% \frac{AC}{Mf} = 83,568 - 1,167 * (\text{humedad en pulpa}) \quad R^2 = 81,42 \%$$

(Ec.4)

$$\% \frac{AC}{Mf} = 83,561 - 0,942 * (\text{humedad en pulpa}) \quad R^2 = 91,81 \%$$

Las Figuras 9b y 9c evidencian que también existe esa relación entre el contenido de aceite impregnado tanto en frutos abortados como en las impurezas, con el contenido de humedad.

(Ec. 5)

$$\% \frac{AC}{Fab} = 63,129 - 0,7549 * (\text{humedad en Fab}) \quad R^2 = 78,03 \%$$

(Ec. 6)

$$\% \frac{AC}{Imp} = 52,821 - 0,6273 * (\text{humedad en Imp}) \quad R^2 = 60,48 \%$$

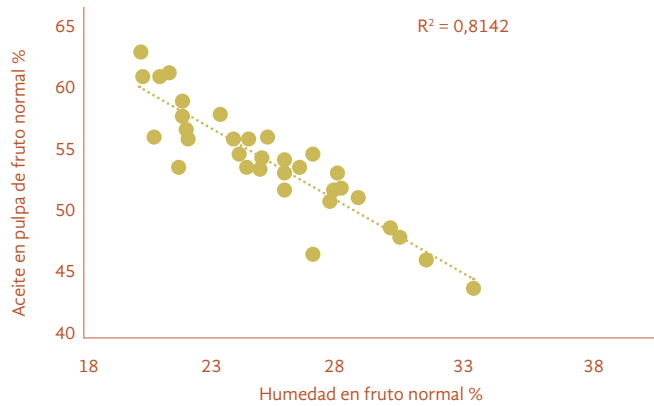


Figura 9a. Análisis de regresión de aceite en mesocarpio de fruto normal (%) y su contenido de humedad.

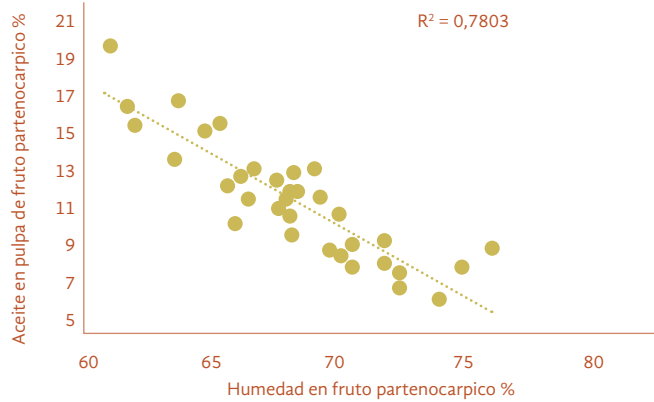


Figura 9b. Análisis de regresión de aceite impregnado en fruto partenocárpico (%) y su contenido de humedad.

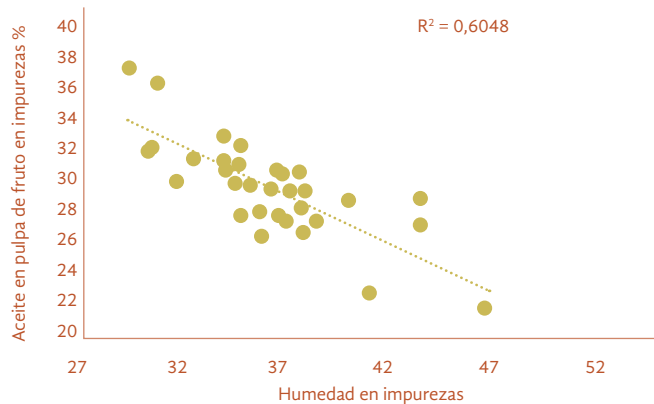


Figura 9c. Análisis de regresión de aceite impregnado en impurezas (%) y su contenido de humedad.

Conclusiones y recomendaciones

- La metodología MPD muestra una gran posibilidad para obtener resultados acertados para la evaluación de racimos de fruta fresca de los diferentes proveedores. Además, debido a la opción de analizar una mayor cantidad de fruta, podría ser implementada como una práctica periódica en las plantas de beneficio.
- La MPD es una herramienta que puede predecir el comportamiento de la tasa de extracción de aceite (TEA) permitiendo una retroalimentación, en un menor tiempo, entre la planta de beneficio y el campo gracias a la caracterización del racimo por medio del análisis de componentes del mismo.
- La MPD permite obtener una mayor representatividad del fruto evaluado.

- Se vislumbra la determinación del contenido de aceite de MPD a través del desarrollo de modelos teóricos que relacionen las variables intrínsecas del fruto y racimo como, por ejemplo, la humedad en el mesocarpio, la cantidad de mesocarpio a fruto, MPD a racimo, etc. Sin embargo, es necesario realizar análisis estadísticos complementarios para las relaciones de humedad en los componentes de MPD y la pérdida de humedad en los racimos durante la esterilización.

Agradecimientos

Agradecemos a las plantas Alianza Oriental S.A., y Salamanca Oleaginosas S.A., por permitir el desarrollo de la investigación, por su hospitalidad e interés en todas y cada una de las etapas del trabajo. A los ingenieros Jorge Reyes, Adison Beleño y Mario Alava por su acompañamiento y guía durante la ejecución de las actividades, y a Mabel Ospina por su colaboración durante la realización del proyecto.

Referencias

- García, J., Yáñez, E., & Rodríguez, N. (2000). Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas Norte y Central. *Palmas*, 21(1), 375–380.
- Prada, F., & Romero, H. (2012). Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite. Fedepalma.
- Cadena, O. (2004). Métodos para la estimación del potencial de aceite y su relación con la tasa de extracción de aceite en planta (TEA). *Palmas*, 25(II), 509–518.
- Coronado, L.E.P. (2003). Implementación de los análisis MPD (Mass passing to digester) como herramienta de control para la estimación del potencial de aceite en la planta extractora de aceite de palma africana. Agroince Ltda.
- Chong, L. & Shawaluddin, T. (1993). Recent trends in OER in relation to MPD analyses in golden hope mills. *Palm Oil Information*.
- García J., & Yáñez, E. (2000). Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Palmas*, 21(1), 303–311.
- Escobar, C. (2004). Guía de potenciales de extracción de aceite de fruto de palma. *Palmas*, 25 (Especial, Tomo II), 492–500.