

Seguimiento de volumetría, índice de deterioro a la blanqueabilidad (DOBI) y ácidos grasos libres (AGL) en el control de calidad de aceite de palma crudo (APC) en la planta extractora la Gloria S.A.S.

Camilo Andrés Serrano Ochoa



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PAMPLONA, COLOMBIA
2024**

Seguimiento de volumetría, índice de deterioro a la blanqueabilidad (DOBI) y ácidos grasos libres (AGL) en el control de calidad de aceite de palma crudo (APC) en la planta extractora la Gloria S.A.S.

CAMILO ANDRÉS SERRANO OCHOA

**Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de
Químico**

Tutores

Director. Luis Miguel Díaz

PhD. Química

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Codirector. Jorge Ramón Mantilla

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – Extractora la gloria S.A.S.



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PAMPLONA, COLOMBIA
2024**

DEDICATORIA

Dedico con mi alma y corazón a Dios, a mi madre, mi padre y mis hermanos, que fueron parte de la fortaleza de este maravilloso aprendizaje personal y profesional. Agradezco a mis amigos, de principio a fin tuve su apoyo general en muchas dificultades por las que atravesé en este camino. Dedico este logro también a mi abuela (Q.E.P.D), la persona a quien prometí ser diferente al resto. Agradezco a cada persona que estuvo en el camino, y por razones circunstanciales ya tienen caminos diferentes, ya que todo aporte fue bienvenido para mi crecimiento personal y profesional. A mis docentes, a cada uno de ellos por sus enseñanzas en cada aula, laboratorio, y recinto fuera de la Universidad. A cada dificultad, felicidad, y cambio, ¡mil gracias!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por permitirme ser miembro de este hermoso programa de Química de la Universidad de Pamplona. Agradezco a esta institución maravillosa donde pasé mis años de aprendizaje de la mejor manera, junto a docentes calificados y aulas presentes con cada contenido programático. Un gracias muy fraternal también a la Hacienda la gloria S.A.S por la confianza depositada para seguir creciendo personal y profesionalmente, entregarme el cariño para el manejo de proyectos, calidad en personal, y el adecuado razonamiento ético, moral y social. De varias maneras agradezco a cada fuente de aprendizaje externa, por entregarme la sabiduría del aprendizaje y madurar a través de los años.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	3
Agradecimientos.....	4
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	7
Lista de ecuaciones.....	10
Lista de abreviaturas	11
RESUMEN.....	12
Abstract.....	13
INTRODUCCION.....	14
1. Marco Referencial.....	16
1.1 Grupo hacienda la gloria S.A.S	16
1.2 Elaeis guineensis, morfología y composición.	17
1.3 Composición Química de aceite de palma crudo (APC).	19
1.4 Corrientes de proceso..	21
1.5 %AGL y DOBI.....	29
2. Objetivos	31
2.1 Objetivo general	31
2.2 Objetivos específicos.....	31
3. Metodología	32
3.1 Muestreo	32
3.2 Reactivos	35
3.3 Equipos, instrumentos y métodos	35
4. Resultados y análisis	36
4.1 Resultados	36
5. Conclusiones.....	68
RECOMENDACIONES	69
Bibliografía	71
ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición de ácidos grasos presentes en el aceite de palma crudo.....	20
Tabla 2. Composición fitoquímica de aceite crudo de palma.	21
Tabla 3. masa de titulación y volumen gastado de NaOH.	39
Tabla 4. Resultados analíticos de la calidad de AGL y DOBI para fruto fresco... ..	39
Tabla 5. Composición volumétrica de las corrientes de producción.	44
Tabla 6. Control de calidad de las corrientes y sus valores promedio.	52
Tabla 7. Compendio de datos de volumetría.	72
Tabla 8. Compendio de datos control de calidad corrientes (%AGL y DOBI).	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación por coordenadas planta ELG.	17
Figura 2. Morfología del fruto de <i>E. guineensis</i>	18
Figura 3. Morfología general de <i>E. guineensis</i>	18
Figura 4. Ácidos grasos presentes en aceite de palma crudo.	20
Figura 5. Ciclo de esterilización del racimo fresco a racimo esterilizado.	22
Figura 6. Autoclaves de esterilización.	23
Figura 7. Prensa P-15 unidad de extracción.	25
Figura 8. Centrifugas de lodos, perteneciente a clarificación.	27
Figura 9. Tamiz y colector de recuperados de prensa raquis.	28
Figura 10. Diagrama BFD del proceso de aceite crudo de palma y palmiste.	30
Figura 11. Montaje prensa hidráulica para extracción de aceite.	37
Figura 12. Muestra centrifugada de fruto fresco por prensado hidráulico, visualización de fase aceitosa y sólidos.	38
Figura 13. Solución estandarizada de NaOH a 0,104 N.	40
Figura 14. Masa de la muestra a titular con NaOH 0,104 N.	40
Figura 15. Volumen gastado de NaOH, reportado en la bureta titrette.	41
Figura 16. Gradiente del %AGL con respecto al tiempo.	41
Figura 17. Gradiente de pérdida en la calidad del DOBI en los días de muestreo. .	42
Figura 18. Relación de composición de las corrientes de proceso y recuperados.	44
Figura 19. Ingreso de muestras la centrifuga para separación de fases	45

Figura 20. Alineamiento de muestras en la centrifuga.	45
Figura 21. Toma de muestras de condensados de esterilización.	47
Figura 22. Volumetría de condensados.	48
Figura 23. Picos de esterilización, y sostenimiento con respecto al tiempo.	48
Figura 24. Presiones de carga de las autoclaves, y presión en descarga de condensados.....	49
Figura 25. Tamizaje y recuperados de prensa raquis.....	49
Figura 26. Composición volumétrica de prensa raquis.....	50
Figura 27. Muestreo de recuperados de las centrifugas.	50
Figura 28. Composición volumétrica de centrifugas.	51
Figura 29. Impurezas de aceite producido.....	51
Figura 30. Análisis comparativo entre focos de baja calidad de proceso.	52
Figura 31. Inserción de muestra al espectrofotómetro uv/vis.	53
Figura 32. DOBI condensados de esterilización por scan..	56
Figura 33. Resultado DOBI en el fixed para condesados de esterilización.	57
Figura 34. DOBI prensa raquis por scan.....	58
Figura 35. DOBI de prensa raquis en el fixed.	59
Figura 36. DOBI licor del digestor por scan.	60
Figura 37. DOBI licor de digestor por fixed.	61
Figura 38. DOBI prensas P-15 en scan.	62
Figura 39. DOBI prensas P-15 en fixed.	63
Figura 40. DOBI centrifugas en scan.	64

Figura 41. DOBI centrifugas en fixed.	64
Figura 42. DOBI aceite producido en scan.	65
Figura 43. Formación de bandas para Betacarotenos.	66
Figura 44. Banda de oxidación primaria espectro uv/vis.	68

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ácidos grasos libres	31
Ecuación 2 Obtención del DOBI	32

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
APC	Aceite de palma crudo
DOBI	Índice del deterioro a la blanqueabilidad
AGL	Ácidos grasos libres

RESUMEN

El estudio se centró en analizar la calidad del aceite de palma mediante dos parámetros principales: el porcentaje de ácidos grasos libres (%AGL) y el índice de deterioro de la blanqueabilidad (DOBI) en diferentes etapas del proceso. Donde se encontraron unos valores principales como el estudio del fruto fresco, donde se observó un incremento del 0.49% por día en AGL y el DOBI disminuyendo en promedio de 0.27 unidades por día. Los mejores resultados se obtuvieron en los primeros tres días de almacenamiento de fruto. Otro factor fue el análisis de las corrientes de proceso, donde las mayores recuperaciones de aceite se obtuvieron en licor de digestores y prensa, mayor a un 60% de aceite. Los puntos críticos de calidad estuvieron en los condensados de esterilización y prensa raquis, arrojando datos de DOBI deficiente, y acidez alta. El mejor DOBI se encontró en el licor del digestor, debido al tratamiento controlado de temperatura y macerado. Tanto digestor, prensas y centrifugas tuvieron un rendimiento bueno en los parámetros de calidad.

Palabras Claves: Blanqueabilidad, %AGL, digestor, condensados, esterilización, macerado.

ABSTRACT

The study focused on analyzing the quality of palm oil through two main parameters: the percentage of free fatty acids (%AGL) and the bleachability deterioration index (DOBI) at different stages of the process. Where some main values were found as the study of the fresh fruit, where an increase of 0.49% per day in FFA and DOBI decreasing on average of 0.27 units per day was observed. The best results were obtained in the first three days of fruit storage. Another factor was the analysis of the process streams, where the highest oil recoveries were obtained in digester liquor and press, higher than 60% oil. The critical quality points were in the sterilization condensates and rachis press, yielding poor DOBI and high acidity. The best DOBI was found in the digester liquor, due to the controlled treatment of temperature and maceration. Both digester, presses and centrifuges performed well in the quality parameters.

Keywords: Bleachability, %AGL, digester, condensate, sterilization, maceration.

INTRODUCCION

La producción de grasas y aceites a nivel mundial ha triplicado su producción, al pasar de 80 millones de toneladas en 1990, a 236 millones de toneladas en 2020, según la federación nacional de cultivadores de palma de aceite (Fedepalma); alcanzando un aumento de 140% entre el aceite de palma crudo (APC) y palmiste a nivel global. (Nuñez et al., 2022).

En Colombia, para el año 2020 se evidenció un aumento significativo de 1,5 millones de toneladas de aceite de palma crudo, y hasta diciembre del año 2023 hubo una producción de 1,84 millones de toneladas en APC; donde 1,35 millones fueron vendidas al mercado interno, siendo el 73% de la producción nacional, y el 27% restante fue producto de exportación. (Fedepalma, 2023).

A partir de allí se observa en el cultivo, el tipo de especie de la planta cultivada desde la región asiática, y nuestro país. Las palmas de aceite (*Elaeis*) son plantas perennes tropicales que consisten en dos especies de la familia arecaceae. *Elaeis guineensis*, originaria de África occidental, y *oleífera* en América central. La *guineensis* es la especie más cultivada a nivel mundial, por su fuente en aceite, mientras que la *oleífera* solo tiene pocos cultivos locales. (Tow et al., 2021)

Con respecto al fruto de la palma aceitera, está compuesto por racimos de frutos y frescos cubiertos en varias capas, para evitar la depredación. Químicamente, el fruto está compuesto por varios ácidos grasos, como palmitico, oleico y linoleico, mayormente presentes en la fruta. De ellos se destaca si es fruta criolla, o si se genera la inclusión de un híbrido.

Luego de ello, el racimo salido de campo es llevado a la planta de beneficio, transportado en camiones de carga, con cuidados de golpes rigurosos para evitar la hidrólisis del fruto. Esto es depositado en tolva, donde se lleva a cabo el proceso completo. La descripción del proceso va ligada de primera mano a la esterilización, luego al desfrutado, macerado en digestores, prensado, tamizado, y sometido a un proceso de clarificación, para la obtención de aceite crudo producido.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Grupo hacienda la gloria S.A.S.

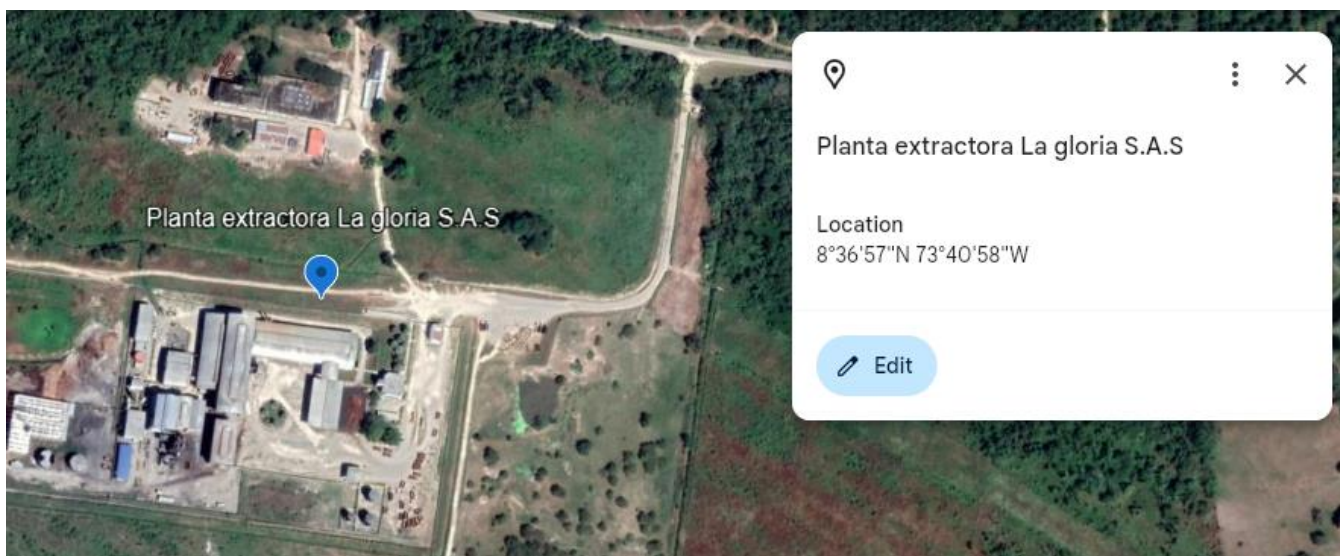
El Grupo Agroindustrial, Hacienda La Gloria es una empresa fruto del interés común de los inversionistas en la industria de la palma de aceite.

Para noviembre de 2009, ya se contaba con 8.800 hectáreas de tierra, las cuales fueron adquiridas para este fin: 6.300 hectáreas en las inmediaciones del municipio de La Gloria, al sur del Cesar y 2.500 hectáreas en el departamento de Bolívar, cerca al municipio de Regidor.

En el marco de un plan de desarrollo de cinco años, y con una proyección de siembra de 7.000 hectáreas y la construcción de una planta extractora de aceite crudo de palma con capacidad de procesar la producción total de la Hacienda, más 8.500 hectáreas de terceros.

A la fecha, cerca de 5.000 hectáreas han sido sembradas con los más altos estándares de calidad y la mejor tecnología. Este desarrollo ha generado más de 1000 empleos directos y un número similar de indirectos en la región y ha logrado que varios sectores de la economía local se reactiven, por la política corporativa de priorizar insumos y proveedores de la región. (Hacienda la gloria, s.f).

Figura 1. Ubicación por coordenadas planta ELG.



Con respecto a la tasa de extracción de aceite (TEA) en el país, se estimó un valor fijo para cada planta de beneficio, sobre la cantidad de aceite extraída por racimo, dicho valor en la zona nacional es del 21,68% para *E. guineensis*, según Fedepalma. Otro campo agregado es el control de calidad del fruto procesado, a partir del análisis de ácidos grasos libres (AGL) e índice al deterioro de la blanqueabilidad (DOBI), ambos, como parámetros de gran importancia. (Beltrán, 1991)

1.2. *Elaeis guineensis*, morfología y composición.

La palma de aceite tiene un solo punto de crecimiento, donde el desarrollo de la hoja es el punto más lento, demorando aproximadamente 3 años para la apertura de los foliolos en la corona. Luego en su antesis, ocurre la inflorescencia femenina, etapa que ocurre en la hoja 17-20 y se espera 6 meses aproximados para el desarrollo del racimo hasta su etapa madura.

Este racimo puede alcanzar los 50 cm de largo y 35 cm de ancho. Luego de ello, se

analiza el fruto, que es sésil con estructura esférica o elongada. Este pericarpio del fruto tiene varias capas de conformación que son, exocarpio (parte externa del fruto), endocarpio (parte interna del fruto), mesocarpio (pulpa de la fruta) y endospermo (almendra del fruto). En la figura 2 y 3 se muestra las partes del fruto y de la nuez. (Forero et al., 2012)

Figura 2. Morfología del fruto de *E. guineensis*.

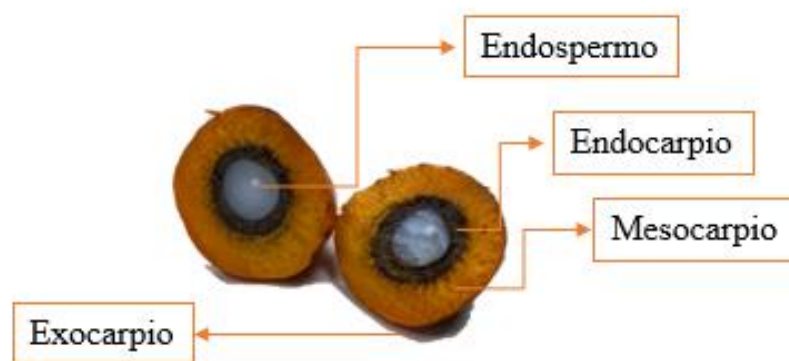


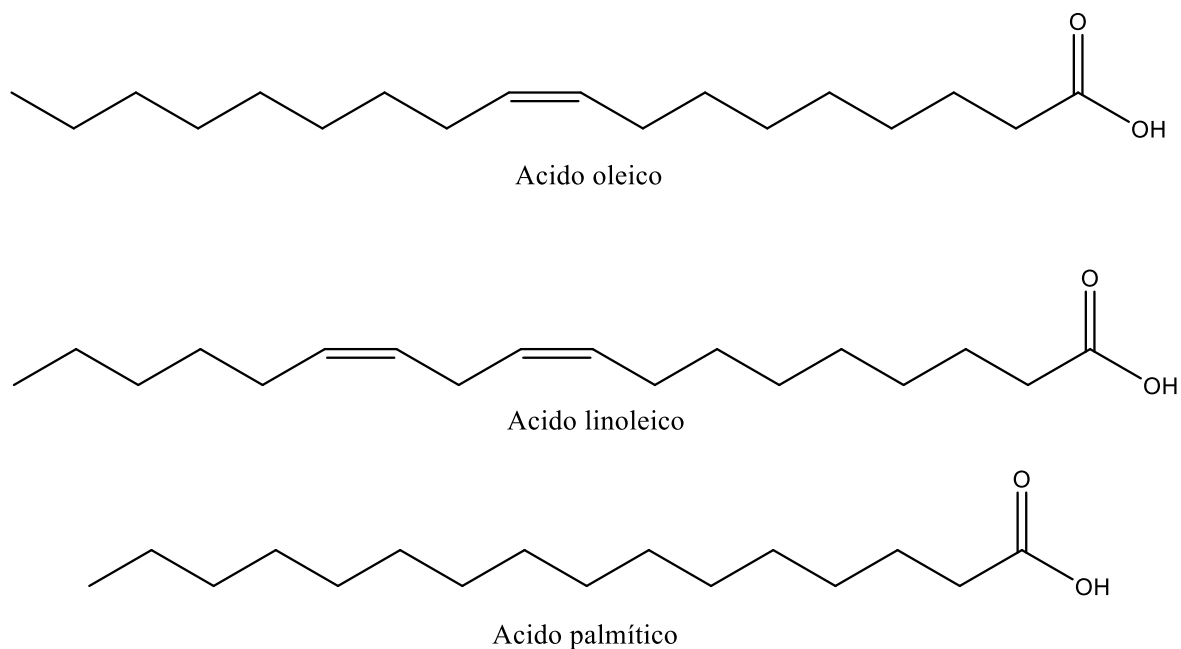
Figura 3. Morfología general de *E. guineensis*.



Teniendo en cuenta la morfología descrita anteriormente, se establece la información de composición química de los aceites presentes en el mesocarpio del fruto y su porcentaje promedio de ácidos grasos presentes en el mismo. (Tow et al., 2021) Este aceite vegetal está compuesto aproximadamente de un 92 al 95% de acilgliceroles, un 0,2 a 3% diacil y monoacilgliceroles, y un máximo del 5% de AGL. (Willits, 2013).

1.3. Composición Química de aceite de palma crudo (APC).

Los ácidos grasos insaturados constituidos en los triglicéridos del APC son el ácido oleico, con un contenido promedio del (36-44%), y de linoleico del (9-12%), estos, en configuración *cis*. Entre los ácidos grasos de tipo saturados, tenemos al ácido palmítico con un (39-47%) y esteárico (3-6%). La biodisponibilidad de los ácidos grasos oleicos y linoleicos radica en la disminución de concentraciones de colesterol LDL.

Figura 4. Ácidos grasos presentes en aceite de palma crudo.

Debido a los grados de insaturación, podemos observar contenido de omegas 6 y 9, linoleico y oleico, en el fruto. Adicional a ello se obtienen propiedades antioxidantes naturales como los carotenos y la vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles). (Rincón et al., 2009).

Tabla 1. Composición de ácidos grasos presentes en el aceite de palma crudo. Imagen tomada de (Urugo et al., 2021)

Saturated fatty acids			Palm Oil
Caprylic acid (C8)	8:0	—	—
Capric acid (C10)	10:0	—	—
Lauric acid (C12)	12:0	0.2%	
Myristic acid (C14)	14:0	1.1%	
Palmitic acid (C16)	16:0	44.0%	
Stearic acid (C18)	18:0	4.5%	
Unsaturated fatty acids			
Monounsaturated fatty acid	Oleic acid (C18)	18:1	39.2%
Polyunsaturated fatty acid	Linoleic acid (C18)	18:2	10.1%

Tabla 2. Composición fitoquímica de aceite crudo de palma. Imagen tomada de (Urugo et al., 2021)

Components	Concentration
Vitamin E (tocotrienols and tocopherols)	600-1000ppm
Coenzyme Q10	10-80ppm
Phytosterols	300-620ppm
Carotenes	500-700ppm
Squalene	250-540ppm
Polyphenols	40-70ppm
Phospholipids	10-100ppm

A partir de la información ya mencionada del fruto, se lleva a cabo el proceso de extracción en la planta beneficio, desde su descargue e ingreso a tolva, hasta el aceite procesado de palma, entonces.

1.4. Corrientes de proceso.

Descargue de fruto.

Luego de que el fruto ingresa a bascula, procede a realizar el descargue del fruto en el planchón, el cual, luego es movido a tolva para ser transportado hacia el primer paso de proceso, que es la esterilización.

Esterilización.

Luego de llenar la tolva y transportar a las autoclaves, se realiza la esterilización, partiendo del cargue de fruto, y suministro de vapor de agua saturado para aumentar la presión a 20 PSI para su primer pico. Luego de ello, se lleva un proceso de expansión, donde se disminuye la presión hasta 5 PSI para realizar la primera

descarga llamada, condensados de esterilización. (Martinez et al., 2010) Este proceso se repite con dos picos más, el primero de 30 PSI y el ultimo de 40 PSI, donde se sostiene dicha presión entre 40 a 60 minutos más, y realizar un desfogue final. El objetivo principal es desnaturalizar la enzima lipasa, responsable de la oxidación del fruto. También uno de los objetivos de la esterilización, son la coagulación de proteínas, el ablandamiento del endocarpio o cascarilla; ablandar las fibras o celdas del mesocarpio para realizar una mejor extracción de aceite, hidrolizar, descomponer el material mucilaginoso y ablandar la almendra para extracción en palmiste; y, por último, desprender el racimo del fruto para un mejor rendimiento en la corriente de desfrutado. (Martinez et al., 2013)

Figura 5. Ciclo de esterilización del racimo fresco a racimo esterilizado. Imagen tomada de (Martinez et al., 2013).

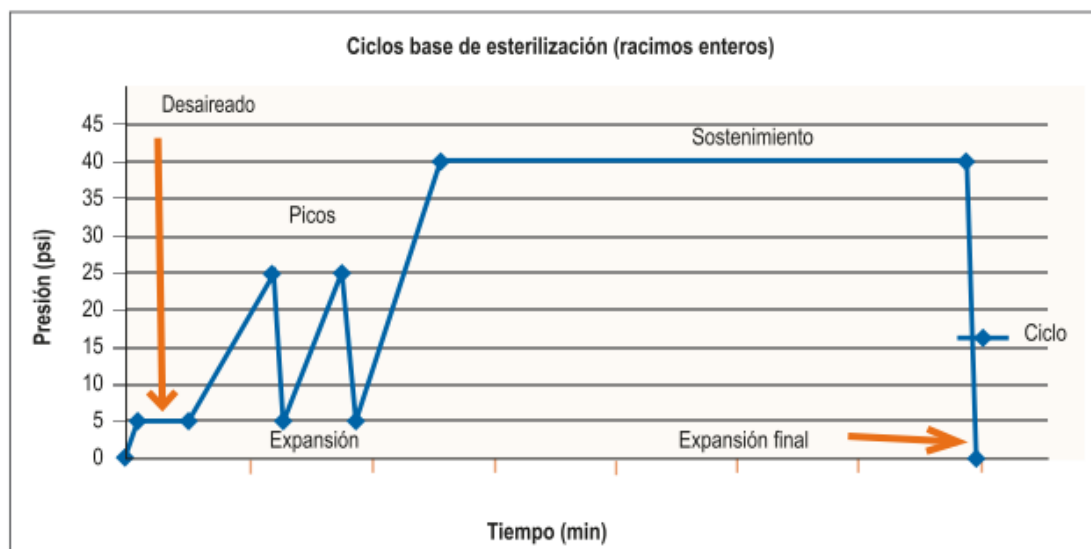


Figura 6. Autoclaves de esterilización. Imagen suministrada por el estudiante.



Desfrutación.

En esta corriente de proceso, se lleva el fruto esterilizado a tambor de volteo, donde sube hacia un by pass para realizar un giro en el desfrutador para separar racimos de frutos. Luego de ello, los racimos van a un siguiente prensado (prensa raquis), y los frutos van a un elevador de fruto que realiza una caída a los digestores para su respectiva maceración. (García et al., 2003).

Digestión y prensado.

Luego de que el fruto llega a los digestores, debe llenarse completamente, y se cierra el paso de fruto en el tambor de volteo. En esta corriente, los digestores rompen las paredes celulares del fruto, liberando el aceite contenido en las celdas. Esto se logra a diversas enzimas que se activan a una temperatura de digestión (90-95°C) lo que permite dicha hidrólisis y liberación del aceite. (Caballero et al.,

2019).

Luego de macerar bien el fruto, es depositado en las prensas P-15 (prensas de procesamiento de 15 Ton/h) a un ajuste de frecuencia por un intercambiador conectado entre un motorreductor. Las prensas trabajan con un método de extracción horizontal en dos tornillos sinfín, que rompen el mesocarpio, obteniendo el licor con lodos pesados, y fibra del mesocarpio impregnada con la nuez. (Guayazán et al., 2013).

Luego de ello, el licor de prensa y el licor virgen de digestores, van hacia otra corriente para disminuir la cantidad de lodos que pasan a clarificación.

Figura 7. Prensa P-15 unidad de extracción. Imagen suministrada por el estudiante.



Tamizado.

En esta unidad de proceso, el licor entra a la alimentación del tamiz y pasa por dos mallas de tamizaje para eliminar una cantidad de solidos de los licores y evitar una mayor entrada de lodos pesados en el proceso de clarificación. (Nieto et al., 2011).

Clarificación.

Con respecto a la salida del tamiz, el lodo viaja por los ductos hacia el preclarificador, estableciendo una dilución con agua caliente para separar las gotas de aceites impregnadas en lodos, y evitar pérdidas mayores en los efluentes. La

temperatura en el clarificador debe mantenerse de 90 a 94°C para evitar la ebullición que pueda generar una emulsificación entre agua, aceite y lodos. (Nieto et al., 2011). Para ello, se tiene una relación de dilución óptima para el proceso en relación con el agua caliente que ingresa, y la capa del preclarificador. Dicha capa en clarificación debe estar por debajo del 13% de aceite, y agua por debajo del 24%. La dilución óptima del proceso sería de 1,4 para una correcta clarificación. La ecuación 1, define la relación entre el porcentaje de agua y aceite en la capa de preclarificación y clarificación. (Guerrero et al., 2017).

$$Dilución = \frac{\%Agua}{\%Aceite} \text{ (Ecuación 1)}$$

Luego de ello, la salida de lodos de clarificación se reúne en una caja llamada (caja desarenadora), donde residen las salidas lodosas de clarificación, condensados de esterilización, y recuperados de prensa raquis.

Este aceite lodoso en la caja desarenadora viaja por tubería hasta la unidad de los desarenadores, donde el lodo más pesado sigue el paso hacia una unidad de purgas llamada (arenas de purga), mientras que el lodo restante pasa por el tanque de lodos de lodos, que seguido a ello, viaja a los filtros cepillos eliminando otro porcentaje representativo de impurezas, llegando finalmente a una centrifuga deslodadora, el cual debe tener en las salidas un estimado del 30-35% aceite, 5% lodos livianos, 35% agua y 25% lodo pesado. (Juliao, 2014)

Figura 8. Centrifugas de lodos, perteneciente a clarificación. Imagen tomada de (Clarificación – GAExpertise, s. f.)



La composición recuperada por las centrifugas vuelve hacia clarificación para seguir con el proceso. Finalmente, el aceite obtenido del colector de clarificación va directamente al tanque sedimentador, que debe mantener una temperatura entre 92-95°C. Luego de ello, el lodo sedimentado va hacia una caja de purgas que alimenta a otro desarenador, y seguir con el proceso. (Juliao, 2014)

El aceite húmedo que sale del sedimentador viaja hacia la corriente de secado al vacío, el cual extrae la mayor cantidad de agua que se encuentra impregnada en el aceite, para obtener una humedad de salida en aceite producido seco por 0,10%. (García et al., 2000).

Prensa raquis.

Otra corriente importante del proceso es el prensado de raquis o racimos. Este viaja desde el desfrutador hasta la prensa de raquis, que consta de un tornillo de prensado y un recubrimiento de canasta de prensado. Estos también trabajan con

un motorreductor y por los extremos de la unidad se encuentran rampas donde viajan los raquis prensados. La salida de alimentación lleva una composición lodosa liviana que llega hacia la unidad siguiente, un tamiz, que elimina más sólidos de interferencia, llevando ese flujo de salida hasta la alimentación de la caja desarenadora. (Laiton, 2010).

Figura 9. Tamiz y colector de recuperados de prensa raquis. Imagen suministrada por el estudiante.



Luego de conocer las líneas de proceso, se tiene en cuenta el control de calidad de las corrientes, en parámetros como %Humedad, %AGL, DOBI e impurezas de aceite producido.

1.5. %AGL y DOBI.

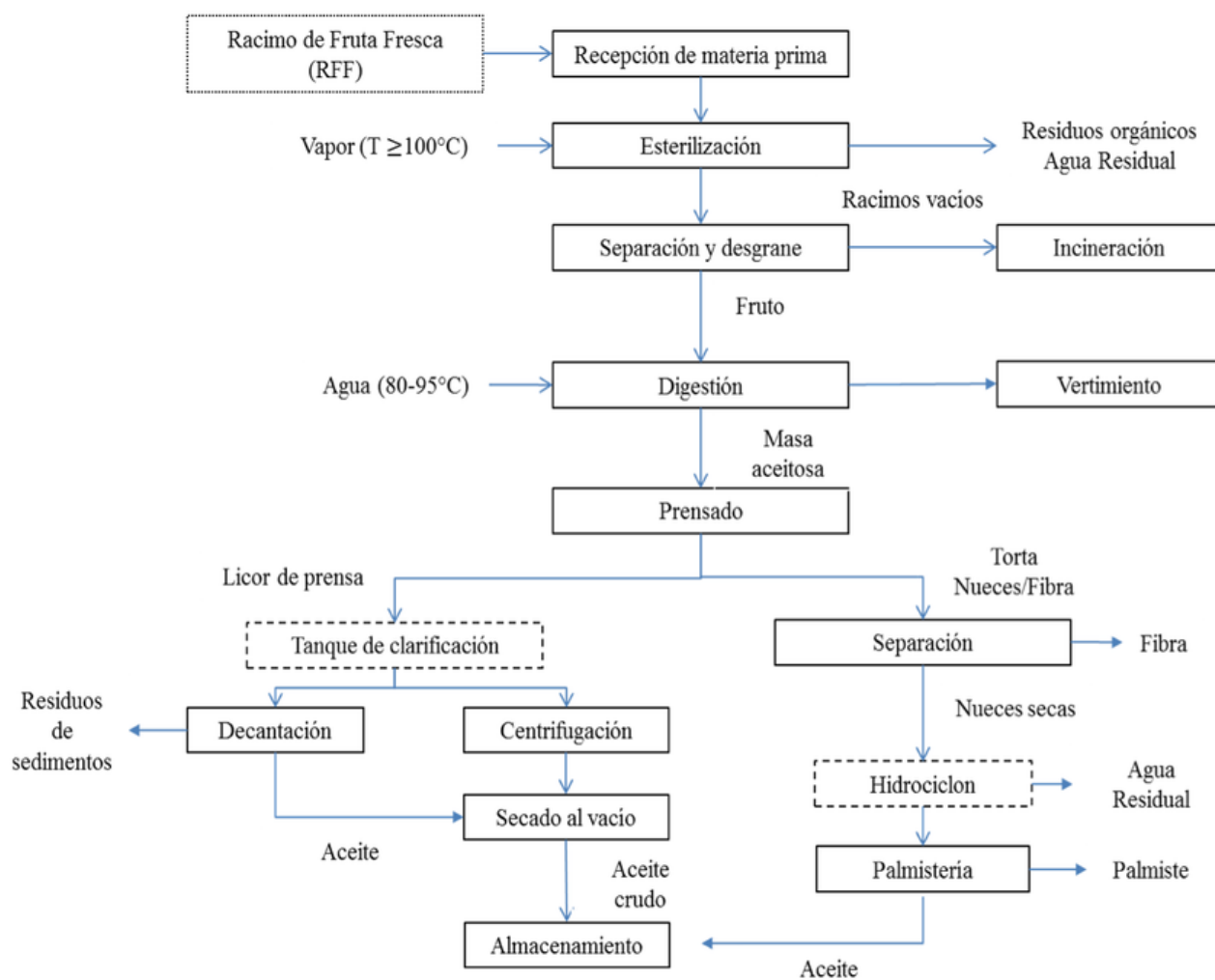
El porcentaje de ácidos grasos libres es el parámetro que mide la cantidad

hidrolizada de las grasas y aceites en un determinado tratamiento. Es la cantidad ácidos grasos que pueden generar una relación de contaminantes en el ambiente, y de enfermedades de ingesta alimentaria. Esto se logra determinar por un ensayo volumétrico de titulación ácido base para obtener la cantidad libre. Dichos valores según la literatura van en un máximo de 5% de %AGL. (Baena et al., 2021).

El DOBI es el parámetro que relaciona el cociente entre absorbancias con longitudes de onda de 446 nm y 269 nm. Estas dos referencias tienen que ver respectivamente entre la cantidad de alfa y betacarotenos, mientras que la referencia de 269 nm se encuentran los compuestos de oxidación primaria y secundaria (dienos, trienos y cetodienos) o aldehídos y cetonas descritos en la oxidación de grasas y aceites insaturados. Los índices de DOBI aceptables y buenos, varían entre 2.4 en adelante. (De Leonardis et al., 2016)

Diagrama de proceso de producido CPO.

Figura 10. Diagrama BFD del proceso de aceite crudo de palma y palmiste. Imagen tomada de (Escudero, 2019).



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Garantizar el muestreo de control de calidad para las corrientes completas, en vista a la información de las unidades de proceso, como la composición volumétrica, DOBI y %AGL, obteniendo mayor fuente de información de datos sobre cuales corrientes afectan la calidad del aceite producido.

2.2 Objetivos específicos

- Recopilar información en el muestreo de corrientes en los días de proceso, y realizar un análisis promedio entre AGL y DOBI para determinar las fechas variables, y posibles afectaciones.
- Generar un promedio en los datos de composición volumétrica para las corrientes que generen inconvenientes con los parámetros de calidad, y ajustar un diagrama de bloques BFD.

3. METODOLOGÍA

3.1 Muestreo

Se definió la metodología para la recolección de muestras y análisis.

A cada corriente de proceso se asignó 3 tubos de ensayos de 10 mL para la toma de la volumetría. Las pruebas se tomaron en un lapso de 5 minutos seguida una a la otra, teniendo en cuenta la variabilidad del flujo en las corrientes. Luego de ser tomadas las muestras, se llevaron a la centrifuga ROTOFIX 32 A de Hettich a una RPM/RCF *100 de 25 en un tiempo de 3 minutos. Este tiempo de centrifugado se definió por los instaladores de capacitación del equipo, para muestras de aceite.

Luego de ello, se analizaron las muestras en los parámetros de %AGL y DOBI, entonces.

%AGL.

1. Luego de tener la muestra, se mezcló previamente sin observar grumos antes de ser pesada.
2. Se taró en la balanza analítica un Erlenmeyer de 250 mL limpio y seco.
3. Se adicionó 5 g de muestra de aceite al Erlenmeyer con una incertidumbre $\pm 0,5$.
4. Se midió 50 mL de etanol (95%v/v) previamente neutralizado con 5 gotas de fenolftaleína y valorado en NaOH 0,1N. Se añadió el volumen al Erlenmeyer con el aceite previamente pesado.

5. Se calentó de 40-50°C la muestra en una plancha de calentamiento y se retiró.
6. Se añadió 5 gotas de fenolftaleína (1%) a la muestra y se adicionó un agitador magnético.
7. Se tituló gota a gota con NaOH 0,1N estandarizado y con suave agitación hasta observar un ligero cambio de coloración a rojo pálido, mantenido por 30 segundos aproximadamente. (Cenipalma, 2011).

Expresión de los resultados.

El porcentaje de ácidos grasos libres se calculó de esta manera.

$$\%AGL = \frac{25,6 * V * N}{g} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

V = Volumen de NaOH gastado en la titulación de la muestra de aceite.

N = Concentración de la solución de NaOH preparada

g = Gramos de la muestra de aceite de palma crudo. (Cenipalma, 2011; Icontec, 2011).

DOBI.

Para el índice de deterioro a la blanqueabilidad, se midió espectrofotométricamente la absorbancia de una muestra en solución en un rango específico de longitud de onda ultravioleta y visible. La relación entre la absorbancia a 446 nm y a 269 nm

mide el DOBI. El ensayo es una medición para la calidad entre los compuestos de oxidación y su relación con la absorbancia de carotenos. (Cenipalma, 2011).

1. Se tomó una muestra representativa con una temperatura entre 40-50°C y se pesó aproximadamente 0,04 g en un beaker tarado en la balanza analítica.
2. Se tomó 10 mL de solvente 2,4,6-trimetilpentano (iso-octano) y se añadió al beaker. Se agitó suavemente la muestra hasta homogenizar.
3. Se tomó una fracción líquida de solvente (blanco) y se enjuagó tres veces la celda de cuarzo para evitar interferencias. Luego se añadió blanco a la celda y se midió el blanco en el espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis de Thermo Scientific para establecer la línea base.
4. La medición se realizó bajo un barrido de 200 nm a 550 nm en método de exactitud fotométrica (Scan) y también bajo la relación fixed con el cociente de absorbancias en las longitudes de onda de 446 nm y 269 nm, entonces.

$$DOBI = \frac{A(446\text{ nm})}{A(269\text{ nm})} \text{ (Ecuación 2)}$$

5. Las absorbancias se mantuvieron en el rango al 0,8 repita la muestra diluyendo la muestra de aceite. (icontec, 2002).

Con la absorbancia de 446 nm se midió principalmente la cantidad de carotenos totales, mientras que con la absorbancia de 269 nm se midieron los compuestos de oxidación primaria y secundaria. (Cenipalma, 2011).

3.2 Reactivos

2,4,6-Trimetilpentano, alcohol etílico (95%v/v), NaOH (0,1 N), Fenolftaleína (1%).

3.3 Equipos e instrumentos.

centrifuga ROTOFIX 32 A de Hettich, bureta titrette, espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis de Thermo Scientific, celdas de cuarzo 1cm, beaker 100 mL, Erlenmeyer 250 mL, agitador magnético, plancha de calentamiento y agitación.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados.

El inicio de este muestreo se realizó a partir de la separación de varios racimos de fruta fresca recién depositados en el planchón de acopio de la planta beneficio. Dichos racimos fueron tomados entre verdes, maduros y sobre maduros para tener un equilibrio promedio en la extracción, según la TEA reportada por el jefe de producción.

Se ajustó un microclima a los racimos, regándolos en horas intermedias de la mañana, con exposición solar, y golpes moderados al racimo, para simular el transporte a tolva.

Se recogió el fruto maduro y sobre maduro sin realizar golpes ni cortes, se arrancó manualmente, mientras que el fruto verde se quitó del pedúnculo del racimo con un hacha de corte sin afectar el exocarpio de la fruta, y evitar oxidación prematura en los días estipulados del muestreo.

Se llevó aproximadamente 500 g de muestra al laboratorio, y se realizó el retiro del mesocarpio aparte de la nuez con un cuchillo de corte fino. La cantidad de mesocarpio obtenida se depositó en un costal con abertura pequeña para la salida de aceite en el prensado mecánico posterior.

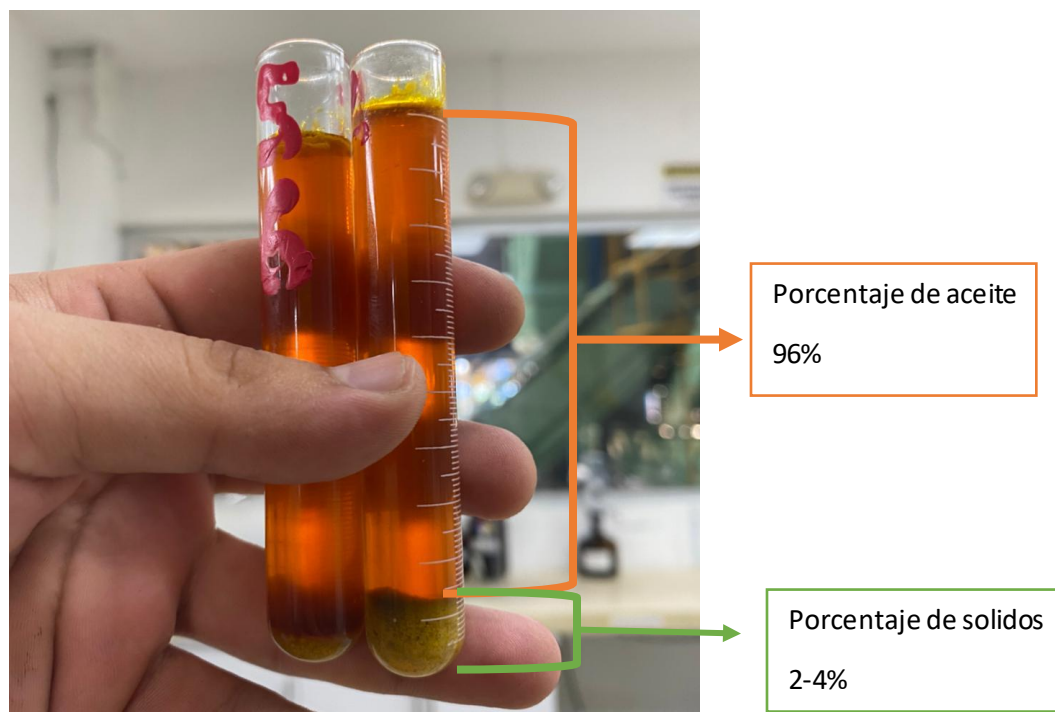
La muestra se añadió a un cilindro de metal, sobre dos barras fijas anteriormente limpiadas con alcohol etílico para disminuir la contaminación por aceites hidráulicos e impurezas en el aceite extraído. El montaje de prensado se puede observar en la figura 11.

Figura 11. Montaje prensa hidráulica para extracción de aceite.



Luego de realizar el prensado a 180 PSI, se recolectó un volumen de 50 mL de aceite prensado fresco sin esterilización, el cual se llevó al laboratorio, donde se añadió 10 mL por tubo de ensayo, con un total de 2 tubos para centrifugar la muestra. Luego de los 3 minutos de centrifugado, se les dio una vista para mirar el material de separación. Las muestras con el porcentaje de aceite se muestran en la figura 12.

Figura 12. Muestra centrifugada de fruto fresco por prensado hidráulico, visualización de fase aceitosa y sólidos.



A partir de los resultados obtenidos en la centrifuga se observó una aparición de solidos entre 2-4%. Para este primer análisis no se tiene en cuenta la relación entre los sólidos, y se toma solamente el aceite para el primer estudio de ácidos grasos libres y DOBI, entonces.

El procedimiento de muestreo se realizó por 6 días más, y se registraron los datos de titulación en la tabla 1, y se incorporaron los datos de %AGL y DOBI con su gradiente con el paso de los días en la tabla 2.

Tabla 3. Masa de titulación y volumen gastado de NaOH.

Datos titulación RFF	
Masa AGL	Volumen AGL
5,009	8,18
5,027	9,37
5,019	10,15
5,026	11,59
5,009	12,8
5,013	13,05
5,028	13,51

Tabla 4. Resultados analíticos de la calidad de AGL y DOBI para fruto fresco.

Análisis de %AGL, DOBI y HUMEDAD en RFF prensado mesocarpio.					
Día	%AGL	DOBI	HUMEDAD	Δ %AGL	Δ DOBI
0	4,35	3,251	0,33	0	0
1	4,96	3,021	0,43	0,61	-0,23
2	5,38	2,92	0,62	1,04	-0,33
3	6,14	2,572	0,67	1,79	-0,68
4	6,80	2,338	0,73	2,46	-0,91
5	6,93	1,779	1,07	2,58	-1,47
6	7,15	1,749	1,66	2,81	-1,50

Los datos reportados en la tabla 1, tuvieron relación al %AGL, donde se utilizó la ecuación 1 para reportar los datos en la tabla 2. Se tomará de ejemplo la masa del último muestreo y el volumen gastado de NaOH estandarizado, y se corroboró el valor reportado.

$$\%AGL = \frac{25,6 * 13,51 \text{ mL} * 0,1040 \text{ M}}{5,028 \text{ g}}$$

$$\%AGL = 7,154\%$$

Figura 13. Solución estandarizada de NaOH a 0,104 N.

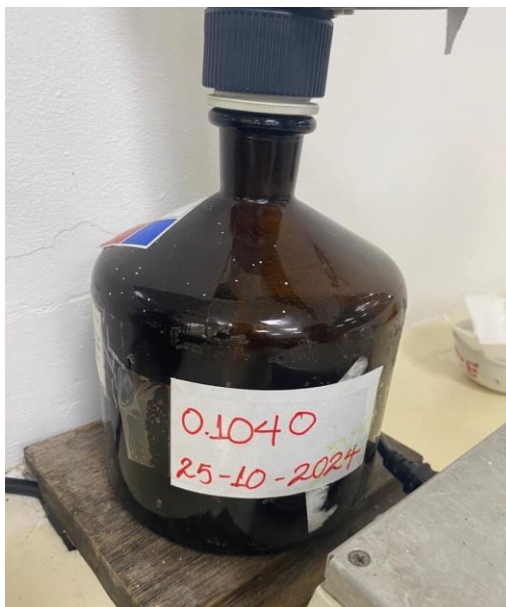


Figura 14. Masa de la muestra a titular con NaOH 0,104 N.



Figura 15. Volumen gastado de NaOH, reportado en la bureta titrette.



Con los resultados obtenidos en los gradientes, se graficó la relación entre los días analizados, y los resultados de ΔDOBI y $\Delta\%\text{AGL}$, observando la tendencia lineal entre el comportamiento en los días de estudio, esto se incluyó en la figura 14 y 15.

Figura 16. Gradiente del $\%\text{AGL}$ con respecto al tiempo.

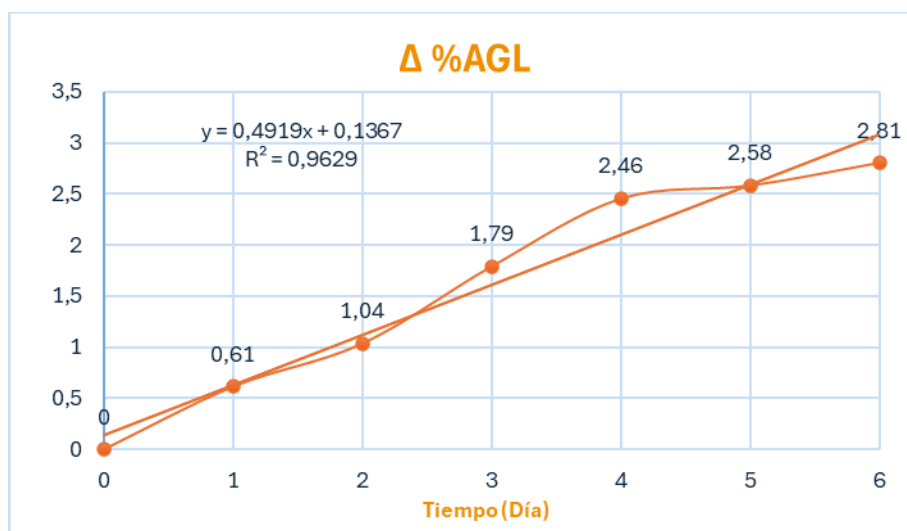
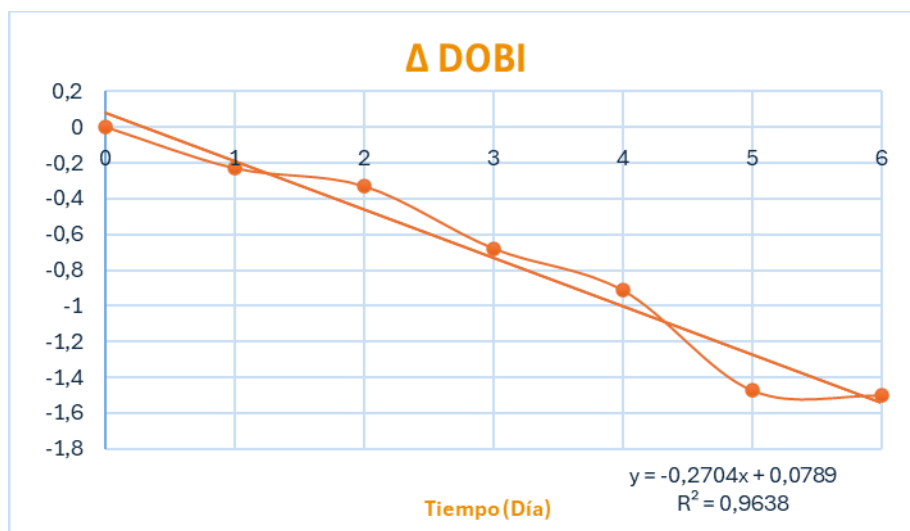


Figura 17. Gradiente de pérdida en la calidad del DOBI en los días de muestreo.



En la gráfica 14 se muestra un incremento promedio del 0,49 por día, con un ajuste de Pearson mayor al 95%. Se puede observar que el aumento de AGL es más pronunciado en los primeros días y tiende a suavizarse hacia el final del período de muestreo, aunque mantiene una tendencia general ascendente. Esto podría indicar un proceso de degradación o hidrólisis de lípidos que resulta en la liberación de ácidos grasos libres con el tiempo.

Con respecto a los datos reportados en la literatura, tuvimos un tratamiento más cuidadoso con respecto a las reportadas en las líneas de Fedepalma, ya que sus valores macerados de fruto fresco fueron mayores al 20% iniciando la prueba. De igual forma, luego de los cortes o tratamiento del fruto, se activa la lipasa, y junto a trazas de hierro en el transporte y tolva, el fruto se oxida más rápido, debido a que el hierro cataliza la oxidación. No se recomienda dejar el fruto muchos días depositado en el planchón, ya que el hongo favorece la oxidación por

microorganismos de la espora tipo Oospora, que aumenta el %AGL de 0,1 hasta un 6,4% en 60 horas (5 días). (Beltrán, 1991).

Para el índice DOBI tuvo en promedio una disminución del 0,27 por día, y un buen ajuste de tendencia del 0,96 aproximado. Este valor es notorio, debido a que la oxidación en los días del análisis aumentó, tanto por hidrolisis, como oxidación enzimática de la lipasa. Este índice indicó que con el pasar de los días, la cantidad total de carotenos disminuyó, y la oxidación primaria y secundaria tuvo un aumento en los aldehídos presentes, generando pérdida de color, y saliendo del rango de aceptación de acidez por fruto. (Chan et al., 1993).

Luego de este gradiente, y los datos registrados, se puede deducir que los frutos depositados en el planchón no se pueden dejar más de 3 días, ya que los efectos oxidativos por hidrolisis o por acción enzimática aparecen.

Corrientes de proceso.

Para cada corriente de proceso con salidas de aceite se registró la volumetría y se estableció el recuperado de aceite en las etapas de proceso (Esterilización, prensa raquis, licor virgen de digestores, licor de prensas, centrifugas y aceite producido seco final).

Cada composición volumétrica del proceso se comparó con las reportadas en la literatura, para la calificación de los recuperados en las corrientes mencionadas. Se recopilaron 107 datos de proceso para DOBI y %AGL sumando las corrientes de proceso, y 92 datos en composición volumétrica. Para aceite producido no se determina la composición volumétrica, ya que solo se efectúa impurezas para enviar

al almacenado. Luego de generar el compendio, se realizó el promedio para cada unidad de proceso, y se construyó un diagrama de barras donde se observó la comparación de los lugares críticos y focos de posibles contaminaciones, entonces.

Tabla 5. Composición volumétrica de las corrientes de producción.

Promedio de datos de volumetría corrientes de proceso				
Corrientes	%Aceite	%Lodo liviano	%Agua	%Lodo pesado
Condensados de esterilización	27	5	63	5
Licor prensa raquis	9	9	61	21
Licor digestores	73	0	0	27
Licor prensas P-15	69	0	1	30
Centrifugas	27	11	43	20

Figura 18. Relación de composición de las corrientes de proceso y recuperados.

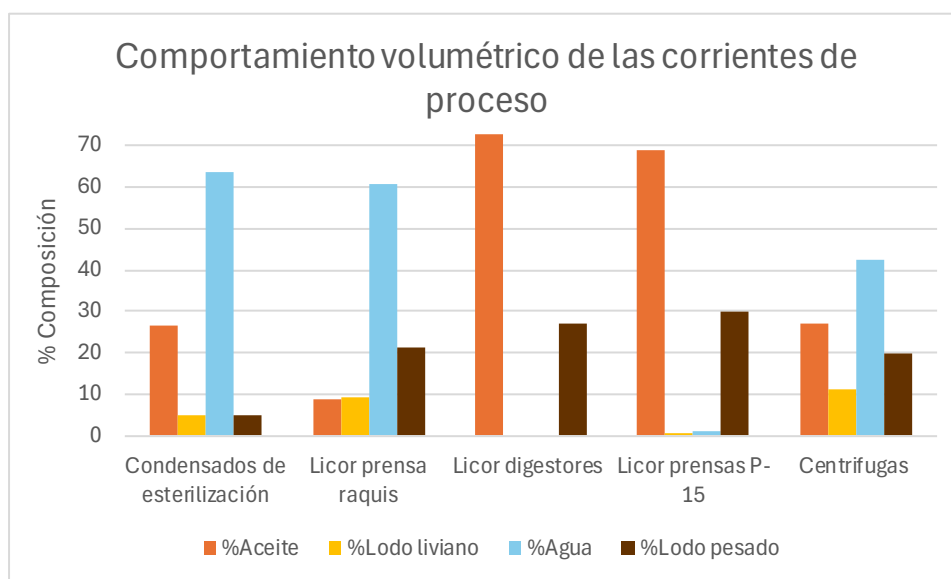
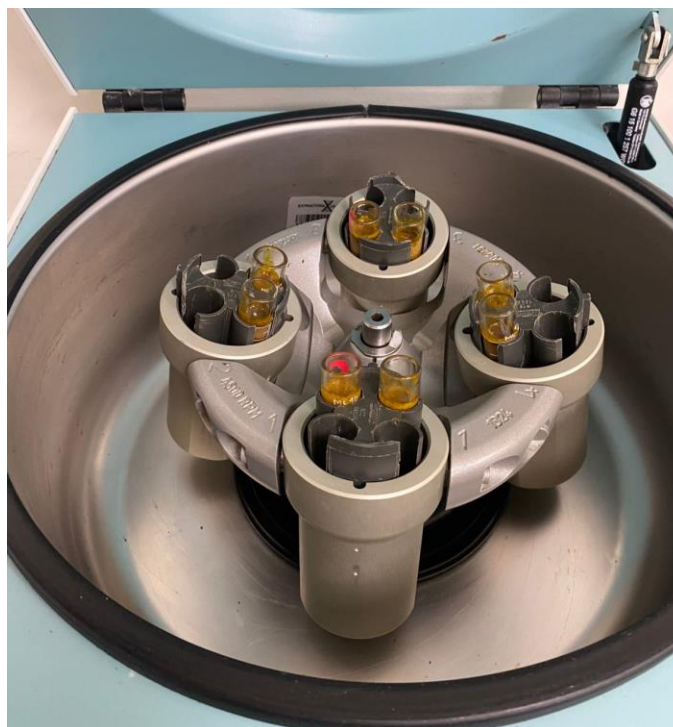


Figura 19. Ingreso de muestras la centrifuga para separación de fases.



Figura 20. Alineamiento de muestras en la centrifuga.



A partir de los datos obtenidos, se pudo evidenciar que las salidas más altas de aceite registrada fueron del licor de digestores y licor de presa, estando mayor a un

60% de aceite por un 100%. Es lógico, ya que la fruta pasa a macerado en el digestor, recién esterilizada, el cual, según los datos del digestor, la cantidad de lodos pesados fue más baja que en prensa. Con respecto a la composición volumétrica del digestor no se tiene registro, ya que el licor cae por tuberías a un ducto encontrado por el licor de prensas. Para el porcentaje del licor de prensas, el referente teórico se encuentra con un porcentaje de aceite entre 40-75% y el valor restante en lodo pesado. (Melva et al., 2014) Licor de digestores y prensas no mostraron lodo liviano y agua, debido a que en el macerado y prensado no se trabaja aún la dilución, como lo es en clarificación. Los valores de aceite promedio se encontraron dentro del rango teórico, siendo así un buen prensado, dejando en claro un buen análisis volumétrico. (Alvarado, 2010).

Para el caso de prensa raquis, la composición volumétrica en la literatura está reportada entre el 7-10% de aceite en tusa, de 42-45% de agua, un 6-9% de lodo liviano, y de un 25-39% de lodo pesado. Dicho esto, nuestros valores de volumetría concuerdan con la cantidad de aceite, y varían ligeramente entre la cantidad de agua y lodo pesado, como se muestra en la figura 23. (Laiton, 2010).

Para el caso de condensados, se mostró una mayor cantidad de agua, en relación con las otras corrientes, y fue lógico, ya que la mayoría, entre el 50-80% del vapor generado en caldera, es suministrado a las autoclaves. Los registros de la composición volumétrica del ciclo de esterilización no están en la literatura, y por ende se evidenció un recuperado de aceite por ciclo hasta cercano al 30%, esto, debido a la impregnación de aceite en tusas, y que al abrir las celdas pudieron escapar de las vagonetas en el flujo de condensados.

Según los reportes de la literatura con respecto a la impregnación de aceite en tusas y bajada al condensado, está referida al ciclo de esterilización, ya que entre más demoró el ciclo, y estuvo más golpeado, la acidez aumentó, y por ende perdió la calidad en color de aceite con respecto a las otras corrientes. (Martinez et al., 2013)

Ya en el área de clarificación, la zona de centrifugas se observó el monitoreo, y se encontró que la literatura data de valores de composición volumétrica del 32% de aceite, 50% de agua y un 18% de lodos. Según el reporte experimental reportado en a la figura 25, se evidenció que la cantidad de aceite y lodo liviano, sumaron 30%, siendo así un buen valor, ya que la mayoría del lodo liviano es aceite impregnado en agua y solidos de fracción pequeña. En cuestión a la cantidad de agua, mantiene la relación de inyección por la tubería de la centrifuga entre un 30-50% de agua, y con una cantidad de lodo pesado del 21%, estando cercana al valor experimental reportado en la literatura. (Juliao et al., 2013).

Figura 21. Toma de muestras de condensados de esterilización.



Figura 22. Volumetría de condensados.

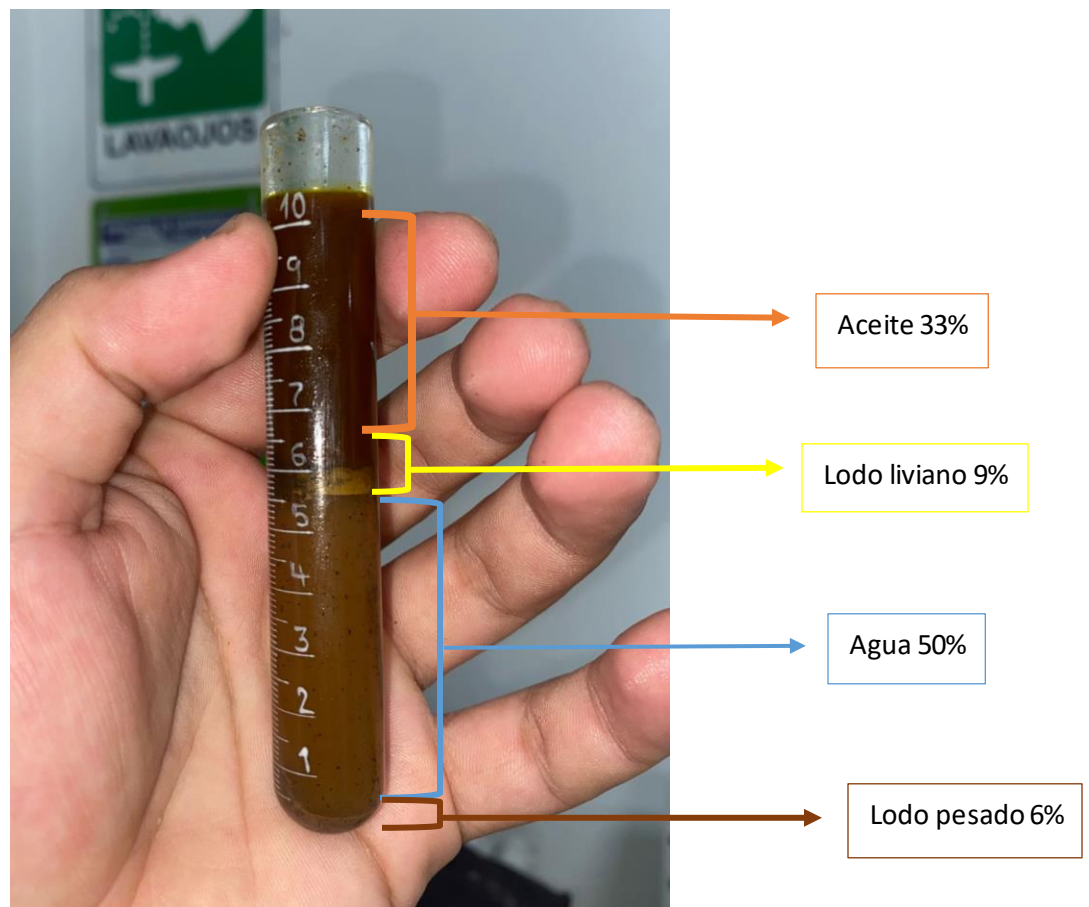


Figura 23. Picos de esterilización, y sostenimiento con respecto al tiempo.



Figura 24. Presiones de carga de las autoclaves, y presión en descarga de condensados.

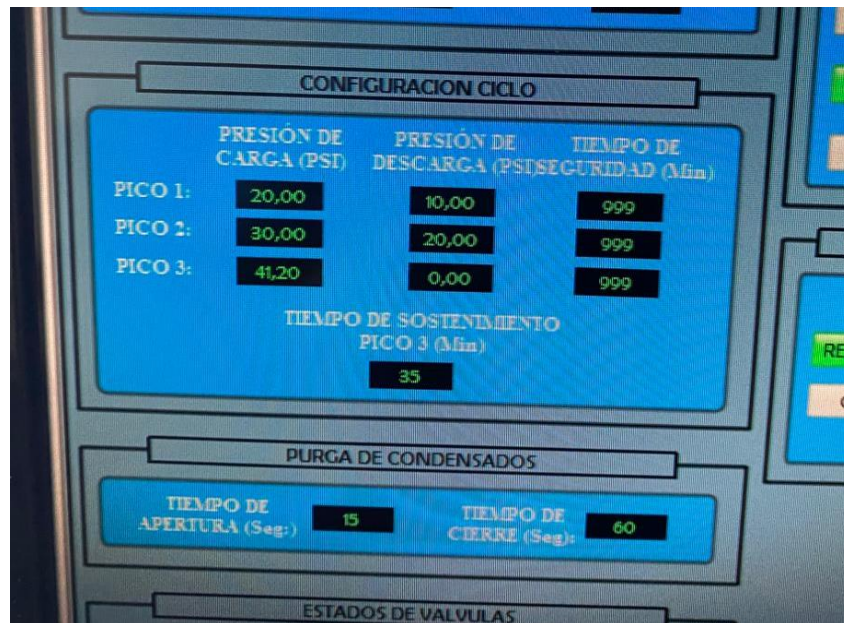


Figura 25. Tamizaje y recuperados de prensa raquis.



Figura 26. Composición volumétrica de prensa raquis.

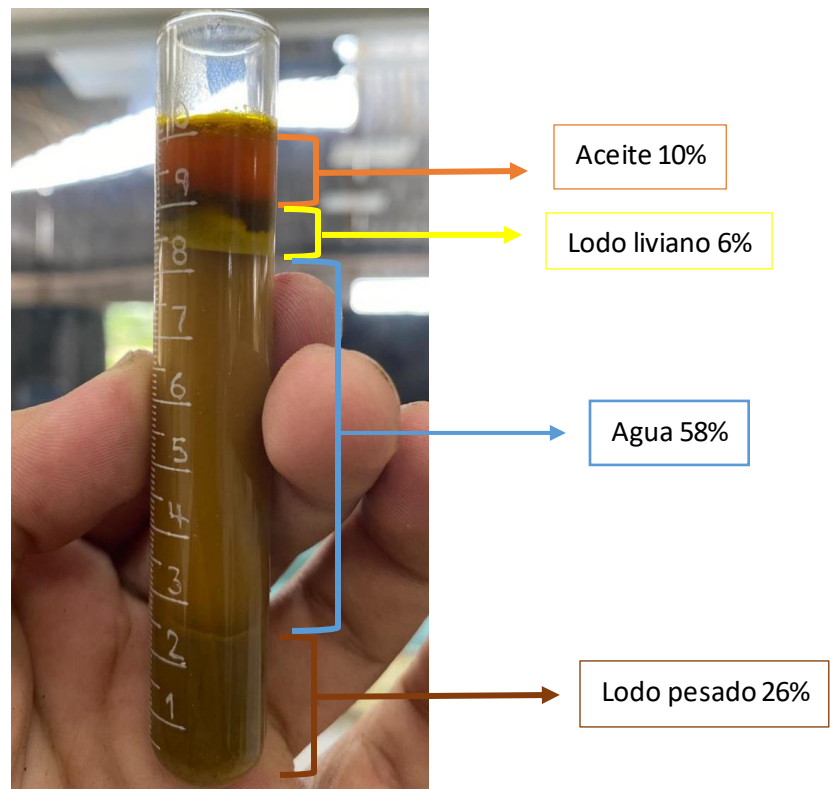


Figura 27. Muestreo de recuperados de las centrifugas.



Figura 28. Composición volumétrica de centrifugas.

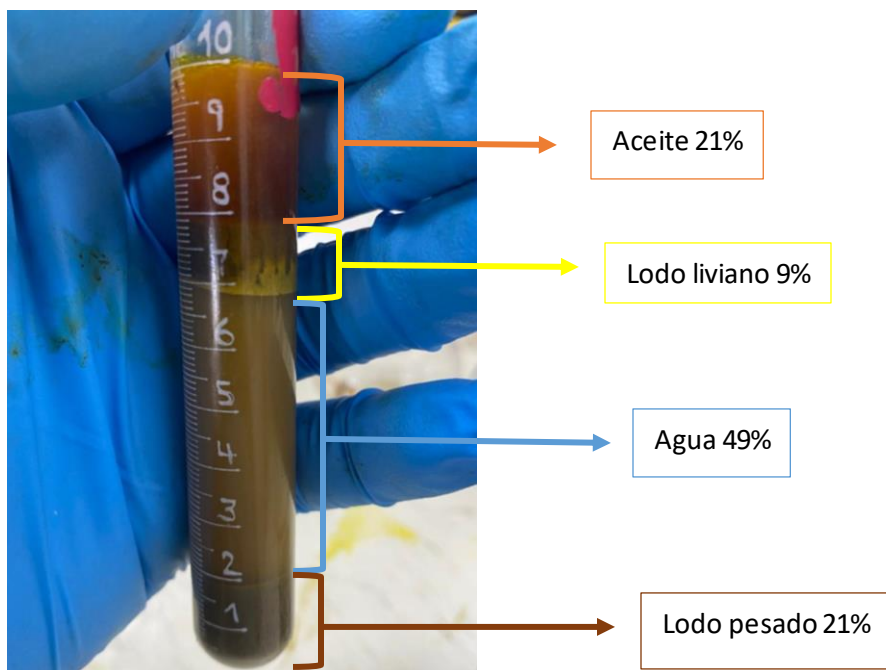


Figura 29. Impurezas de aceite producido.



Tabla 6. Control de calidad de las corrientes y sus valores promedio.

Promedio de datos corrientes de proceso		
Corrientes	%AGL	DOBI
Condensados de esterilización	11,5675	1,385
Licor prensa raquis	5,83	1,895
Licor digestores	2,38	3,108
Licor prensas P-15	2,71	2,769
Centrifugas	4,22	2,406
Aceite producido seco	3,50	2,782

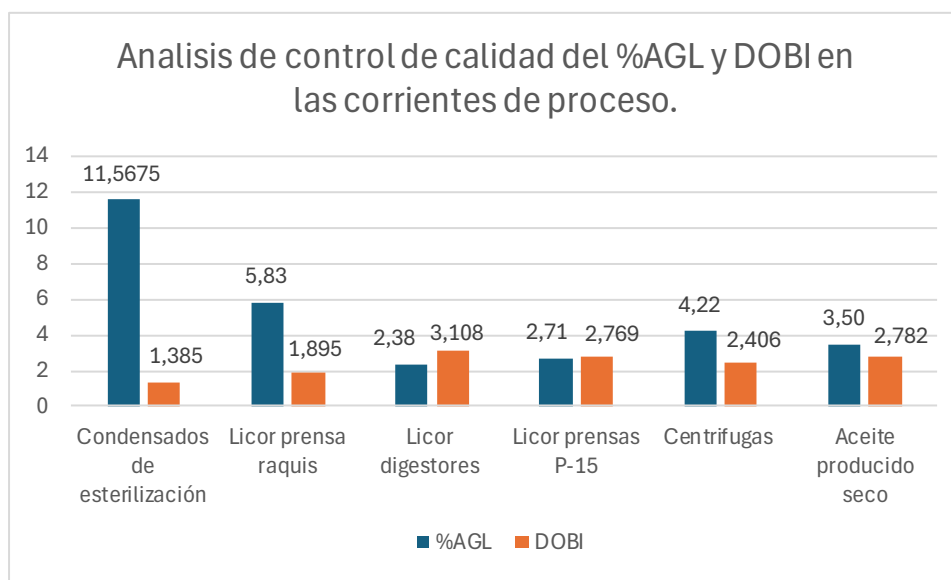
Figura 30. Análisis comparativo entre focos de baja calidad de proceso.

Figura 31. Inserción de muestra al espectrofotómetro uv/vis.



Para el análisis de la volumetría anteriormente tomada, se realizó una extracción cuidadosa del aceite en los tubos de ensayo para el DOBI de cada corriente. La tabla 4 se realizó bajo el promedio de datos del compendio de la tabla 6 en anexos, y a simple vista se determinó que las corrientes más altas en %AGL fueron los condensados de esterilización y el licor de prensa raquis, y a su vez, el DOBI de más baja calidad se encontró en esas mismas dos corrientes.

Ahora, según la información de la literatura los rangos aceptables para un buen DOBI, están de 2.4 en adelante según lo reportado en la literatura. Aunque también ThermoFisher define que un valor de DOBI aceptable está entre el rango de 2,31 a 2,92, y de bueno a excelente lo encontramos mayor de >2,92. (ISO, 2011).

Se les garantizó un mayor peso a los datos con el análisis de scan en las muestras, esto, el cual se observó las bandas pronunciadas en 269 nm y 446 nm. A su vez se encontró una mala calidad del DOBI en los condensados de esterilización y prensa raquis, esto debido a que la cantidad de carones totales (β -carotenos y α -carotenos) disminuyó con respecto a otras corrientes como digestores y aceite producido, y aumentó en 269 como la formación de oxidaciones primarias por la oxidación de los ácidos grasos insaturados libres, formando hidroperóxidos, que, a su vez en la oxidación secundaria, formaron aldehídos y algunas cetonas. (Edyson et al., 2022; Jusoh et al., 2013)

Se evidenció que el DOBI más alto del proceso fue en el aceite del licor de digestor, debido a que su tratamiento adecuado entre la temperatura del digestor y el macerado, evitaron fracturar el fruto, y ablandó mejor las celdas del mesocarpio para su prensado. Debido a su tratamiento suave, la cantidad de carotenos aumentó, y la formación de peróxidos en las grasas insaturadas disminuyó. Incluso, en la figura 31 se puede observar que las bandas de transición de oxidación primaria y secundaria son muy bajas, dejando un diferencial de absorbancia mayor para el contenido de alfa y betacarotenos.

Una anomalía presentada en los resultados fue la cercanía o similitud en los datos de licor de prensa y aceite producido, debido que, al haberse mezclado el licor virgen del digestor, con el licor de prensas hacia el tamiz y clarificación, debieron mejorar la pureza, acidez y el DOBI, pero se observó un aumento de %AGL en 2.71 a 3.50 en la línea de clarificación hacia el aceite producido.

Con respecto al DOBI y acidez de la centrifuga, no tuvo interferencia, ya que el valor de AGL fue menor a 5% por ende no posee un riesgo de castigo para la venta del aceite producido, y donde mostró un DOBI mayor a 2.4, siendo muy útil para los valores de la línea de proceso. (Nurulain et al., 2021)

Otra de los resultados con respecto a la mala calidad del DOBI en las dos corrientes mencionadas, fue en la forma radicalaria del triglicérido, como radicales alquilo lipídicos, convertidos en peróxido lipídico, el cual temas como el oxígeno y calor fueron catalizadores para dicha autooxidación, donde este peróxido se descompone en radicales alcoxis, formando aldehídos, cetonas, ácidos y esteres. (Nokkaew, 2019)

Para finalizar, el %AGL fueron proporcionales a la disminución del DOBI, debido que, al aumentar la absorbancia en el rango de 269 nm, la hidrolisis oxidativa también aumentó. Dicha oxidación se produjo por factores como el golpeo del manejo a tolva del fruto, donde se deja algunas horas antes de arrancar el ciclo de esterilización. Otro factor concedido, es la interacción en el aceite del prensado de raquis, donde el racimo interviene en la hidrolisis por impregnación de contaminantes durante el proceso de cosecha de fruto, como en la tolva y esterilización. (Japir et al., 2017; Tan et al., 2023).

Figura 32. DOBI condensados de esterilización por scan.

Creado: 21/11/2024 12:46:33 a. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Lín. Base: 21/11/2024 12:44:57 a. m.

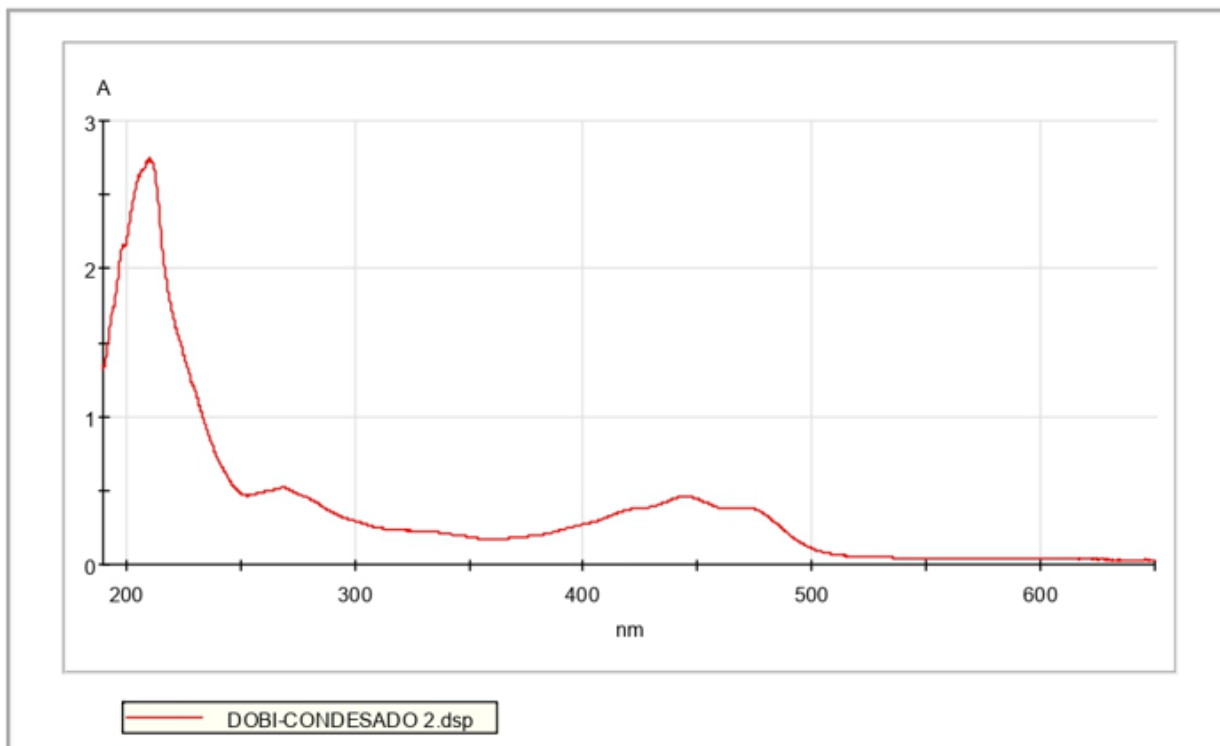


Figura 33. Resultado DOBI en el fixed para condensados de esterilización.

Última modific.: 21/11/2024 12:11:26 a. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Autozero: 21/11/2024 12:12:56 a. m.
Medida: 21/11/2024 12:14:14 a. m.
Archivo resultado: DOBI.rfx

Muestra: DOBI-CONDENSADO-21/11/24-12			Factor
446 nm	269 nm	545 nm	Resultado
0,443 A	0,516 A	0,046 A	0,844 mg/L

Figura 34. DOBI prensa raquis por scan.

Creado: 20/11/2024 8:51:40 p. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Lín. Base: 20/11/2024 8:50:20 p. m.

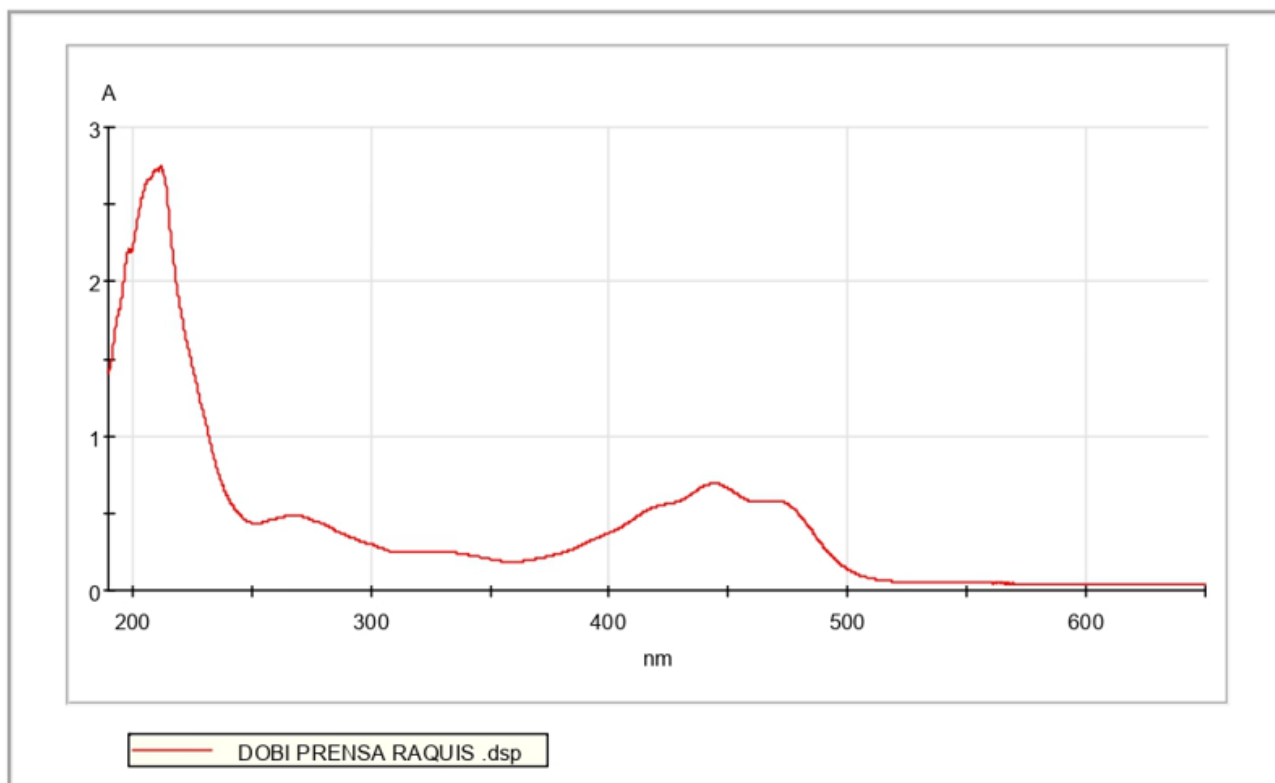


Figura 35. DOBI de prensa raquis en el fixed.

Última modific.: 20/11/2024 8:59:45 p. m.
 Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
 Número de serie: 2L6Q116002
 Firmware: 4.003
 Autozero: 20/11/2024 9:00:05 p. m.
 Medida: 20/11/2024 9:01:13 p. m.
 Archivo resultado: DOBI.rfx

Muestra: DOBI PRENSA RAQUIS	Factor Dilución
446 nm 269 nm 545 nm	Resultado
0,686 A 0,486 A 0,043 A	1,452 mg/L

Figura 36. DOBI licor del digestor por scan.

Creado: 20/11/2024 7:40:52 p. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Lín. Base: 20/11/2024 7:39:58 p. m.

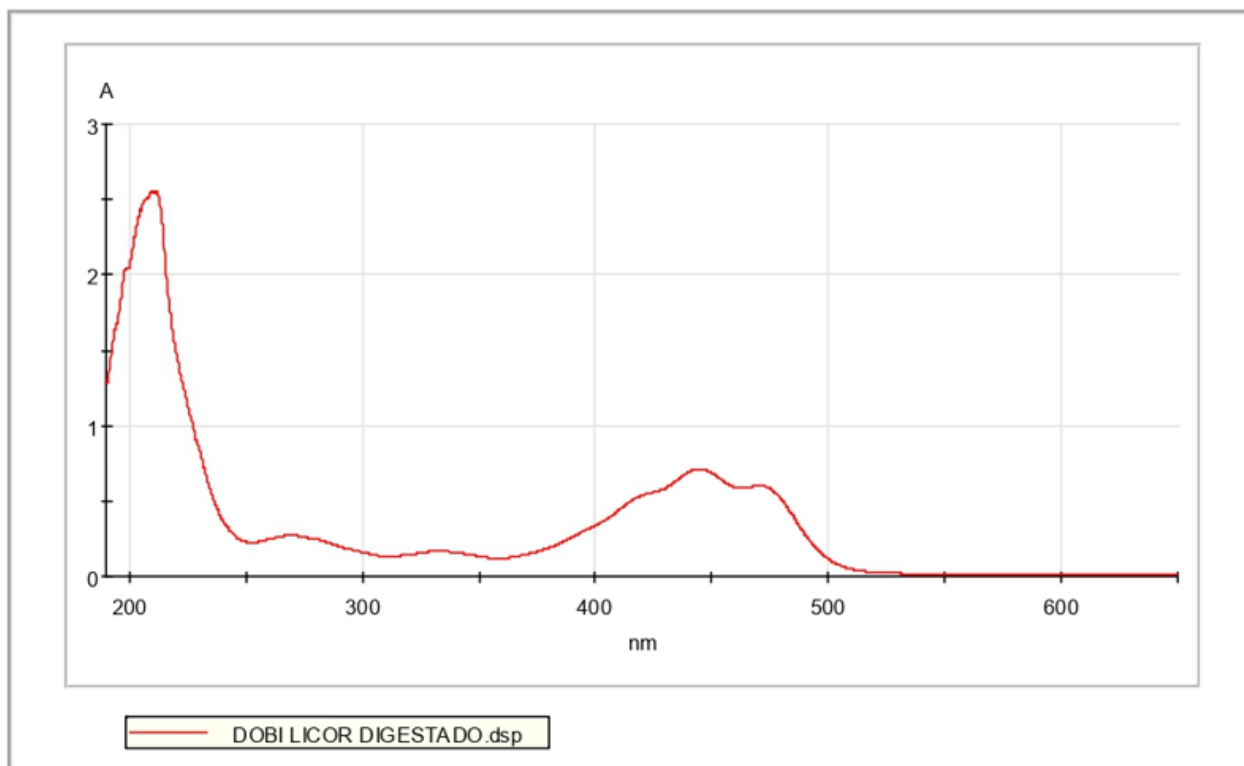


Figura 37. DOBI licor de digestor por fixed.

Última modific.: 20/11/2024 7:48:15 p. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Autozero: 20/11/2024 7:48:26 p. m.
Medida: 20/11/2024 7:50:04 p. m.
Archivo resultado: DOBI.rfx

Muestra: DOBI LICOR DIGESTADO 201124			Factor
446 nm	269 nm	545 nm	Resultado
0,712 A	0,268 A	0,013 A	2,744 mg/L

Figura 38. DOBI prensas P-15 en scan.

Creado: 20/11/2024 7:58:45 p. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Lín. Base: 20/11/2024 7:57:13 p. m.

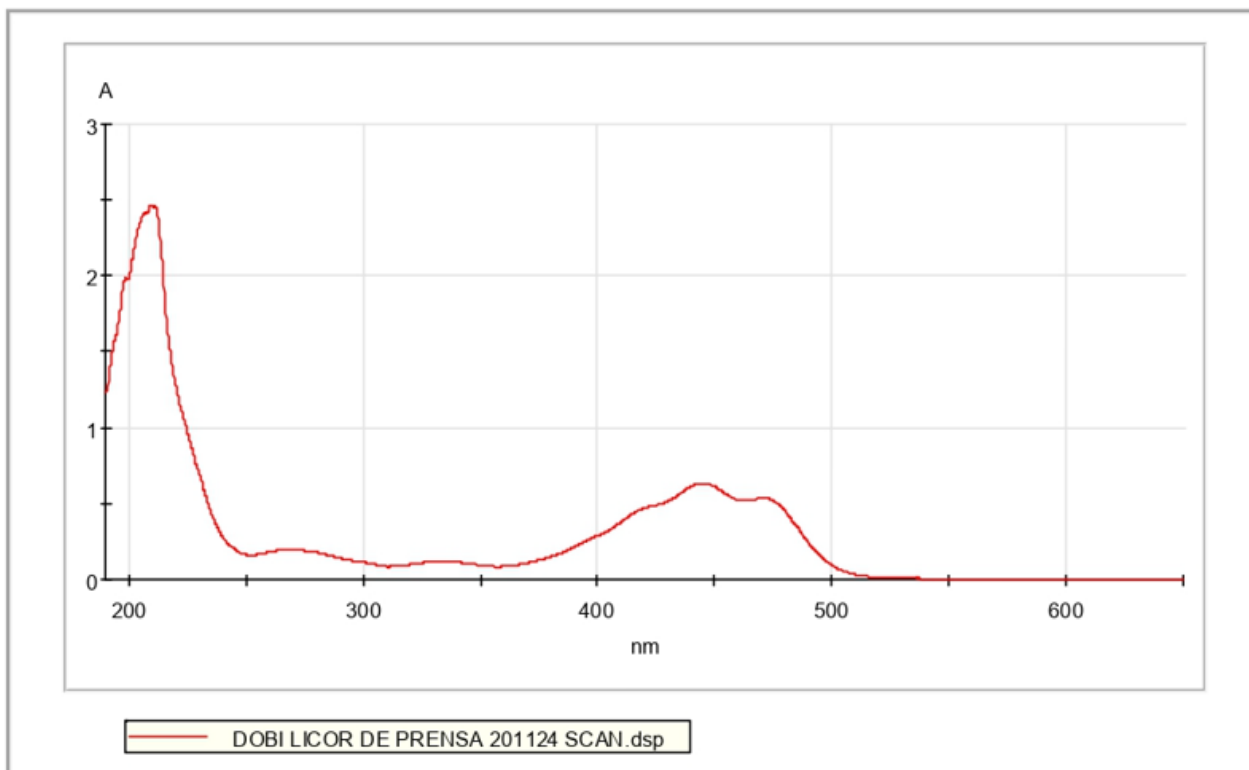


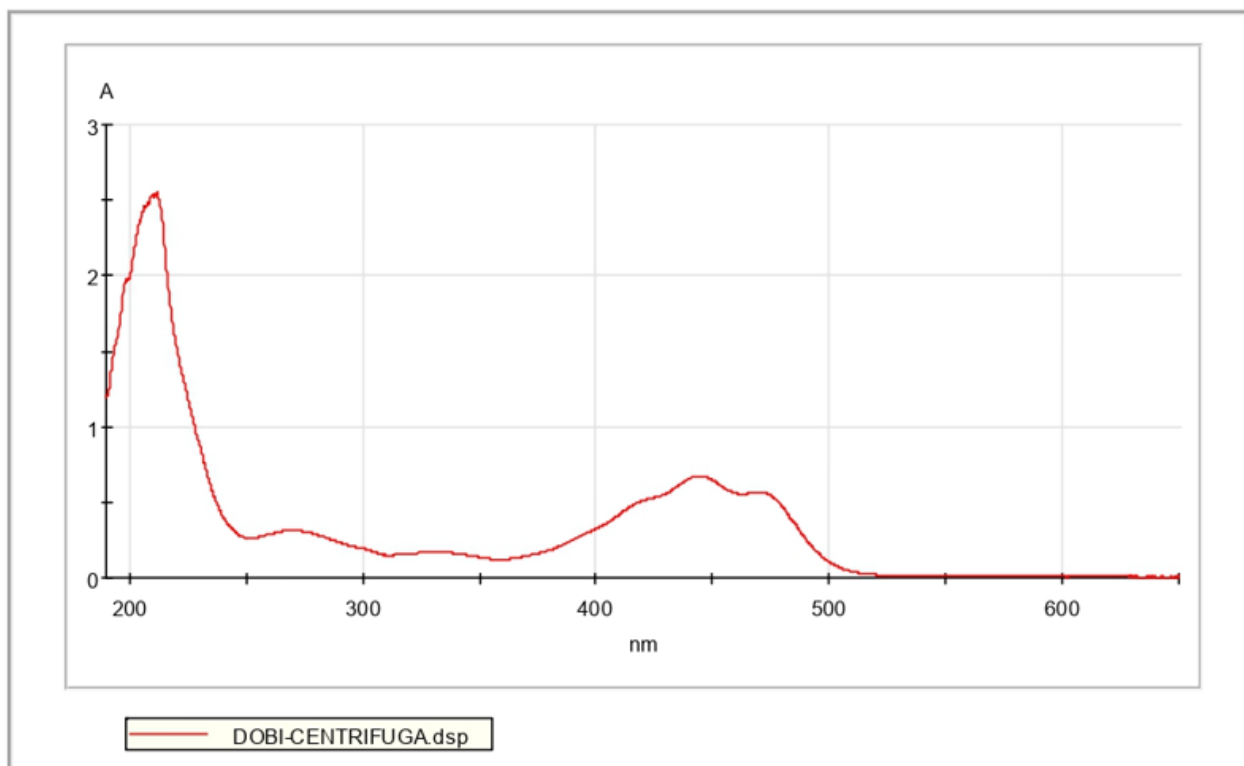
Figura 39. DOBI prensas P-15 en fixed.

Última modific.: 20/11/2024 8:07:04 p. m.
Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
Número de serie: 2L6Q116002
Firmware: 4.003
Autozero: 20/11/2024 8:07:15 p. m.
Medida: 20/11/2024 8:09:28 p. m.
Archivo resultado: DOBI.rfx

Muestra: DOBI LICOR DE PRENSA 201124 FIREX
446 nm 269 nm 545 nm Resultado
0,643 A 0,211 A 0,013 A 3,180 mg/L

Figura 40. DOBI centrifugas en scan.

Creado: 21/11/2024 2:09:18 a. m.
 Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
 Número de serie: 2L6Q116002
 Firmware: 4.003
 Lín. Base: 21/11/2024 2:00:41 a. m.

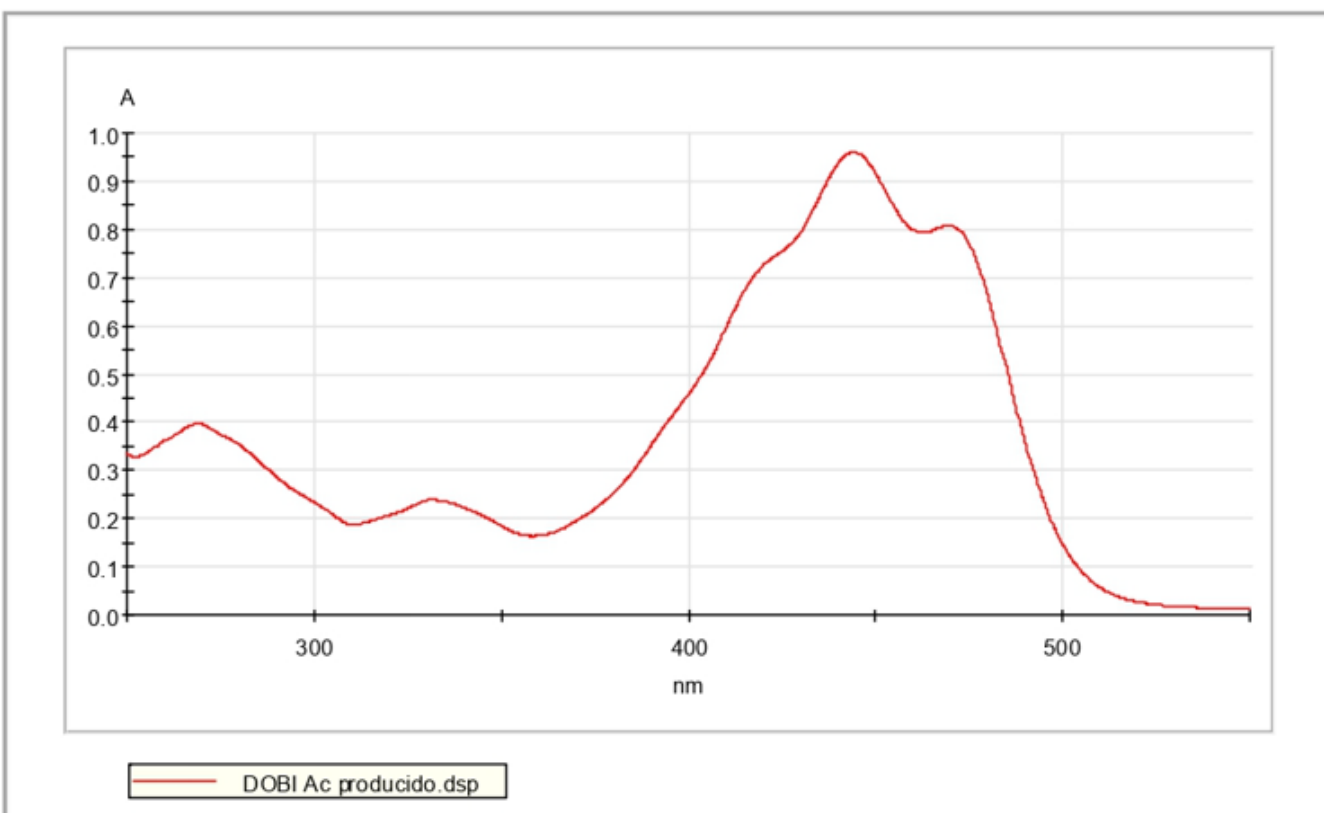
**Figura 41.** DOBI centrifugas en fixed.

Última modific.: 21/11/2024 1:48:22 a. m.
 Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
 Número de serie: 2L6Q116002
 Firmware: 4.003
 Autozero: 21/11/2024 1:48:34 a. m.
 Medida: 21/11/2024 1:50:20 a. m.
 Archivo resultado: DOBI.rfx

Muestra: DOBI-CENTRIFUGA			Factor Dilución: 1
446 nm	269 nm	545 nm	Resultado
0,668 A	0,339 A	0,020 A	2,033 mg/L

Figura 42. DOBI aceite producido en scan.

Espectro : DOBI Ac producido.dsp
 Descripción:
 Operario: Camilo Serrano
 Creado: 5/12/2024 4:50:20 p. m.
 Espectrofotómetro: GENESYS 10S UV-Vis
 Número de serie: 2L6Q116002
 Firmware: 4.003
 Lín. Base: 5/12/2024 4:48:55 p. m.

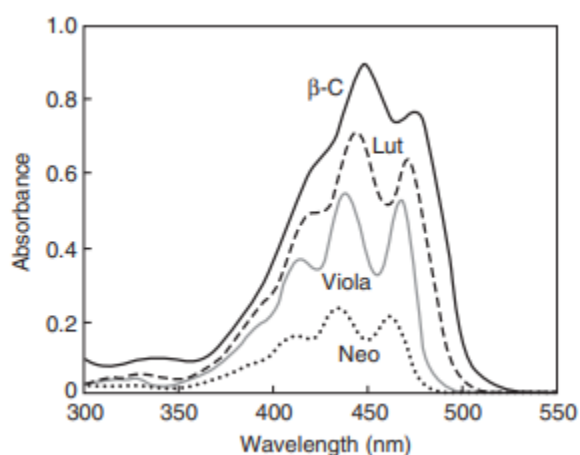


La región de 445-446 nm en el espectro UV-Vis del aceite crudo de palma corresponde a la banda característica de los carotenoides, siendo el β -caroteno el componente más abundante. Esta región es particularmente importante porque representa las transiciones electrónicas $\pi \rightarrow \pi^*$ que ocurren en la estructura conjugada de los carotenoides. El sistema conjugado extenso de dobles enlaces en la estructura del β -caroteno es responsable de esta absorción característica, que

también le confiere el color rojizo-anaranjado distintivo al aceite de palma crudo. (Wei-Long et al., 2010)

La relevancia de esta banda va más allá de su aspecto espectroscópico, ya que es fundamental para el cálculo del índice DOBI (Deterioration of Bleachability Index). Este índice se obtiene mediante la relación entre la absorbancia a 446 nm (característica de carotenoides) y la absorbancia a 269 nm (productos de oxidación primaria). Los carotenoides presentes en el aceite de palma actúan como antioxidantes naturales, protegiendo al aceite contra la oxidación mediante la captación de radicales libres y especies reactivas de oxígeno. Sin embargo, durante el procesamiento y almacenamiento, estos compuestos pueden degradarse por exposición a calor, luz o condiciones oxidativas, lo que resulta en una disminución de la absorbancia en esta región y, consecuentemente, en el valor DOBI. (Lichtenthaler & Buschmann, 2001).

Figura 43. Formación de bandas para Betacarotenos. Tomado de (Lichtenthaler & Buschmann, 2001).

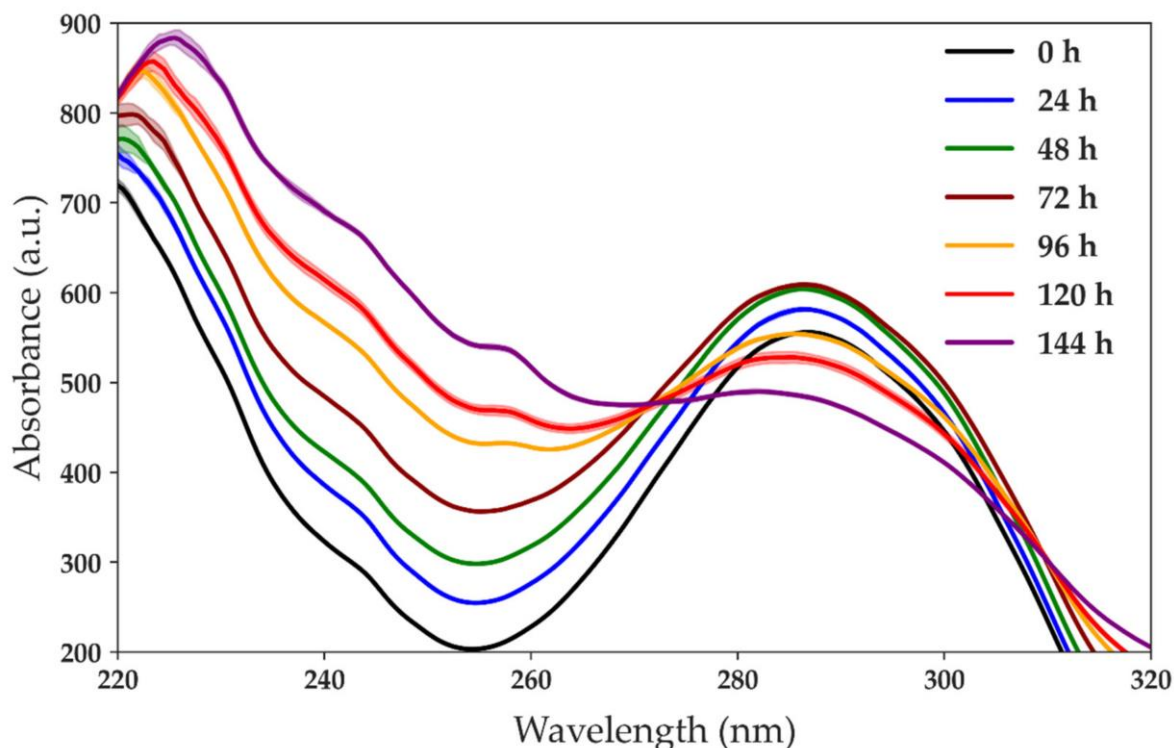


La degradación de los carotenoides puede ocurrir por diferentes mecanismos, incluyendo isomerización geométrica (conversión de trans a cis), oxidación

enzimática, y autooxidación. Estos procesos pueden llevar a la formación de apocarotenoides y otros productos de degradación que contribuyen a cambios en el perfil espectral y en las propiedades del aceite. La preservación de estos compuestos es crucial no solo para mantener las propiedades nutricionales del aceite, sino también para asegurar un comportamiento adecuado durante el proceso de refinación, particularmente en la etapa de blanqueo.

En esta etapa inicial, la reacción fundamental implica que el ácido graso (RH) se descompone para formar radicales libres ($R\cdot + H\cdot$). Estos radicales libres posteriormente reaccionan con el oxígeno molecular, llevando a la formación de hidroperóxidos conjugados (ROOH), compuestos que son característicamente detectables en la región UV entre 235-270 nm. (Gonçalves et al., 2018)

Figura 44. Banda de oxidación primaria espectro uv/vis. Tomado de (Holland et al., 2021b)



La oxidación secundaria, observable en la región de 400-420 nm del espectro, representó la siguiente fase del proceso degradativo. En esta etapa, los hidroperóxidos formados inicialmente, siendo inherentemente inestables, comienzan a descomponerse mediante la reacción $\text{ROOH} \rightarrow \text{RO}\cdot + \cdot\text{OH}$, generando una variedad de productos secundarios. Entre estos productos se encuentran aldehídos insaturados como el malondialdehído, cetonas α , β -insaturadas y diversos compuestos carbonílicos conjugados, todos ellos absorbiendo luz en la región visible del espectro, específicamente entre 400-420 nm. (Ilyas et al., 2014).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran una clara correlación entre el tiempo de procesamiento y la calidad del aceite de palma. El estudio revela que la degradación del aceite es un proceso progresivo que se acelera significativamente después del tercer día de almacenamiento del fruto fresco, evidenciado por el incremento en %AGL y la disminución del DOBI.

Los puntos críticos identificados en condensados de esterilización y prensa de raquis sugieren que los factores mecánicos (golpes, presión) y térmicos (temperatura, tiempo de exposición) son determinantes en la calidad final del aceite. La oxidación e hidrólisis de los triglicéridos se ven catalizadas por estos factores, resultando en la formación de compuestos secundarios indeseables.

La investigación permite establecer que para mantener una calidad óptima del aceite se debe, procesar el fruto dentro de los primeros 3 días después de la cosecha, optimizar las condiciones de esterilización para minimizar la degradación térmica y mantener un control estricto sobre los parámetros de proceso en las áreas identificadas como críticas

Estos hallazgos son fundamentales para la industria del aceite de palma, ya que proporcionan parámetros claros para el control de calidad y sugieren puntos de intervención específicos para la optimización del proceso productivo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo una próxima validación para definir la independización de las dos corrientes que afectan el proceso de aceite crudo de palma. Dicha intervención se podría llevar a cabo bajo auditores de la norma 17025 ISO/IEC. Se debe implementar más parámetros de control de calidad al laboratorio, como detección de aldehídos a partir del índice de p-anisidina. Se debe añadir también nuevas técnicas de implementación para el contenido de fosfolípidos, hierro, arsénico, alfa y betacarotenos. Es recomendable la objetividad de separar las líneas de proceso con otro sistema de clarificación para darle usos de venta a los aceites con más baja calidad en parámetros como DOBI y %AGL.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) García-Núñez, J. A., Chaparro-T., D. C., Ramírez-C., N. E. Caballero-B., K., Díaz, C. A., Cortés, I. L., Munar, D. A., González, A., Mondragón, A., Cala, S., Guerrero, A., Sierra, S. Albarracín, J. A. & Cuellar, M. (2022). Productividad y calidad de aceite, retos para el sector palmero colombiano. *Palmas*, 43(1), 64-75.
- 2) Información de deforestación asociada a palma de aceite del total de la deforestación nacional para 2019 (IDEAM, 2022) y la Información Reporte 2011-2023 Satelligence (2023) **Cambio Directo de Uso del Suelo. https://fedepalma.org/wp-content/uploads/2024/05/Infografia_Colombia.pdf
- 3) Tow, W., Goh, A. P., Sundralingam, U., Palanisamy, U. D., & Sivasothy, Y. (2021). Flavonoid Composition and Pharmacological Properties of *Elaeis guineensis* Jacq. Leaf Extracts: A Systematic Review. *Pharmaceuticals*, 14(10), 961. <https://doi.org/10.3390/ph14100961>
- 4) Tow, W., Goh, A. P., Sundralingam, U., Palanisamy, U. D., & Sivasothy, Y. (2021). Flavonoid Composition and Pharmacological Properties of *Elaeis guineensis* Jacq. Leaf Extracts: A Systematic Review. *Pharmaceuticals*, 14(10), 961. <https://doi.org/10.3390/ph14100961>
- 5) Vista de Influencia del procesamiento sobre la calidad final del aceite. (s. f.). <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/311/311>
- 6) Vista de Implementación del DOBI como parámetro de calidad en extractoras de aceite de palma. (s. f.). <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1301/1301>
- 7) Forero H., D, Hormaza, P, Moreno, L y Ruíz R., R. (.). Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite. Bogotá: Cenipalma. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/108001>
- 8) Tow, W. -K., Goh, A. P. -T., Sundralingam, U., Palanisamy, U. D., & Sivasothy, Y. (2021). Flavonoid Composition and Pharmacological Properties of *Elaeis guineensis* Jacq. Leaf Extracts: A Systematic Review. *Pharmaceuticals*, 14(10), 961. <https://doi.org/10.3390/ph14100961>
- 9) Willits, J. (2013). Los 3-MCPD y su importancia en la industria del aceite de palma. *Palmas*, 34, 165-173. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10713>.
- 10) Rincón M., S. M., & Martinez C., D. M. (2009). Analisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Palmas*, 30(2), 11-24. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1432>
- 11) Martínez, L., Díaz, O. M., & García, J. A. (2013). Condiciones de esterilización para racimos de fruta de palma desgarrados. *Palmas*, 32(3), 64–76. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10792>

- 12) García N., J. A., Yañez A., E. E., & Sierra R., G. A. (2003). Factores que afectan la pérdida de aceite impregnado en tusas en plantas de beneficio de palma de aceite. *Palmas*, 24(1), 67–77. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/953>
- 13) Caballero Blanco, K., Cortés Barreto, Ingrid L., Ramírez Contreras, N. E., & García Núñez, J. A. (2019). Masa que pasa al digestor (MPD) como metodología para la estimación del potencial de aceite industrial. *Palmas*, 40(Especial T), 29–38. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13083>
- 14) Guayazán J., J., Herrera A., F. J., Montero, J. C., & García, J. A. (2013). Metodología para calcular el tiempo de residencia en sistema digestor-prensa en plantas de beneficio. *Palmas*, 34(2), 35–39. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10844>
- 15) Nieto Mogollón, D. I., Yañez Angarita, E. E., & García Núñez, J. A. (2011). Preclarificador de aceite crudo de palma : diseño y operación. *Boletines técnicos*, (29), 58. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10503>
- 16) Guerrero S., Á, Peña M., C y Cala A., S. (2017.). Guía de bolsillo para clarificar aceite de palma [2017]. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107653>
- 17) Martínez L., G, Pineda López, B y . (2010.). Reconocimiento de enfermedades en la palma de aceite: tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía para facilitadores. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107623>
- 18) Juliao, G. A. C. (2014). Recuperación del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas mediante la aplicación de vibraciones mecánicas. *Prospectiva*, 11(2), 53. <https://doi.org/10.15665/rp.v11i2.39>
- 19) García N., J. A., Cadena G., Ómar, & Rodríguez C., N. (2000). Influencia de las diferentes fases (aceite - agua - lodos) en el comportamiento de la clarificación. *Palmas*, 21(especial,), 334–339. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/803>
- 20) Laiton P., P. (2010). Trabajo con prensa de tusas. *Palmas*, 31(4), 45–52. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1504>
- 21) Baena S., M. A., García Núñez, . J. A., González D., A., Mondragón, A., & Caballero B. , K. (2021). La calidad del aceite de palma como un nuevo reto para la palmicultura mundial. *Palmas*, 42(1), 65–80. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13450>
- 22) De Leonardis, A., Cuomo, F., Macciola, V., & Lopez, F. (2016). Influence of free fatty acid content on the oxidative stability of red palm oil. *RSC Adv.*, 6(103), 101098–101104. <https://doi.org/10.1039/C6RA16953>

- 23) Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, C, Cala A., S, García N., J y Yañez A., E. (.). Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio. Bogotá : Cenipalma,. URN:ISBN:9789588360270
- 24) Icontec. 2011. Tercera actualización. Norma técnica colombiana 218. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de acidez y de la acidez.
- 25) Icontec. 2002. NTC 5033. Grasas y aceites animales y vegetales. Preparación de la muestra para ensayo. (ISO 661).
- 26) Clarificación – GAExpertise. (s. f.). <https://gaexpertise.com/productos-y-servicios/aclaracion/?lang=es>
- 27) Beltrán R., C. (1991). Influencia del procesamiento sobre la calidad final del aceite. *Palmas*, 12(especial), 102–107. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/311>
- 28) Chan, S., Han, S. J., Lim, Y. L., Rajendran, T., & Wong, F. M. (1993). Cómo mejorar los valores DOBI del aceite crudo de palma : un enfoque práctico. *Palmas*, 14(3), 55–64. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/384>
- 29) Laiton P., P. (2010). Trabajo con prensa de tusas. *Palmas*, 31(4), 45–52. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1504>
- 30) Alvarado Tobías, M. (2010). Evaluación del proceso de clarificación en la planta de beneficio Palmagro S.A.
- 31) Melva, I. B. I., & Felipe, C. B. G. (2014). Evaluación y optimización operativa en el control de pérdidas de aceite en esterilizado y clarificado del proceso extractivo de crudo de palma aceitera. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/3571>
- 32) International Organization for Standardization. (2011). Palm oil — Determination of the deterioration of bleachability index (DOBI) and carotene content (Standard No. 17932). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/54401.html>
- 33) Edyson, E., Murgianto, F., Ardiyanto, A., Astuti, E. J., & Ahmad, M. P. (2022). Preprocessing Factors Affected Free Fatty Acid Content in Crude Palm Oil Quality. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(2), 177-181. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.2.177>
- 34) Jusoh, J.M., Rashid, N.A., & Omar, Z.B. (2013). Effect of Sterilization Process on Deterioration of Bleachability Index (DOBI) of Crude Palm Oil (CPO) Extracted from Different Degree of Oil Palm Ripeness.
- 35) Nurulain, S., Aziz, N., Najib, Salim, & Manap, H. (2021). A review of free fatty acid determination methods for palm cooking oil. *Journal Of Physics Conference Series*, 1921(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1921/1/012055>

- 36) Nokkaew, R. (2019). DETERMINATION OF CAROTENOIDS AND DOBI CONTENT IN CRUDE PALM OIL BY SPECTROSCOPY TECHNIQUES: COMPARISON OF RAMAN AND FT-NIR SPECTROSCOPY. *International Journal Of Geomate*, 16(55). <https://doi.org/10.21660/2019.55.4813>
- 37) Japir, A. A., Salimon, J., Derawi, D., Bahadi, M., Al-Shuja'a, S., & Yusop, M. R. (2017). Physicochemical characteristics of high free fatty acid crude palm oil. *OCL*, 24(5), D506. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017033>
- 38) Tan, B. A., Nair, A., Zakaria, M. I. S., Low, J. y. S., Kua, S. F., Koo, K. L., Wong, Y. C., Neoh, B. K., Lim, C. M., & Appleton, D. R. (2023). Free Fatty Acid Formation Points in Palm Oil Processing and the Impact on Oil Quality. *Agriculture*, 13(5), 957. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050957>
- 39) Quienes somos – Hacienda la Gloria. (s. f.). <https://www.haciendalagloria.com/portal/quienes-somos/>
- 40) Urugo, M. M., Teka, T. A., Teshome, P. G., & Tringo, T. T. (2021). Palm Oil Processing and Controversies over Its Health Effect: Overview of Positive and Negative Consequences. *Journal Of Oleo Science*, 70(12), 1693-1706. <https://doi.org/10.5650/jos.ess21160>
- 41) Escudero, A. L. V. (2019). Alternativas ambientales para el aprovechamiento de la biomasa residual de palma aceitera (*elaeis guineensis*) en procesos industriales y agrícolas. *Publicaciones E Investigación*, 13(2), 77-92. <https://doi.org/10.22490/25394088.3467>
- 42) Holland, T., Abdul-Munaim, A. M., Mandrell, C., Karunanithy, R., Watson, D. G., & Sivakumar, P. (2021b). UV-Visible Spectrophotometer for Distinguishing Oxidation Time of Engine Oil. *Lubricants*, 9(4), 37. <https://doi.org/10.3390/lubricants9040037>
- 43) Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols In Food Analytical Chemistry*, 1(1). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- 44) Wei-Long, L., De-Min, W., Zhi-Ren, Z., Ai-Hua, L., & Wen-Hui, S. (2010). Solvent effects on the S₀→S₂ absorption spectra of β-carotene. *Chinese Physics B*, 19(1), 013102-013106. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/19/1/013102>
- 45) Gonçalves, T. R., Rosa, L. N., Gonçalves, R. P., Torquato, A. S., Março, P. H., Gomes, S. T. M., Matsushita, M., & Valderrama, P. (2018). Monitoring the Oxidative Stability of Monovarietal Extra Virgin Olive Oils by UV–Vis Spectroscopy and MCR–ALS. *Food Analytical Methods*, 11(7), 1936-1943. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1149-6>
- 46) Ilyas, Mohammad & Khan, Nadir & Sultana, Qamar. (2014). Thermodynamic and Kinetic Studies of Chromium (VI) Adsorption by Sawdust Activated Carbon. *Journal- Chemical Society of Pakistan*. 36. 1003-1012.

ANEXOS

Tabla 7. Compendio de datos de volumetría.

	%Aceite	%Lodo liviano	%Agua	%Lodo pesado
Licor prensa raquis	10	13	59	18
Licor prensa raquis	10	8	65	17
Licor prensa raquis	10	8	66	16
Licor prensa raquis	9	6	69	16
Licor prensa raquis	10	7	66	17
Licor prensa raquis	14	10	40	36
Licor prensa raquis	15	9	40	36
Licor prensa raquis	7	10	63	20
Licor prensa raquis	5	8	66	21
Licor prensa raquis	6	9	67	18
Licor prensa raquis	10	12	59	19
Licor prensa raquis	7	10	63	20
Licor prensa raquis	5	10	67	18
Licor prensa raquis	6	9	62	23
Condensados de esterilización	25	7	62	6
Condensados de esterilización	22	4	69	5
Condensados de esterilización	31	4	57	8
Condensados de esterilización	14	3	76	7
Condensados de esterilización	19	5	73	3
Condensados de esterilización	21	2	74	3
Condensados de esterilización	20	3	70	7
Condensados de esterilización	31	6	60	3
Condensados de esterilización	35	2	61	2
Condensados de esterilización	32	2	64	2
Condensados de esterilización	29	7	56	8

Condensados de esterilización	27	7	63	3
Condensados de esterilización	26	9	57	8
Condensados de esterilización	36	6	53	5
Condensados de esterilización	31	5	60	4
Condensados de esterilización	27	7	60	6
Licor digestores	64	0	0	36
Licor digestores	73	0	0	27
Licor digestores	64	0	0	36
Licor digestores	80	0	0	20
Licor digestores	82	0	0	18
Licor digestores	86	0	0	14
Licor digestores	64	0	0	36
Licor digestores	80	0	0	20
Licor digestores	80	0	0	20
Licor digestores	77	0	0	23
Licor digestores	59	0	0	41
Licor digestores	60	0	0	40
Licor digestores	53	0	0	47
Licor digestores	85	0	0	15
Licor digestores	87	0	0	13
Prensas P-15	53	0	0	47
Prensas P-15	46	0	0	54
Prensas P-15	56	0	0	44
Prensas P-15	78	1	0	21
Prensas P-15	75	2	0	23
Prensas P-15	85	0	0	15
Prensas P-15	89	0	0	11
Prensas P-15	91	0	0	9
Prensas P-15	60	0	0	40
Prensas P-15	95	0	0	5
Prensas P-15	65	0	0	35
Prensas P-15	45	0	5	50
Prensas P-15	86	0	0	14
Prensas P-15	92	0	0	8
Prensas P-15	93	0	0	7
Prensas P-15	65	3	0	32

Prensas P-15	78	0	0	22
Prensas P-15	60	4	0	36
Prensas P-15	71	1	0	28
Prensas P-15	76	0	0	24
Prensas P-15	68	0	0	32
Prensas P-15	55	0	5	40
Prensas P-15	53	0	0	47
Prensas P-15	44	1	2	53
Prensas P-15	48	0	5	47
Prensas P-15	65	0	7	28
Centrifugas	25	10	54	11
Centrifugas	33	10	35	22
Centrifugas	30	13	33	24
Centrifugas	45	7	27	21
Centrifugas	22	12	50	16
Centrifugas	23	11	48	18
Centrifugas	26	13	41	20
Centrifugas	31	9	35	25
Centrifugas	28	11	41	20
Centrifugas	30	11	41	18
Centrifugas	25	12	46	17
Centrifugas	29	10	40	21
Centrifugas	22	12	46	20
Centrifugas	17	9	56	18
Centrifugas	20	9	51	20
Centrifugas	33	12	38	17
Centrifugas	20	10	50	20
Centrifugas	26	11	45	18
Centrifugas	32	13	35	20
Centrifugas	23	11	43	23
Centrifugas	24	14	38	24

Tabla 8. Compendio de datos control de calidad corrientes (%AGL y DOBI).

	DOBI	%Humedad	%Acidez (AGL)	Impurezas
Prensa raquis	1,903	0,32	5,07	0,15
Prensa raquis	2,15	0,24	4,99	0,15
Prensa raquis	1,373	0,39	5,14	0,2
Prensa raquis	2,047	0,43	5,20	0,1

Prensa raquis	1,873	0,31	6,92	0,1
Prensa raquis	1,549	1,5	6,58	0,1
Prensa raquis	2,378	0,53	5,35	0,2
Prensa raquis	2,284	0,47	5,34	0,1
Prensa raquis	1,994	0,35	5,43	0,15
Prensa raquis	2,047	0,44	6,11	0,1
Prensa raquis	2,03	0,38	6,74	0,1
Prensa raquis	1,549	1,5	6,58	0,1
Prensa raquis	1,894	0,87	6,35	0,15
Prensa raquis	1,452	0,73	5,88	0,1
Condensados de esterilización	1,306	1,35	9,31	0,15
Condensados de esterilización	1,521	1,28	8,64	0,15
Condensados de esterilización	1,385	1,74	9,72	0,15
Condensados de esterilización	1,296	1,03	10,23	0,3
Condensados de esterilización	1,493	0,95	12,35	0,3
Condensados de esterilización	1,548	1,75	11,81	0,3
Condensados de esterilización	1,429	1,82	10,54	0,3
Condensados de esterilización	1,351	1,39	11,42	0,3
Condensados de esterilización	1,383	1,25	12,37	0,3
Condensados de esterilización	1,936	1,88	12,94	0,3
Condensados de esterilización	1,275	2,01	13,06	0,25
Condensados de esterilización	1,386	1,27	13,21	0,3
Condensados de esterilización	1,411	1,16	12,85	0,15
Condensados de esterilización	1,285	1,49	12,59	0,3
Condensados de esterilización	1,312	1,24	12,08	0,3
Condensados de esterilización	0,844	1,81	11,96	0,15

Licor digestores	3,486	0,25	2,02	0,1
Licor digestores	3,617	0,27	1,95	0,1
Licor digestores	2,794	0,31	1,96	0,1
Licor digestores	3,651	0,26	1,95	0,1
Licor digestores	3,593	0,18	2,03	0,1
Licor digestores	2,626	0,16	2,10	0,1
Licor digestores	3,286	0,19	2,32	0,1
Licor digestores	2,42	0,43	3,33	0,1
Licor digestores	3,071	0,2	2,73	0,1
Licor digestores	3,178	0,18	2,58	0,1
Licor digestores	2,875	0,14	2,48	0,1
Licor digestores	2,904	0,1	2,61	0,1
Licor digestores	2,944	0,13	2,38	0,1
Licor digestores	3,081	0,22	2,74	0,1
Licor digestores	3,098	0,3	2,53	0,1
Prensas P-15	2,939	0,25	2,61	0,15
Prensas P-15	2,647	0,27	2,49	0,1
Prensas P-15	2,738	0,35	2,59	0,1
Prensas P-15	3,699	0,28	2,05	0,1
Prensas P-15	2,966	0,17	2,65	0,1
Prensas P-15	2,876	0,56	2,60	0,1
Prensas P-15	2,918	0,43	2,74	0,1
Prensas P-15	2,022	0,35	1,94	0,1
Prensas P-15	2,478	0,28	2,56	0,1
Prensas P-15	2,359	0,36	2,67	0,15
Prensas P-15	2,721	0,32	2,78	0,15
Prensas P-15	2,688	0,41	2,32	0,15
Prensas P-15	2,568	0,26	2,64	0,1
Prensas P-15	2,475	0,16	3,27	0,1
Prensas P-15	2,597	0,36	2,27	0,15
Prensas P-15	3,174	0,22	2,26	0,1
Prensas P-15	3,025	0,25	3,16	0,1
Prensas P-15	2,481	0,32	3,24	0,1
Prensas P-15	2,442	0,36	3,09	0,1
Prensas P-15	2,419	0,28	3,16	0,1
Prensas P-15	2,543	0,28	2,90	0,1
Prensas P-15	3,174	0,24	2,29	0,1
Prensas P-15	3,036	1,26	3,27	0,1
Prensas P-15	2,691	0,31	3,01	0,1
Prensas P-15	3,203	0,27	2,71	0,1
Prensas P-15	3,116	1,13	3,10	0,1

Centrifugas	2,399	0,34	3,12	0,15
Centrifugas	2,701	0,31	3,56	0,15
Centrifugas	2,782	0,29	3,25	0,15
Centrifugas	3,02	0,4	3,05	0,15
Centrifugas	1,162	0,32	4,47	0,15
Centrifugas	3,116	0,48	3,71	0,15
Centrifugas	2,61	0,41	4,78	0,15
Centrifugas	2,469	0,45	4,11	0,15
Centrifugas	2,288	0,37	4,67	0,15
Centrifugas	2,651	0,31	4,69	0,15
Centrifugas	2,338	0,28	4,40	0,15
Centrifugas	2,304	0,34	4,27	0,15
Centrifugas	1,997	0,31	5,31	0,15
Centrifugas	2,265	0,4	5,21	0,15
Centrifugas	2,485	0,35	4,26	0,15
Centrifugas	2,412	0,43	4,72	0,15
Centrifugas	2,221	0,32	4,44	0,1
Centrifugas	2,205	0,27	4,64	0,1
Centrifugas	2,187	0,43	4,59	0,1
Centrifugas	2,478	0,39	3,65	0,15
Centrifugas	2,431	0,32	3,67	0,2
Aceite producido seco	3,187	0,14	3,78	0,1
Aceite producido seco	3,101	0,18	3,56	0,1
Aceite producido seco	2,533	0,15	3,25	0,10
Aceite producido seco	2,532	0,12	3,59	0,10
Aceite producido seco	2,558	0,07	3,36	0,10
Aceite producido seco	2,794	0,09	3,41	0,10
Aceite producido seco	2,743	0,08	3,19	0,10
Aceite producido seco	2,784	0,12	3,28	0,10
Aceite producido seco	2,683	0,09	3,24	0,10
Aceite producido seco	2,844	0,09	3,27	0,10
Aceite producido seco	2,795	0,11	3,58	0,10
Aceite producido seco	2,933	0,07	3,62	0,10
Aceite producido seco	2,698	0,08	3,81	0,10
Aceite producido seco	2,733	0,08	3,75	0,10
Aceite producido seco	2,816	0,13	3,84	0,10