

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS

MENCIÓN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE HIDROGENACIÓN SOBRE LA
COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE PALMA HÍBRIDO
OXG (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*)**

Tesis

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS,
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Presentado por:

JUANA MARIA MUÑOZ ESPINO

Tingo María - Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA DE ALIMENTOS, MENCIÓN:
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
UPG-IA N° 001-2023

En la ciudad universitaria, siendo las 10:00 am del día lunes 14 de agosto del 2023, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE HIDROGENACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE PALMA HÍBRIDO OXG (*Elaeis Oleifer x Elaeis Guineensis*)"

A cargo de la candidata al Grado de Maestro en Ingeniería de Alimentos, mención: Ingeniería Agroindustrial: **Juana Maria Muñoz Espino**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 12:00 pm, el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Dr. Roberto Dávila Trujillo
Presidente

M.Sc. Pedro Vejarano Jara
Miembro

M.Sc. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro

Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Asesor



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 329 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:


Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE HIDROGENACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE PALMA HÍBRIDO OXG (Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis)	JUANA MARIA MUÑOZ ESPINO	18 % Dieciocho

Tingo María, 18 de diciembre de 2023


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Merlacho Mallea
DIRECTOR



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO, INVESTIGACIÓN
DOCENTE Y TESISISTA**

I. Datos Generales de Posgrado

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Escuela de posgrado	: EPG-UNAS.
Posgrado	: Maestría en Ingeniería de Alimentos
Mención	: Ingeniería Agroindustrial
Título de tesis	: Efecto de los parámetros de hidrogenación sobre la composición de los ácidos grasos del aceite de palma híbrido OxG (<i>Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis</i>)
Autor	: Juana Maria Muñoz Espino
Asesor de tesis	: Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Programa de investigación	: Ciencia y tecnología de alimentos.
Línea(s) de investigación	: Tecnología de aceites y grasas
Eje Temático	: Hidrogenación del aceite
Lugar de ejecución	: Laboratorios de Química orgánica y Bioquímica de la UNIA y el INIA ubicado en Pucallpa-Ucayali.
Duración	: Inicio : Junio 2020 Término : Junio 2022
Financiamiento	: FEDU : S/0.00 Propio : S/0.00 080-2018- : S/5,000.00 FONDECYT- BM-IADT-AV

Tingo María, Perú, diciembre 2023.

Juana Maria Muñoz Espino

Tesista

DEDICATORIA

Esta investigación le dedico con todo mi cariño y amor a mi amado esposo Ing. Mg. Manuel Chuyma por su sacrificio y esfuerzo incondicional, por apoyarme en la carrera para nuestro futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mis hijos Piero, Jairo y Lyam, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mis padres, quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis metas.

A los docentes que me inculcaron en la búsqueda del saber científico con carácter humanista, forjando en nosotros ese deseo de superación, instrumentos que nos permiten afrontar este mundo competitivo.

Juana Maria.

AGRADECIMIENTO

A DIOS todo poderoso y a la Virgen María por brindarme la oportunidad de obtener otro triunfo personal, y darme salud, sabiduría y entendimiento para lograr esta meta.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva en especial a la escuela de posgrado mención Ingeniería de alimentos, por brindarme lo mejor para mi formación como profesional.

A todos mis amigos y compañeros de la maestría, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta por su apoyo y valiosa colaboración.

A mis padres, familiares y amigos especiales que siempre estuvieron apoyándome de manera incondicional, muchas gracias por todo.

A mis docentes que me brindaron sus diversos conocimientos, especialmente del campo y temas a mi profesión.

Al proyecto de investigación por el CONCYTEC-PROCIENCIA bajo la convocatoria E041-2018-01-BM [Contrato N° 080-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV]

A mi Asesor de tesis Ing. Msc. Jaime Basilio Atencio, por su apoyo y sus consejos en las coordinaciones durante la elaboración y ejecución de la tesis.

Al Dr. Víctor Sotero Solis, Dra. Dora García de Sotero y la Ing. Úrsula Monteiro Temmerman, por su ayuda, dedicación, amabilidad demostrada y asesoramiento en cada momento de la ejecución de tesis.

Juana Maria.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. <i>Elaeis guineensis</i>	3
2.2. <i>Elaeis oleífera</i>	3
2.3. <i>Híbrido OxG</i>	3
2.3.1. Clasificación taxonómica.....	4
2.3.2. Características botánicas.....	4
2.4. Industria del aceite de palma.....	6
2.5. Aceites y grasas.....	6
2.5.1. Aceite de palma y su salud	6
2.5.2. Composición nutricional.....	7
2.5.3. Usos comestibles	7
2.6. Hidrogenación.....	7
2.6.1. Ácidos grasos.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Lugar de ejecución	11
3.2. Materia prima.....	11
3.3. Equipos, materiales de laboratorio y reactivos.....	11
3.3.1. Equipos	11
3.3.2. Materiales de vidrio y otros	12
3.3.3. Reactivos y solventes.....	12
3.4. Métodos de análisis.....	12
3.4.1. Análisis fisicoquímicos.....	12
3.4.2. Características fisicoquímicas y tecnológicas del aceite hidrogenado.....	15
3.5. Metodología experimental	16
3.5.1. Extracción y caracterización del aceite de palma híbrido OxG	16
3.5.2. Hidrogenación del aceite de palma híbrido OxG.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. Características del aceite de palma híbrido OxG antes de la hidrogenación.....	19
4.2. Características fisicoquímicas y tecnológicas del aceite hidrogenado	23
V. CONCLUSIONES	35
VI. PROPUESTAS A FUTURO	36
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Composición nutricional del aceite de palma.	7
Tabla 2. Características morfológicas del fruto OxG.....	19
Tabla 3. Características fisicoquímicas del aceite híbrido OxG.	20
Tabla 4. Valores normales para los diferentes análisis fisicoquímicos del aceite de palma.	20
Tabla 5. Composición de ácidos grasos del aceite híbrido OxG.....	22
Tabla 6. Rangos normales para el perfil de ácidos grasos en el aceite de palma.	23
Tabla 7. Valores normales para las características fisicoquímicas del aceite de palma.....	23
Tabla 8. Comparación múltiple de medias de Tukey para la densidad en el aceite hidrogenado.	24
Tabla 9. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de acidez en el aceite hidrogenado.....	26
Tabla 10. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de yodo en el aceite hidrogenado.	27
Tabla 11. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de saponificación en el aceite hidrogenado.	29
Tabla 12. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de refracción en el aceite hidrogenado.....	31
Tabla 13. Comparación múltiple de medias de Tukey para el punto de fusión en el aceite hidrogenado....	32
Tabla 14. Comparación del perfil de ácidos grasos en el aceite de palma hidrogenado.	33
Tabla 15. Composición de ácidos grasos en el aceite híbrido OxG hidrogenado.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Lugar de ejecución del proyecto de investigación hidrogenación del aceite hibrida OxG. .	11
2. Representación del flujo en la hidrogenación del aceite hibrida OxG.	18
3. Diseño experimental para la hidrogenación del aceite de palma OxG.....	18
4. Interacción de los factores para la densidad en el aceite hidrogenado.	25
5. Interacción de los factores para el índice de acidez en el aceite hidrogenado.....	26
6. Interacción de los factores para el índice de yodo en el aceite hidrogenado.....	28
7. Interacción de los factores para el índice de saponificación en el aceite hidrogenado.	30
8. Interacción de los factores para el índice de refracción en el aceite hidrogenado.....	31
9. Interacción de los factores para el Punto de fusión.	33

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de los parámetros de hidrogenación sobre la composición de los ácidos grasos del aceite de palma híbrido OxG; los frutos fueron recolectadas en la estación experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ubicado en el Km 44 de la Carretera Federico Basadre, Ucayali y analizados en los laboratorios de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. Se seleccionaron los frutos por su estado de madurez, posteriormente se realizó la caracterización del fruto y la extracción del aceite e hidrogenación a temperaturas de 125, 150 y 175 °C por los tiempos de 30 y 60 minutos y presiones de 1 y 3 Atm, y los diferentes análisis fisicoquímicos en el aceite hidrogenado. Se aplicó un DCA con arreglo factorial 3x2x2. Los datos fueron procesados con el programa STATGRAPHICS Centurión XV. El punto de fusión cumplió con los requisitos establecidos, mientras que los ácidos grasos se vieron afectados por la hidrogenación del aceite de palma híbrido OxG siendo el ácido Oleico el que cumplió con lo requerido por las normas técnicas establecidas. Asimismo, en los diferentes análisis del aceite hidrogenado, T₃ fue el mejor tratamiento en densidad con una media de $0,92 \pm 0,01$ g/cm³; T₃ y T₈ para el índice de acidez ($0,633 \pm 0,057\%$); T₁ para índice de yodo con una media de $41,0 \pm 3,60$ g I/100 g aceite; para el índice de saponificación los mejores tratamientos fueron T₁, T₂ y T₃ con una media de $187,667 \pm 0,577$ mg KOH/g; para el índice de refracción T₁ con una media de $1,46 \pm 0,002$; para el punto de fusión T₆, T₇ y T₈ cumplen con los requisitos del CODEX ALIMENTARIUS.

Palabras claves: Palma aceitera, aceite híbrido, punto de fusión, ácidos grasos.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effect of the hydrogenation parameters on the composition of the fatty acids of the OxG oil palm hybrid. The fruit was collected at the Instituto Nacional de Innovación Agraria's experimental station (INIA – acronym in Spanish), located at kilometer 44 on the Federico Basadre highway in Ucayali, [Peru], and analyzed at the Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía's laboratories. The fruit was selected by its state of maturity, [where] a characterization was done later, and [then] the oil was extracted and hydrogenated at temperatures of 125, 150, and 175 °C, for times of thirty and sixty minutes, at pressures of 1 and 3 Atm; the different physicochemical analyses of the hydrogenated oil [were done]. A CRD (DCA in Spanish) with a factorial arrangement of 3x2x2 was applied. The data was processed using the STATGRAPHICS Centurion XV program. The fusion point complied with the established requirements, while the fatty acids were affected by the hydrogenation of the OxG oil palm hybrid, with the oleic acid being that which complied with the requirements of the established technical standards. At the same time, for the different analyses of the hydrogenated oil, T₃ was the best treatment for the density, with an average of 0.92 ± 0.01 g/cm³; T₃ and T₈ [were the best] for the acidity index ($0.633 \pm 0.057\%$); and T₁ [was the best] for the iodine index with an average of 41.0 ± 3.60 g I/100 g oil. For the saponification index, the best treatments were T₁, T₂, and T₃ with an average of 187.667 ± 0.577 mg KOH/g; for the refraction index, T₁ [was the best] with an average of 1.46 ± 0.002 ; and for the fusion point, T₆, T₇, and T₈ complied with the Codex Alimentarius requirements.

Keywords: oil palm, oil hybrid, fusion point, fatty acids.

I. INTRODUCCIÓN

La palma aceitera es una especie comúnmente cultivada y dispersada en nuestra zona debido a los aceites que se encuentran en sus frutos. Debido al fuerte aumento de la producción mundial de aceite de palma en los últimos años, la industria de aceites y grasas ha cobrado interés. En el aceite de palma crudo, que se obtiene del mesocarpio fresco del fruto de la palma, hay una pequeña cantidad de ingredientes no deseados y contaminantes, como fibras del mesocarpio, ácidos grasos libres (FFA), fosfolípidos, metales traza, productos de oxidación y compuestos odoríferos. Por lo tanto, como consecuencia, el aceite de palma normalmente se refina para obtener un producto estable, que puede utilizarse para consumo directo o para formulación de productos comestibles (Barison, 2005).

El papel que desempeñan las grasas y los aceites en la dieta de una persona es importante, y además contribuyen a hacer los alimentos más apetecibles. La existencia de redes cristalinas que se hunden en grasas y aceites mejora notablemente la textura, la estabilidad y la aceptación de los productos alimenticios grasos. Como resultado, el producto de aceite de palma y sus derivados (oleína de aceite de palma y estearina de aceite de palma) se están convirtiendo en una materia prima esencial y una opción competitiva para los fabricantes de alimentos en la fabricación de ácidos grasos como margarinas, mantecas y grasas para freír (Pantzaris, 2000).

Según Mondragón y Pinilla (2015), el aceite que se produce contiene alta concentración de ácido oleico, que es considerado como cardioprotector. La producción de productos primarios sigue siendo una situación, que no permite el desarrollo industrial del país, es por eso que, en cuanto a la industria oleaginosa, el Perú, cuenta con suficientes recursos materiales y técnicos como para llegar a industrializar los aceites y obtener productos terminados y estar en condiciones de comercializarlos a nivel nacional e internacional. En la actualidad solo se está produciendo y comercializando el aceite de palma sin refinar, y se requiere una planta que realice los procedimientos hasta la Inter esterificación a gran escala para alimentar a la industria de grasas y aceites.

Conociendo las buenas características físicas del aceite hidrogenado por lo que la producción de este híbrido se incrementaría; en este contexto, se establecieron los siguientes objetivos para la investigación:

- Evaluar las características del aceite de palma híbrido OxG antes de la hidrogenación.
- Evaluar los ácidos grasos en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado.
- Evaluar las características fisicoquímicas y tecnológicas del aceite de palma híbrido OxG hidrogenado a diferente temperatura, tiempo y presión.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Elaeis guineensis*

El fruto conocido como palma africana, comúnmente llamada palma de aceite, es originario de las costas occidentales de África, concretamente del golfo de Guinea. Fue introducido a Norteamérica en el siglo XVI y posteriormente, por la United Fruit Company, en 1945, en el departamento de Magdalena (Aguilera-Díaz, 2002).

En la actualidad, se cultivan 450131 hectáreas, lo que sitúa a Colombia en el quinto puesto mundial en términos de producción y superficie de cultivo, mientras que Malasia, Indonesia, Tailandia y Nigeria representan el 80% de la superficie cultivada y el 81,7% de la producción mundial, respectivamente, (Yusoff, 2006; Sumathi et al. 2008; Shuit et al. 2009).

Las regiones oriental, central y septentrional de Colombia, donde hay más explotaciones de palma, son las que producen más aceite y tienen más zonas de sombra. Las ciudades productoras del Caribe, que representaron aproximadamente el 32% de la producción total en 2013, aportan una parte considerable de la producción nacional de aceite. (González et al. 2015). Los mayores beneficios potenciales de los subproductos de la palma también se concentran en estas zonas.

2.2. *Elaeis oleífera*

Su importancia en la industria agrícola se debe a su aceite rico en grasas insaturadas y a su tolerancia a la pudrición del Cogollo (PC). El híbrido interespecífico *E. Oleífera x E. guineensis* puede cruzarse con la palma aceitera africana (*Elaeis guineensis* Jacq), que es la mejor forma de combatir el principal riesgo sanitario del cultivo de oleaginosas con mayor producción mundial.

La pérdida de hábitat, sobre todo en las zonas caribeña y andina de Colombia, ha provocado la extinción de la especie *E. oleífera*. La población ha disminuido más de un 50% en los últimos 60 años. (Galeano et al. 2015).

2.3. *Híbrido OxG*

La plantación de los cultivares híbridos OxG (*Elaeis oleífera x Elaeis guineensis*), que se caracterizan por su resistencia a esta enfermedad, se ha visto impulsada por problemas

fitosanitarios, como la pudrición del cogollo (CBD), en regiones plantadas con *Elaeis guineensis*. En términos de producción de aceite, los cultivares híbridos se diferencian de los cultivares de *E. guineensis* por tener una tasa de extracción menor cuando se someten a polinización natural. La escasa producción de inflorescencias masculinas, la baja viabilidad y germinabilidad del polen y la presencia de brácteas pedunculares que bloquean la entrada de polen contribuyen a una baja polinización natural, lo que a su vez se traduce en un pobre cuajado de los frutos, que en última instancia se expresa en una disminución de su tamaño y peso. En consecuencia, la polinización asistida en la palma aceitera híbrida (OxG) es esencial. Si se realiza correctamente, dará lugar a que se polinicen más flores, lo que aumentará la cantidad de aceite en los racimos e impulsará la producción de la agroindustria. (Fedepalma, 2017).

2.3.1. Clasificación taxonómica

CENIPALMA (2005) clasifica a la palma aceitera de la siguiente manera:

Clase	:	Liliopsida
Orden	:	Arecales
Familia	:	Arecaceae
Sub familia	:	Arecoideae
Tribu	:	Cocoeae
Género	:	Elaeis
Especie	:	<i>Elaeis Guineensis</i> <i>Elaeis Oleífera</i> <i>Elaeis Odora</i>

2.3.2. Características botánicas

Ortiz y Fernández (2000) describen las siguientes características botánicas:

Raíces: La parte inferior del tallo de la palma aceitera puede dar lugar a hasta 10.000 raíces pivotantes. Estas raíces pueden alcanzar hasta 20 m de longitud y un diámetro de 5 a 10 mm. Las raíces primarias actúan principalmente como anclas y se desarrollan ladera abajo o más o menos horizontalmente. Las raíces primarias producen raíces secundarias de entre 2 y 5 mm de diámetro, que a su vez producen raíces terciarias de entre 1 y 2 mm de diámetro que pueden crecer hasta 15 cm de largo, así como raíces cuaternarias muy diminutas.

Estipe o estípite: Se distingue por el tronco en forma de cono invertido durante los tres primeros años de existencia. Su base presenta múltiples líneas radicales adventicias, mientras que su ápice genera hojas. A partir de ahí, el tronco sigue desarrollándose a medida que surgen las hojas, alcanzando alturas de 15 a 20 m con un diámetro variado de 30 a 50 cm. El punto de crecimiento solitario, o meristemo apical, de la palma aceitera está situado en el centro del tronco y produce de 30 a 40 hojas nuevas cada año.

Hojas: La fuente del follaje son los primordios foliares de la parte superior del árbol, de los que surgen las hojas y las inflorescencias. Cada una de las 30 a 40 hojas de una palmera adulta puede alcanzar una longitud máxima de 5 a 7 metros y pesar entre 5 y 8 kilogramos. El cultivo de las palmeras depende en gran medida de la disposición de las hojas en el tallo, o "filotaxia". Se utilizan dos disposiciones en espiral de las hojas, una que va de derecha a izquierda con cinco hojas intercaladas y otra que va de izquierda a derecha con ocho hojas espaciadas verticalmente entre ellas.

Inflorescencias: Las flores masculinas y femeninas siempre crecen de forma independiente a lo largo del tiempo en la misma planta porque la palma aceitera es monoica. En las axilas de las hojas es donde se crean las inflorescencias masculinas y femeninas. Las primeras inflorescencias aparecen entre 20 y 24 meses después de plantar la planta y, a partir de ese momento, suele desarrollarse una inflorescencia por cada hoja que se genera. La inflorescencia masculina está formada por un eje central alto, o pedúnculo, y unas 100 espigas en forma de dedo de 10-20 cm de longitud. El polen lleva impregnado un agradable aroma a anís. La inflorescencia femenina, por su parte, es un racimo globoso protegido en la base por entre cinco y diez brácteas rígidas y puntiagudas que pueden alcanzar los 15 cm de longitud y están rematadas al principio por dos espigas coriáceas.

Racimos y frutos: El racimo puede adoptar diversas formas. Normalmente mide 50 cm de largo por 35 cm de ancho y tiene forma ovalada. La edad y la composición genética influyen en la cantidad de fruta que se produce en cada racimo. En las palmeras inmaduras, el peso por racimo puede oscilar entre 2 y 3 kilos y hasta 100 kilos. Un raquis central, espiguillas, frutos normales, partenocárpicos y abortivos componen el racimo. El fruto es una drupa ovoide, sésil, de color oscuro o negro cuando es joven y carmesí cuando madura. Las cualidades de la fruta son especialmente notables desde el punto de vista económico. El peso medio y la cantidad total de racimos influyen en la producción anual de

racimos. El rendimiento total se compone de estos elementos y del porcentaje de extracción de aceite.

2.4. Industria del aceite de palma

Elaeis guineensis, o aceite de palma crudo, es una harina grasa rica en carotenoides, en particular β -caroteno y caroteno, precursores de la vitamina A y directamente asociados a sus efectos antirradicales libres. Para ser utilizado con otros fines, este aceite debe ser refinado, lo que hace que se pierdan algunas de sus cualidades naturales (Bustamante, 2001).

Debido a los procedimientos actuales de refinado no moderado, no se pueden conservar al máximo los antioxidantes naturales que se encuentran en el aceite de palma crudo, como los tocoferoles, los tocotrienoles y los carotenos, que ayudan a evitar la oxidación del aceite y ofrecen así al alimento una mayor calidad nutritiva (Bustamante, 2001).

2.5. Aceites y grasas

Según Etsia (2003), Las grasas se dividen en tres categorías: animales, vegetales y mezclas. Los productos animales contienen una gran variedad de grasas: saturadas (como el sebo de vacuno), poliinsaturadas (de origen marino), insaturadas (como la grasa de ave), moderadamente insaturadas (como la manteca de cerdo) y mezclas de todas ellas. En cuanto a las grasas vegetales, algunos aceites como los de girasol, maíz y soja son más insaturados que otros como los de oliva, palma y coco. Las mezclas de grasas y subproductos industriales, que utilizan la grasa como principal materia prima, son una tercera clase de lípidos cada vez más comunes. Esta categoría incluye los destilados del sector del glicerol y los ácidos grasos, así como oleínas, lecitinas, grasas de fritura, subproductos industriales, etc. En la evaluación deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Calidad química intrínseca (contenido de humedad, contaminantes, insaponificables, peróxidos, fracción no eludible, polímeros de ácidos grasos, compuestos extraños, tóxicos, etc.).
- Composición y nutrición (contenido energético básico, porcentaje de triglicéridos, composición y contenido de ácidos grasos esenciales, etc.).

2.5.1. Aceite de palma y su salud

Las lipoproteínas de baja densidad y el colesterol total disminuyen gracias a las propiedades del ácido palmítico. En el aceite de palma, los ácidos grasos saturados e

insaturados coexisten en una proporción 1:1. Los tocoferoles, una forma de antioxidante natural, también están presentes. Se han realizado numerosas investigaciones sobre los efectos del consumo de aceite de palma en los perfiles lipídicos, la trombosis vascular y el cáncer en las personas (FAO, 2006).

2.5.2. Composición nutricional

La FAO (2006) menciona por cada 100 g de parte comestible, hay que interpretar la composición nutricional del aceite de palma:

Tabla 1. Composición nutricional del aceite de palma.

Componentes	Cantidad
Hierro	0,01 g
Calor	884 kcal
Agua	0,00 g
Cenizas	0,00 g
Grasas	100,00 g
Vitamina E	15,94 mg
Proteína	0,00 g
Calcio	0,00 g
Carbohidratos	0,00 g
Fósforo	0,00 mg
Fibra	0,00 g

Fuente: FAO (2006).

2.5.3. Usos comestibles

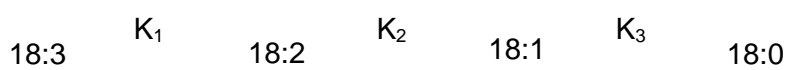
El segundo aceite más popular del mundo es el de palma. Además de utilizarse como aceite para freír, se emplea para fabricar helados, sopas instantáneas, salsas, diferentes platos congelados, productos secos y cremas no lácteas para mezclar con el café (FAO, 2006).

2.6. Hidrogenación

Las cadenas de ácidos grasos que forman los dobles enlaces de la sustancia reciben hidrógeno para generarlo. Un proceso importante en la industria de aceites y grasas consiste en convertir los aceites en grasas semisólidas o plásticas, lo que aumenta su estabilidad oxidativa

(Nawar, 1996). El catalizador más utilizado está hecho de níquel, que se suspende en una grasa totalmente hidrogenada, normalmente aceite de soja o de palma, y se apoya en tierras naturales como la tierra de diatomeas. En este caso, el níquel representa entre el 20% y el 25% de la masa (Willis et al. 1998).

Según Allen (1982) los procesos de hidrogenación irreversibles de primer orden tienen las siguientes expresiones:



Donde los ácidos linolénico, linoleico y oleico se hidrogenan a velocidades de k_1 , k_2 y k_3 , respectivamente. Se denomina selectividad linoleica (Sl) a la relación k_2/k_3 , que debe ser alta, superior a 30, para producir moléculas monoenoicas con menor producción de ácido esteárico. La selectividad linolénica (Sln) está representada por la relación k_1/k_2 . Una Sln alta se traduce en una producción elevada de moléculas dienoicas (Allen, 1982; Hoffman, 1989).

La tecnología más utilizada en los aceites comestibles es la hidrogenación de los aceites vegetales. Durante este proceso se eliminan o saturan los dobles enlaces de los triglicéridos que los componen. Los catalizadores de níquel más populares (20-25%) para esta aplicación suelen estar soportados sobre materiales con áreas superficiales elevadas, como la sílice o la alúmina. Cuando se utilizan catalizadores basados en metales nobles, las condiciones de reacción suelen ser moderadas y dependen del tipo de aplicación (grado de saturación del producto) (Fernández et al. 2009). Mientras que la concentración de catalizador oscila entre el 0,03 y el 0,1%, la presión puede oscilar entre 1 y 20 bares, lo que afecta directamente a la selectividad del producto y a la actividad catalítica. En los sistemas discontinuos, la agitación es una variable relevante a tener en cuenta porque la hidrogenación comprende tres fases (sólida, líquida y gaseosa), y con frecuencia se utilizan velocidades de agitación entre 400 y 2000 rpm (Gunstone et al. 2007).

En la industria textil, las grasas hidrogenadas se utilizan con frecuencia como aditivos de recubrimiento para recubrir compuestos de fibras y como lubricantes (Seydel y Hunt, 1972). El aceite de girasol puede hidrogenarse selectivamente (utilizando un 25-30% del isómero C18:1) para producir lubricantes que incluyan al menos un 80%-88% de ácido cis-oleico y tengan una gran estabilidad a la oxidación, evitando la polimerización (Nohair et al.,

2005). En los compuestos para pulido de metales, una combinación de grasas hidrogenadas y grasas o aceites no hidrogenados puede crear una pasta que puede utilizarse como base del material abrasivo del compuesto. En ocasiones, estas sustancias se infunden en almohadillas de pulido que pueden utilizarse con pulidoras mecánicas. En la elaboración del cuero pueden utilizarse diversas grasas, como aceite de pata de buey, aceite de cerdo, sebo, aceite de pollo, aceite de pescado y algunos aceites vegetales. Dependiendo de la aplicación, los artículos de cuero terminados deben ser razonablemente suaves y flexibles después del proceso, pero no deben tener una superficie grasienta. Además, la grasa ofrece cierta resistencia al agua. Los aceites ideales para este uso son los parcialmente saturados, y las grasas fundidas son las mejores por su alto nivel de saturación natural. Otros aceites menos saturados son menos adecuados para este uso (Fereidoon, 2005).

Dado que la saturación de dobles enlaces inhibe las reacciones secundarias desfavorables que dan lugar a la creación de hidrocarburos más ligeros, los aceites vegetales hidrogenados también son cruciales en el desarrollo de biocombustibles basados en parafinas (Kovács et al. 2011).

En la industria alimentaria, algunas de las insaturaciones presentes en las moléculas de triglicéridos, que suelen tener una configuración *cis*, se convierten en una configuración *trans* durante la hidrogenación (FAO, 2008). Se ha demostrado que el consumo de alimentos ricos en ácidos grasos *trans* (AGT) eleva los niveles de colesterol de lipoproteínas de baja densidad al tiempo que reduce los niveles de colesterol de lipoproteínas de alta densidad, lo que aumenta el riesgo de desarrollar cardiopatías coronarias. Las condiciones exactas y los catalizadores que intervienen en la reacción determinarán cómo ocurre esto (Mensink y Katan, 1990). Por ello, se han realizado numerosos estudios para reducir el contenido de AGT de los productos de hidrogenación de aceites comestibles (Babae et al., 2007). Se ha demostrado que el descenso de la temperatura y el aumento de la presión durante la hidrogenación tienen un impacto positivo en la limitación de la creación de la configuración *trans*.

2.6.1. Ácidos grasos

Los ácidos grasos constituyen aproximadamente el 90-96% del peso molecular de las moléculas de triglicéridos. Los ácidos grasos pueden encontrarse en la naturaleza como moléculas independientes o como componentes de lípidos, que son compuestos mucho más grandes y complejos. Los ácidos grasos libres están formados por un

grupo carboxilo y una cadena hidrocarbonada (R), representada por R-COOH (Martín y Molina, 2010).

Las características de la cadena hidrocarbonada, como el número de átomos de carbono y la presencia de insaturaciones, permiten reconocer unos ácidos grasos de otros. Esta cadena puede ser saturada, monoinsaturada (con un doble enlace) o poliinsaturada (con dos o más dobles enlaces) y tener una longitud de entre cuatro y veinticuatro átomos de carbono. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, los ácidos grasos monoinsaturados de 18 carbonos ácido oleico y ácido esteárico, así como los ácidos linolénico y linoleico de dos y tres enlaces dobles de 18 carbonos. Los ácidos grasos insaturados con efectos particulares en los seres vivos se conocen como ácidos grasos esenciales. Estos ácidos grasos deben obtenerse a través de la dieta porque el cuerpo humano es incapaz de producirlos. Los ácidos grasos de la serie n-6, derivados del ácido cis linoleico (C 18:2), y los de la serie n-3, derivados del ácido α -linolénico (C 18:3), son los dos tipos diferentes de ácidos grasos importantes (Martín y Molina, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en la estación experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ubicado en el Km 44 de la Carretera Federico Basadre, Ucayali con coordenadas 8°32'23''S 74°52'32''W a 215 msnm y en los laboratorios de Química orgánica y Bioquímica de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA) en el distrito de Yarinacocha, carretera San José km 0,5, Puerto Callao, con coordenadas 8°20'53''S 74°35'27''W a 153 msnm.



Figura 1. Lugar de ejecución del proyecto de investigación hidrogenación del aceite híbrida OxG.

3.2. Materia prima

Las muestras de la palma híbrido OxG fueron obtenidas de la estación experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ubicado en el Km. 44 de la Carretera Federico Basadre región Ucayali, teniendo en cuenta el estado de madurez del fruto de palma.

3.3. Equipos, materiales de laboratorio y reactivos

3.3.1. Equipos

Reactor Parr, Presión de ajuste 22 Mpa, Temperatura de ajuste 350°C, Velocidad de agitación 50-1 000 Rpm, Capacidad 1L, Potencia de calefacción 1,5 kw, Potencia

de calefacción 1,5 kw, Calefacción eléctrica, Válvula de entrada de gases de acero inox. Válvula de salida de gas, Válvula de salida de líquidos, Agujero de medición de Temperatura, Medidor de alta presión, Válvula de seguridad, Dispositivo de control). Balanza analítica Sartorius modelo ENTRIS224I-1S). Estufa Memmert T° máx. 300°C modelo UF30 PLUS. Equipo soxhlet Gerhardt. Cocinas Euro-sun. Equipo de titulación de ácido base. Baño maría marca AKMLAB.

3.3.2. Materiales de vidrio y otros

Placas petri; pipetas; luna de reloj; vasos de precipitación de 5 mL, 50 mL, 100 mL, 500 mL, 1000 mL; pinzas; desecador (campana de vidrio); tubos capilares; parafilm; pipetas volumétricas de 10 mL y 50 mL, marca Brand; probetas graduadas de 50 mL y 100 mL; micropipetas; fiola volumétrica de 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL, 1000 mL; picnómetro; embudos; puntas para micropipetas; papel aluminio; papel filtro N°40; papel toalla.

3.3.3. Reactivos y solventes

Níquel al 1% marca Unichema Chemie; alcohol (C₂H₆₀) al 96%; fenolftaleína al 1% marca Scharlau, éter de petróleo marca Biopack, ácido clorhídrico al 0,5N marca Merck, ioduro de potasio al 15% marca ICN Biomedicals Inc., hidróxido de potasio al 0,1N marca Scharlau, hexano marca Baker analyzed; reactivo de wijs al 0,1N marca Biopack; ácido clorhídrico al 0,5N marca; tiosulfato de sodio al 0,1N marca Biopack; cloroformo marca Biopack.

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Análisis fisicoquímicos

Los análisis de Gravedad específica, Índice de acidez, Humedad, índice de yodo, índice de saponificación y refracción se realizaron por el método descrito por Infantes (2014):

– Gravedad específica

Con ayuda de una balanza analítica, se pesó el picnómetro vacío (P0), previamente desecado y secado en estufa. Utilizando una balanza analítica, el picnómetro se pesó con agua destilada (P1) a 20 °C. Utilizando una balanza analítica, se pesaron el picnómetro con la muestra de aceite (P2) a 20 °C.

Los pesos obtenidos se sustituyeron en la fórmula siguiente:

$$\textit{Gravedad específica} = \frac{P2 - P0}{P1 - P0}$$

– Índice de acidez

Consiste cuando se hidrolizan los triacilglicéridos, se crean ácidos grasos libres en la muestra, y este procedimiento implica contar cuántos de ellos están presentes. Este valor está representado por la cantidad de ácidos grasos libres (en gramos) presentes en 100 gramos de grasa.

Se llenó un vaso Erlenmeyer de 125 mL con una muestra que pesaba $5 \pm 0,2$ g.

Se calentaron 50 mL de alcohol que previamente se había neutralizado con 2 gotas de fenolftaleína. Se tituló con KOH 0,1 N hasta conseguir un color rosa pálido. Se tomó nota del gasto y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\textit{Índice de acidez} = \frac{G \times N \times 56,1}{W}$$

Dónde:

G = Gasto de KOH

N = Normalidad del KOH

W = Peso de la muestra en gramos

– Humedad y materia volátil

La muestra de aceite se calentó al vacío para conservar el aceite, y la prueba se basó en la pérdida de peso del aceite hasta alcanzar un peso constante debido a los diferentes puntos de ebullición del aceite, el agua y los productos químicos volátiles. Los pasos fueron los siguientes:

Utilizando unas pinzas para sujetar firmemente la muestra, se pesaron $5 \pm 0,2$ g de la misma en una placa de Petri que ya había sido tarada. La muestra se secó durante dos horas a 30°C en un horno hasta alcanzar un peso constante. Tras enfriar durante 30 minutos en un desecador, se pesó la muestra. Posteriormente se reportó el % de pérdida de peso como humedad y materia volátil.

$$\% \textit{ de humedad y materia volátil} = \frac{\textit{Pérdida de peso} \times 100}{\textit{Peso de muestra}}$$

– Índice de yodo

Es un indicador del grado de insaturación de los ácidos grasos que componen el aceite o la grasa.

Se llenó un matraz Erlenmeyer tapado con 0,1 a 0,5 g de aceite, 20 mL de tetracloruro de carbono y 25 mL de reactivo de Wijs. En un lugar oscuro se dejó reposar por 30 minutos. Se combinaron y mezclaron 100 mL de agua destilada y 20 mL de una solución de yoduro potásico al 15%.

Se valoró con solución de tiosulfato sódico 0,1 N utilizando 0,5 mL de almidón como indicador hasta que desapareció el tono azul. El ensayo en blanco se realizó simultáneamente.

El cálculo fue el siguiente:

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(B - M) \times N \times 12,69}{W}$$

Dónde:

B = mL de la solución de tiosulfato en el blanco

M = mL de solución de tiosulfato en la muestra

W = Peso de la muestra en gramos

N = Normalidad de la solución de tiosulfato

– Índice de saponificación

Es la cantidad de hidróxido de potasio en miligramos necesaria para saponificar completamente un gramo de grasa, el proceso es el siguiente:

Se pesó 1 g de aceite en un Erlenmeyer de 250 mL. Con una pipeta se añadió 5 mL de una solución de hidróxido de sodio 50% y 7 mL de alcohol al 95%. Se conectó un condensador y se calentó hasta la saponificación completa en un baño de agua durante 30 minutos, a continuación, se enfrió la mezcla y se utilizó fenolftaleína como indicador al valorarla con una solución de HCl 0,5 N. Se observó un viraje en el color de la muestra.

Con sólo 50 mL de una solución alcohólica de hidróxido potásico al 50% se tituló y se identificó el blanco. Los datos obtenidos se reemplazaron en la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(A - B) \times (C * D)}{E}$$

Dónde:

A = mL de HCl gastados en el blanco

B = mL de HCl gastados en la muestra

C = Normalidad del HCl (0,5N)

D = Peso equivalente del KOH (56,1)

E = Peso de la muestra en gramos

– Índice de refracción

Cuando un haz luminoso atraviesa la sustancia a examinar, mide el cambio de dirección que experimenta el haz luminoso. Estos pasos se utilizaron para determinar el análisis utilizando un refractómetro ABBE:

En la plataforma de muestras, se aplicaron dos gotas del aceite limpio (centrifugado) a 20 °C. Así, el espejo se utilizó para controlar la intensidad de la luz, por último, se realizó la medición visual con el ocular del instrumento.

3.4.2. Características fisicoquímicas y tecnológicas del aceite hidrogenado

Los análisis de punto de fusión y ácidos grasos se evaluaron antes y después de la hidrogenación del aceite según lo descrito por Sotero-Solís et al. (2001):

– Punto de fusión

Se utilizó un capilar de vidrio con un diámetro interno de 1 mm para contener la muestra, que se mantuvo entre 4 y 10 °C durante 16 horas antes de sumergirla en un baño de agua y aumentar la temperatura a un ritmo de 0,5 °C/min. Mediante una rápida inspección visual de la muestra y anotando la temperatura a la que se volvió completamente translúcida, se determinó el punto de fusión (PM) del material.

– Ácidos grasos

En un tubo de ensayo se introdujo aproximadamente 50 mg de aceite, se agregó aproximadamente 2,5 mL de éter de petróleo y agitó en un Vórtex hasta que se disuelva,

luego se agregó alrededor de 0,25 mL de NaOH 2N en metanol, después se agitó vigorosamente en un Vórtex por 10 segundos, seguidamente se sumergió en baño maría a aproximadamente 50°C durante 20 segundos, luego se agitó por 10 segundos en Vórtex. Se agregó alrededor de 0,30 mL de HCl 2N en metanol, se agitó y luego esperó hasta que se separen las dos fases. Se separó la fase del éter de petróleo que contiene los ácidos grasos metilados con ayuda de una pipeta, y se introdujo en un vial de vidrio. Se colocó el vial en el Autosampler del cromatógrafo de gases y programó el equipo, finalmente para la cuantificación de los ácidos grasos metilados se realizó mediante el software del equipo; y se reportó como porcentaje relativo.

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Extracción y caracterización del aceite de palma híbrido OxG

La extracción del aceite se realizó según el método descrito por Valencia (2018) y la caracterización del aceite de palma con el método descrito por Infantes (2014).

Se utilizaron frutos de palma aceitera híbrido OxG que fueron recolectados de la estación experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ubicado en el Km 44 de la Carretera Federico Basadre; luego se trasladaron a la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía para su respectiva extracción de aceite y análisis.

El Manual Internacional de Métodos Oficiales de Análisis (AOAC) recomienda utilizar 50 g de pulpa y cáscara de fruta de palma para cada serie cuando se utiliza el método Soxhlet para extraer aceite. Una vez instalado el aparato Soxhlet y conectado a una fuente de calor constante con una temperatura controlada y fija, se colocaron la pulpa y la piel de la fruta de palma en la cámara Soxhlet, después se agregó el solvente hexano a través del condensador hacia la recámara Soxhlet y luego cae en el balón aforado, con el fin de empezar la destilación, el hexano sube como vapor por el ascensor de vapores hasta el condensador. La pulpa y la cáscara se combinaron con el hexano al volver a la cámara Soxhlet. El disolvente y el aceite extraído volvieron al balón volumétrico para iniciar el proceso de destilación cuando la solución alcanzó el nivel. La solución resultante se sacó del aparato Soxhlet después de 16 a 18 horas, se transfirió a un vial de decantación, se añadieron 10 mL de hexano para la extracción de aceite puro y se agitó el vial para liberar la presión. El siguiente paso fue obtener aceite, agua y hexano (que retiene el aceite para ayudar a separarlo en una fase oleosa del agua). A continuación, se añadió, se decantó en el vaso de precipitados utilizando papel de filtro de tres a ocho veces, y sulfato de sodio anhídrido. Se trasladó a los recipientes para someterlos a calor

y evaporar el hexano que retiene el aceite, la muestra con un porcentaje de hexano, el cual debe ser extraído y se colocó al horno a 70 °C para evaporarlo en su totalidad y así obtener una muestra libre de solvente.

Luego de obtener el aceite de palma híbrido OxG libre de solvente se realizaron los respectivos análisis fisicoquímicos como gravedad específica, índice de acidez, humedad, índice de yodo, índice de saponificación y de refracción.

3.5.2. Hidrogenación del aceite de palma híbrido OxG

La hidrogenación del aceite de palma híbrido OxG se realizó en un reactor Parr de 1 L, según el método descrito por Sotero-Solís et al. (2001).

Utilizando aceite de palma híbrido OxG, se llevaron a cabo tres procesos de hidrogenación en un reactor Parr de 1 L con agitación y un serpentín de refrigeración interno a las siguientes temperaturas: 175 °C a 3 atm/60 min (GH₁), 150 °C a 1 atm/30 min (GH₂) y 125 °C a 1 atm/30 min (GH₃).

Al principio, se bombeó aceite fresco en buen estado al reactor, donde se llevó a cabo la reacción en un sistema trifásico (hidrógeno, aceite y catalizador). Una vez que la combinación alcanzó la temperatura adecuada, se evacuó la parte superior del reactor para eliminar cualquier gas que pudiera interferir en la reacción. El catalizador se inyectó para crear una suspensión después de que el reactor se hubiera apagado y se estuviera agitando. Esta reacción exotérmica se produce en ausencia de aire y bajo presión. Se inyecta el gas hidrógeno y comienza la reacción una vez transcurrido el periodo de agitación y alcanzada la temperatura adecuada. El tamaño y la velocidad del agitador serán factores cruciales en este proceso, ya que las tres fases deben estar en estrecho contacto y sólo el hidrógeno disuelto estará disponible para la reacción. Como se indica en el diagrama siguiente, una vez finalizado el proceso reactivo, el aceite se enfría y se filtra para eliminar el catalizador, que suele ser níquel y puede volver a utilizarse (Figura 2).

Después de haber obtenido el aceite hidrogenado se realizaron los análisis fisicoquímicos y con los mejores resultados se procedió a determinar el de punto de fusión y ácidos grasos.

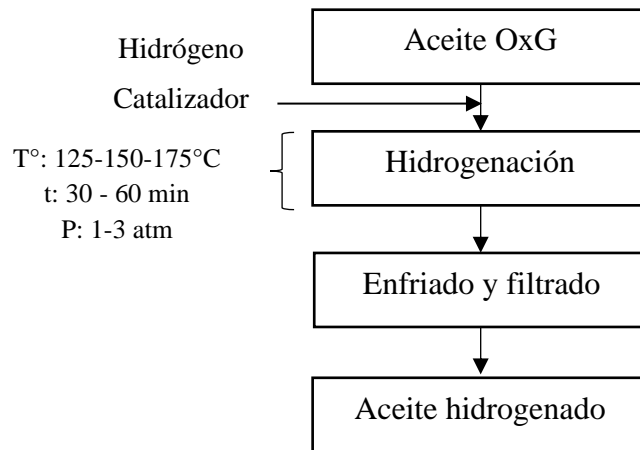


Figura 2. Representación del flujo en la hidrogenación del aceite híbrido OxG.

En la Figura 3 se aprecia el diseño experimental para la hidrogenación del aceite híbrido OxG.

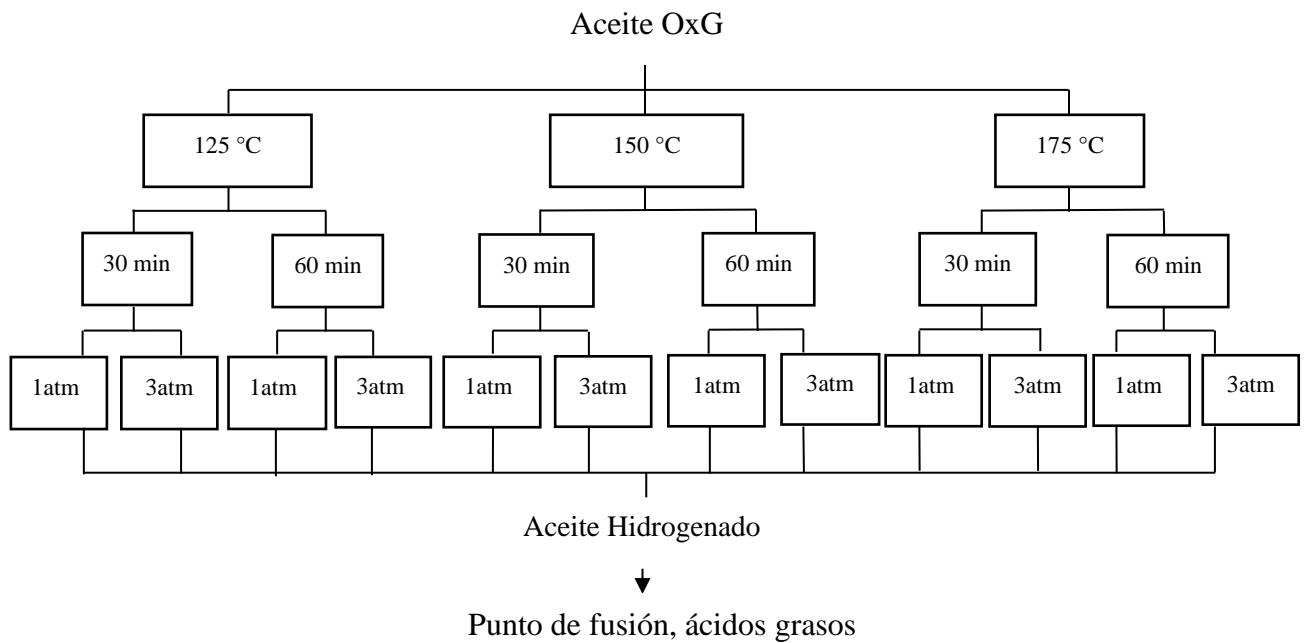


Figura 3. Diseño experimental para la hidrogenación del aceite de palma OxG.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características del aceite de palma híbrido OxG antes de la hidrogenación

En la Tabla 2 se reporta los resultados de las características morfológicas del fruto de palma híbrido OxG.

Tabla 2. Características morfológicas del fruto OxG.

Características	Unidad	Valor
Peso del fruto	g	11,13 ± 1,28
Longitud del fruto	mm	32,11 ± 2,35
Diámetro ecuatorial del fruto	mm	21,99 ± 2,11
Cáscara	g	1,23 ± 0,20
Pulpa	g	3,77 ± 0,68
Nuez	g	5,37 ± 1,03
Diámetro polar de la nuez	mm	22,85 ± 1,88
Diámetro ecuatorial de la nuez	mm	17,06 ± 2,53

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 30

Se observa en la Tabla 2 las características morfológicas del fruto de palma híbrido OxG maduro, se muestra que los pesos de los frutos presentan un promedio de 11,13 ± 1,28 g, valores cercanos a los presentados por Díaz y Ávila (2002) el peso del fruto *Oenocarpus bataua* C. Martius fue de 12,20 g; asimismo la longitud del fruto fue 32,11 ± 2,35 mm y 21,99 ± 2,11 mm para el diámetro ecuatorial. Gómez et al. (1996) afirman que los frutos tienen dimensiones de 3-7 cm de longitud y 2-3 cm de anchura, que coinciden con los valores medios hallados en 30 muestras elegidas al azar. Por otro lado, Corley y Tinker (2003) mencionan que el fruto de la palma aceitera es una drupa sésil con una longitud de 2 a 5 cm y una variedad de formas, entre ellas esférica, ovoide y alargada; se puede afirmar que los frutos de palma híbrido OxG presentaron una forma ovoide y la longitud del fruto es similar a lo descrito por los autores. Asimismo, el peso de la cáscara fue de 1,23 ± 0,20 g; mientras que para la pulpa fue de 3,77 ± 0,68 g, para la longitud de la nuez fue de 22,85 ± 1,88 mm y para el diámetro ecuatorial fue de 17,06 ± 2,53 mm, estos valores indicaría un buen porcentaje para la extracción del aceite.

En el Tabla 3 se reporta los resultados de las características fisicoquímica del aceite de palma híbrido OxG.

Tabla 3. Características fisicoquímicas del aceite híbrido OxG.

Análisis	Unidad	Valor	
Densidad	g/cm ³	0,91	± 0,01
Índice de acidez	%	0,37	± 0,06
Humedad y materia volátil	%	0,25	± 0,01
Índice de yodo	g I/100 g aceite	50,67	± 0,58
Índice de saponificación	mg KOH/g	200,67	± 0,58
Índice de refracción		1,454	± 0,004
Punto de fusión	°C	17,33	± 0,58
Aceite OxG	%	81,79	± 4,06

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3

En la tabla 4 se muestra los valores normales de los análisis fisicoquímicos para el aceite de palma antes de la hidrogenación.

Tabla 4. Valores normales para los diferentes análisis fisicoquímicos del aceite de palma.

Análisis	Unidad	Rango
Densidad	g/cm ³	0,900 - 0,907
Índice de acidez	%	2
Humedad y materia volátil	%	0,25 - 0,50
Índice de yodo	g I/100 g aceite	50 - 55
Índice de saponificación	mg KOH/g	190 - 209
Índice de refracción		1,454 - 1,456
Punto de fusión	°C	35,5 - 45
Aceite OxG	%	>50

FUENTE: Codex Alimentarius (1978, 1981, 1999); Acuña et al. (2019); Tang y Hooh (1994) y Ariffin (1994); Métodos estándar para el análisis de Aceites, Grasas y Derivados (1985-1990).

Se observa en la Tabla 3 los análisis fisicoquímicos realizados para la caracterización fisicoquímica del aceite de palma híbrido OxG y se obtuvieron los siguientes resultados: La densidad del aceite fue de $0,91 \pm 0,01 \text{g/cm}^3$ el cual se acercó a los valores establecidos por el Codex Alimentarius (1978) que es de $0,900 - 0,907 \text{g/cm}^3$. Shahidi (2005) indica que la composición en ácidos grasos, los componentes menores y la temperatura de los

aceites líquidos influyen en su densidad. Además, muestra que los aceites líquidos suelen tener un peso específico de entre 0,911 y 0,923 g/cm³.

El índice de acidez fue de $0,37 \pm 0,06\%$. Malacrida y Jorge (2012) y Ferrari et al. (2004) indican que los valores en el índice de acidez para el aceite de semilla de maracuyá extraído con disolvente de etanol fueron 2,35 y 1,34%, respectivamente. Asimismo, el Codex Stan - 19 (1981), impone un límite máximo del 2% a los aceites crudos obtenidos por prensado en frío. Podemos confirmar que el aceite híbrido OxG se ajusta a las especificaciones de las normas y que sus valores son similares a los facilitados por los autores mencionados. Por otro lado, Shahidi (2005) menciona que esta característica química de los aceites se utiliza para calibrar la producción de ácidos grasos libres a partir de los triglicéridos que componen el aceite. Según el mismo autor, tanto la temperatura como el contenido de humedad del aceite pueden contribuir a la producción de ácidos grasos.

La humedad y materia volátil obtuvieron un valor de: $0,25 \pm 0,01\%$ en el aceite de palma híbrido OxG. Asimismo, estos datos concuerdan por lo reportado de Acuña et al. (2019) para el aceite de palma código fortuna. Por lo tanto, este aceite es adecuado porque cumple con las especificaciones requeridas.

El índice de yodo del aceite de palma híbrido OxG extraído fue de $50,67 \pm 0,58$ g I/100g aceite, según los rangos establecidos por la norma debe encontrarse entre 50 - 55g I/100g aceite, por tanto, el valor obtenido se encuentra dentro de los parámetros establecidos y que cumple con la norma establecida.

El índice de saponificación para el aceite obtenido fue de $200,67 \pm 0,58$ mg KOH/g aceite, indicando que es posible su uso en la industria de jabones, en la cual se exige un valor de 190 - 209 mg KOH/g.

El índice de refracción fue de $1,454 \pm 0,004$ del aceite obtenido, según los rangos establecidos debe encontrarse entre 1,454 - 1,456, por tanto, el valor obtenido cumple con la norma establecida según el Codex Stan (210-1999). Los índices de refracción de los distintos aceites suelen oscilar entre 1,447 y 1,482 (Shahidi, 2005). Todos los valores del índice de refracción determinados experimentalmente se encuentran dentro del intervalo prescrito.

El punto de fusión posee un valor de $17,33 \pm 0,58^{\circ}\text{C}$. Tang y Hooh (1994) y Ariffin (1994) mencionan que el punto de fusión debe estar en un intervalo de $35,5$ a 45°C para el aceite de palma, entonces los valores de temperatura en el punto de fusión para el aceite de palma híbrido OxG están por debajo a los valores sugeridos. Por otro lado, Badui (2006) sostiene que, aunque los aceites con un alto nivel de insaturación son más propensos a la isomerización y a la fragmentación del doble enlace cuando no se cuidan las condiciones durante el calentamiento, suelen tener un punto de fusión más bajo que los equivalentes con ácidos grasos totalmente saturados.

El rendimiento del aceite obtenido por el método de extracción Soxhlet fue de $81,79 \pm 4,06\%$, estos valores son superiores al aceite de moringa extraído por el método de Soxhlet que obtuvo un valor de $55,10\%$ descrito por Valencia (2018), entonces se afirma que el aceite de palma híbrido OxG cumple con los requisitos indispensables para la extracción del aceite y ciertos factores como edad del cultivo, peso de la pulpa, tiempos exactos para la extracción, tipo de solvente.

Además, es importante señalar que los resultados cumplen con los Métodos estándar para el análisis de Aceites, Grasas y Derivados (1985-1990), esto indicaría que el aceite de palma híbrido OxG cumple con las características específicas que requiere los análisis.

En el Tabla 5 se reporta los resultados para el análisis de los ácidos grasos del aceite de palma híbrido OxG.

Tabla 5. Composición de ácidos grasos del aceite híbrido OxG.

Ácido palmítico (C 16: 0)	Ácido esteárico (C 18: 0)	Ácido Oleico (C 18:1)	Ácido Linoleico (C 18:2)
$30,5 \pm 0,07$	$9,9 \pm 0,14$	$50,7 \pm 0,11$	$4,3 \pm 0,07$

¹ Los datos corresponden a la media \pm SD, para $n = 3$

Se observa en la Tabla 5 los valores de los ácidos grasos presentes en el aceite de palma híbrido OxG que varió con un promedio de $30,5 \pm 0,07$ de ácido palmítico; asimismo presentó una media de $9,9 \pm 0,14$ para el ácido esteárico; para el ácido oleico presentó una media de $50,7 \pm 0,11$ y para el ácido linoleico presentó una media de $4,3 \pm 0,07$, valores que no están dentro de la norma del Codex Alimentarius 17:1997.

Por otro lado, Tang y Hooh (1994) y Ariffin (1994) mencionan que la composición en ácidos grasos del aceite de palma debe cumplir con los parámetros establecidos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 6. Rangos normales para el perfil de ácidos grasos en el aceite de palma.

Ácidos Grasos	Rango
Acido Palmítico (C16:0)	41,8 - 46,8%
Acido Esteárico (C18:0)	4,5 - 5,1%
Ácido Oleico (C18:1)	37,3 - 40,8%
Acido Linoleico (C18:2)	9,1 - 11%

FUENTE: Tang y Hooh (1994) y Ariffin, (1994)

Entonces se puede afirmar que los ácidos grasos presente en el aceite de palma híbrido OxG no cumple con los requisitos establecidos por los autores.

Asimismo, la NTC-431 (2009) afirma que los rangos establecidos por los autores anteriores son iguales para los ácidos grasos en los aceites, dando lugar que el aceite de palma híbrido OxG no cumple con las normas establecidas ya que los valores son superiores a lo requerido.

4.2. Características fisicoquímicas y tecnológicas del aceite hidrogenado

En el Tabla 7 se reportan los valores normales de acuerdo a las normas técnicas establecidas para los diferentes análisis fisicoquímicos en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado.

Tabla 7. Valores normales para las características fisicoquímicas del aceite de palma.

Análisis	Unidad	Rango
Densidad	g/cm ³	0,92
Índice de acidez	%	0,61 - 0,63
Índice de yodo	g I/100 g aceite	<50
Índice de saponificación	mg KOH/g	187
Índice de refracción		1,460
Punto de fusión	°C	31 - 44

FUENTE: Codex Stan-24 (1981); Codex Stan-87/17; Codex Stan-210 (1999).

En el Tabla 8 se reportaron los resultados de la comparación múltiple de medias de Tukey para la densidad del aceite hidrogenado por tratamiento (interacción de los factores: Temperatura, presión y tiempo).

Tabla 8. Comparación múltiple de medias de Tukey para la densidad en el aceite hidrogenado.

	Tratamiento	Cantidad	g/cm³			
T ₃	(125 °C, 60 min, 1atm)	3	0,92	±	0,01	a
T ₄	(125 °C, 60min, 3atm)	3	0,916	±	0,005	b
T ₁₂	(175 °C, 60min, 3atm)	3	0,913	±	0,011	b
T ₁₁	(175 °C, 60min, 1atm)	3	0,906	±	0,005	c
T ₇	(150 °C, 60min, 1atm)	3	0,91	±	0,01	d
T ₂	(125 °C, 30min, 3atm)	3	0,91	±	0,01	d
T ₁	(125 °C, 30min, 1atm)	3	0,91	±	0	e
T ₁₀	(175 °C, 30min, 3atm)	3	0,91	±	0	e
T ₈	(150 °C, 60min, 3atm)	3	0,91	±	0	e
T ₉	(175 °C, 30min, 1atm)	3	0,91	±	0	e
T ₅	(150 °C, 30min, 1atm)	3	0,89	±	0	f
T ₆	(150 °C, 30min, 3atm)	3	0,89	±	0	f

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3.

Se observa que existe diferencias estadísticamente significativas ($P_v < 0,05$) en la densidad del aceite hidrogenado teniendo en cuenta los factores de temperatura, presión y tiempo; siendo la que presentó mayor densidad ($0,92 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$) para el T₃ cabe señalar que estos valores se encuentran en el rango normado por el Codex Stan-24 (1981). Por otro lado, Consuelo (2012) menciona que el aceite de soja hidrogenado presentó una menor densidad de $0,8693 \text{ g/cm}^3$, por su naturaleza, es un aceite muy ligero y rico en ácidos grasos.

En la Figura 4 se puede apreciar el comportamiento de la densidad del aceite de palma híbrido OxG hidrogenado considerando la temperatura, tiempo y presión.

Se apreció que en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado, para que este aceite presente una adecuada densidad influye en la temperatura, tiempo y presión, siendo el T₃ que presentó mejores características en el aceite hidrogenado con una T° 125°C, con un tiempo

de 60 min y una presión de 1atm. Asimismo, se observó que conforme aumenta la temperatura y la presión, la densidad del aceite disminuye.

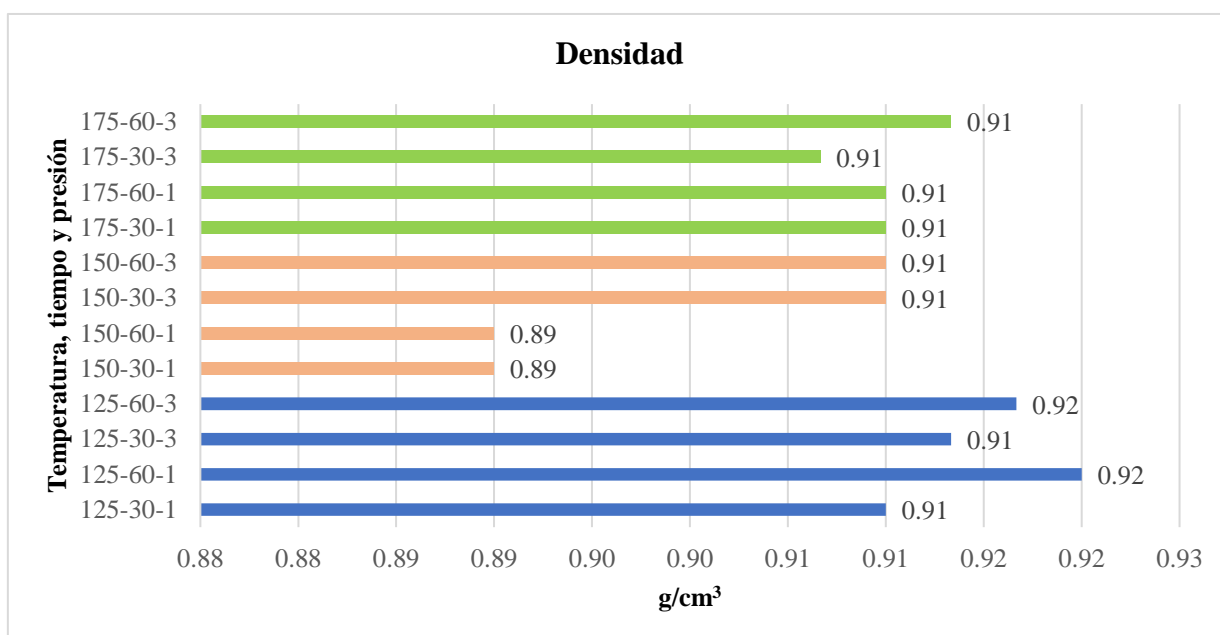


Figura 4. Interacción de los factores para la densidad en el aceite hidrogenado.

En el Tabla 9 se reportan los resultados de la comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de acidez en el aceite hidrogenado por tratamiento (interacción de los factores: Temperatura, presión y tiempo).

Se observa en el cuadro que existe diferencias estadísticamente significativas ($P_v < 0,05$) en el índice de acidez del aceite hidrogenado, siendo los T_3 y T_8 que presentaron una media de $0,633 \pm 0,057\%$, esto indicaría que estos valores cumplen con lo requerido por el Codex Stan-87/17, siendo los valores permitidos de 0,6%. En aceites y grasas el índice de acidez se produce por acción de la hidrólisis de los ácidos grasos, producto de la ruptura de sus enlaces peptídicos que tiene los triglicéridos, teniendo como resultado la formación y aparición de ácidos grasos libres (Gardner, 1985).

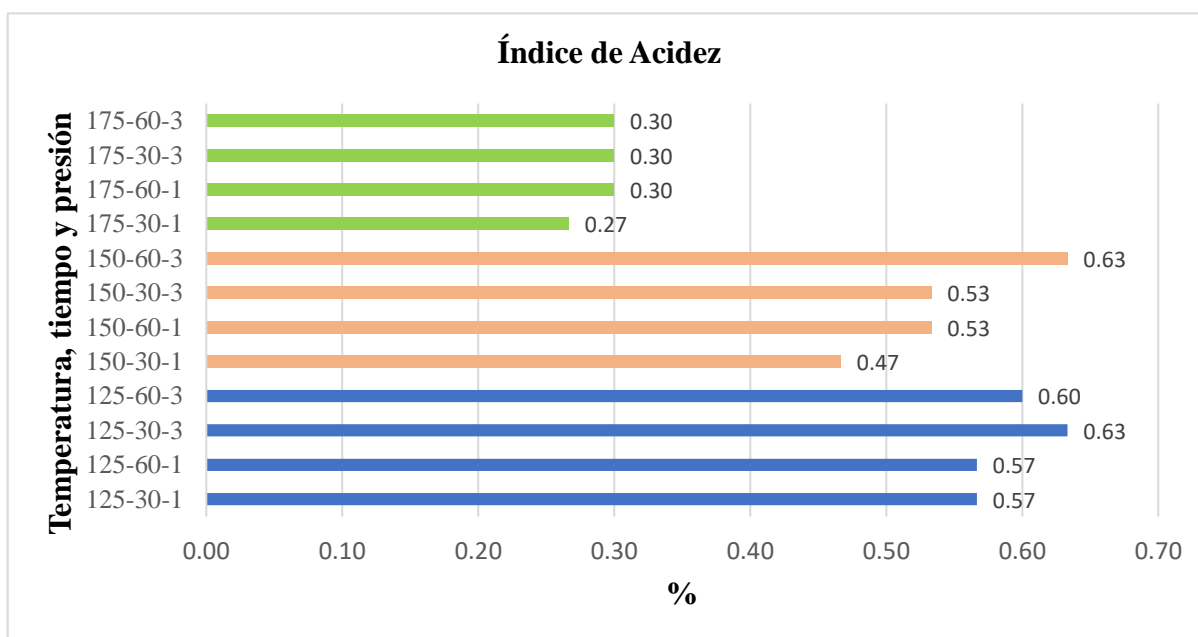
Asimismo, Adrián et al. (2000) mencionan que la acidez indica la primera fase de degradación lipídica, debido a la alteración de los triglicéridos produciendo una hidrólisis química, enzimática o microbiológica en la matriz alimenticia, ya sea por la acción de golpes, mala manipulación o procesamiento de extracción.

Tabla 9. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de acidez en el aceite hidrogenado.

	Tratamiento	Cantidad	%			
T ₃	(125 °C, 60min, 1atm)	3	0,633	±	0,057	a
T ₈	(150 °C, 60min, 3atm)	3	0,633	±	0,057	a
T ₄	(125 °C, 60min, 3atm)	3	0,6	±	0	a
T ₁	(125 °C, 30min, 1atm)	3	0,566	±	0,057	b
T ₂	(125 °C, 30min, 3atm)	3	0,566	±	0,057	b
T ₆	(150 °C, 30min, 3atm)	3	0,533	±	0,057	c
T ₇	(150 °C, 60min, 1atm)	3	0,533	±	0,115	c
T ₅	(150 °C, 30min, 1atm)	3	0,466	±	0,057	d
T ₁₀	(175 °C, 30min, 3atm)	3	0,3	±	0	e
T ₁₁	(175 °C, 60min, 1atm)	3	0,3	±	0	e
T ₁₂	(175 °C, 60min, 3atm)	3	0,3	±	0	e
T ₉	(175 °C, 30min, 1atm)	3	0,266	±	0,057	f

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3.

En la Figura 5 se puede apreciar el comportamiento del índice de acidez en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado considerando la temperatura, tiempo y presión.

**Figura 5.** Interacción de los factores para el índice de acidez en el aceite hidrogenado.

Se aprecia que la temperatura, tiempo y presión influyen en la hidrogenación del aceite híbrido OxG, siendo los mejores tratamientos: T₃ y T₈ con una temperatura de 125 °C, en un tiempo de 60 min y una presión de 1 atm. Asimismo, esto indicaría que para obtener un buen resultado en el índice de acidez se debe considerar estos valores obtenidos.

En el Tabla 10 se reportan los resultados de la comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de yodo en el aceite hidrogenado por tratamiento (interacción de los factores: Temperatura, presión y tiempo).

Tabla 10. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de yodo en el aceite hidrogenado.

	Tratamiento	Cantidad	g I/100 g aceite			
T ₁₂	(175 °C, 60min, 3atm)	3	71,0	±	1,0	^a
T ₉	(175 °C, 30min, 1atm)	3	70,333	±	1,527	^b
T ₁₁	(175 °C, 60min, 1atm)	3	70,0	±	1,0	^b
T ₁₀	(175 °C, 30min, 3atm)	3	68,333	±	0,577	^c
T ₇	(150 °C, 60min, 1atm)	3	57,0	±	0	^d
T ₆	(150 °C, 30min, 3atm)	3	56,666	±	0,577	^e
T ₈	(150 °C, 60min, 3atm)	3	56,333	±	0,577	^e
T ₅	(150 °C, 30min, 1atm)	3	56,0	±	1,0	^e
T ₄	(125 °C, 60min, 3atm)	3	51,33	±	1,53	^e
T ₃	(125 °C, 60min, 1atm)	3	51,00	±	2,64	^f
T ₂	(125 °C, 30min, 3atm)	3	50,33	±	5,51	^f
T ₁	(125 °C, 30min, 1atm)	3	41,0	±	3,60	^g

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3.

Se observa en el que existe diferencias estadísticamente significativas ($P_v < 0,05$) en el índice de yodo del aceite hidrogenado, siendo el mejor T₁ con una media de $41,0 \pm 3,60$ g I/100 g aceite para el análisis del índice de yodo, cabe indicar que estos valores cumplen con la norma del Codex Stan 210:1999 y siendo el de alto promedio el T₁₂ con un valor de $71,0 \pm 1,0$ g I/100 g aceite esto indicaría que son valores muy elevados para el aceite adquirido. Benatmane et al. (2011) indican que la insaturación, el índice de refracción y la densidad son propiedades químicas correlacionadas con el valor del yodo: cuanto mayor es el II, mayor es el IR y mayor es la densidad.

Consuelo (2012) menciona que el aceite de soja hidrogenado presentó un índice de yodo con un valor menor de 27,27 g I/100 g aceite, estos valores se asemejan con los parámetros de las normas establecidas. Asimismo, Sotero-Solis et al., (2001) determinaron el contenido de yodo en el aceite de castaña a diferentes temperaturas, presión y tiempo de hidrogenación, a 175 °C, 3 atm y 60 min obtuvieron un valor de 23,0 g I/100 g aceite; mientras que para 150 °C, 1 atm y 30 min un valor de 65,2 g I/100 g aceite; y para el aceite hidrogenado a 125 °C, 1 atm y 30 min un valor de 67,9 g I/100 g aceite. Por lo tanto, comparando los diferentes resultados indicados por los autores, los mejores resultados en el aceite de palma híbrido OxG estuvieron para 125°C, 1atm y 30 min., ya que el rango es menor a 50g I/100g aceite.

En la Figura 6 se puede apreciar el comportamiento del índice de yodo en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado considerando la temperatura, tiempo y presión.

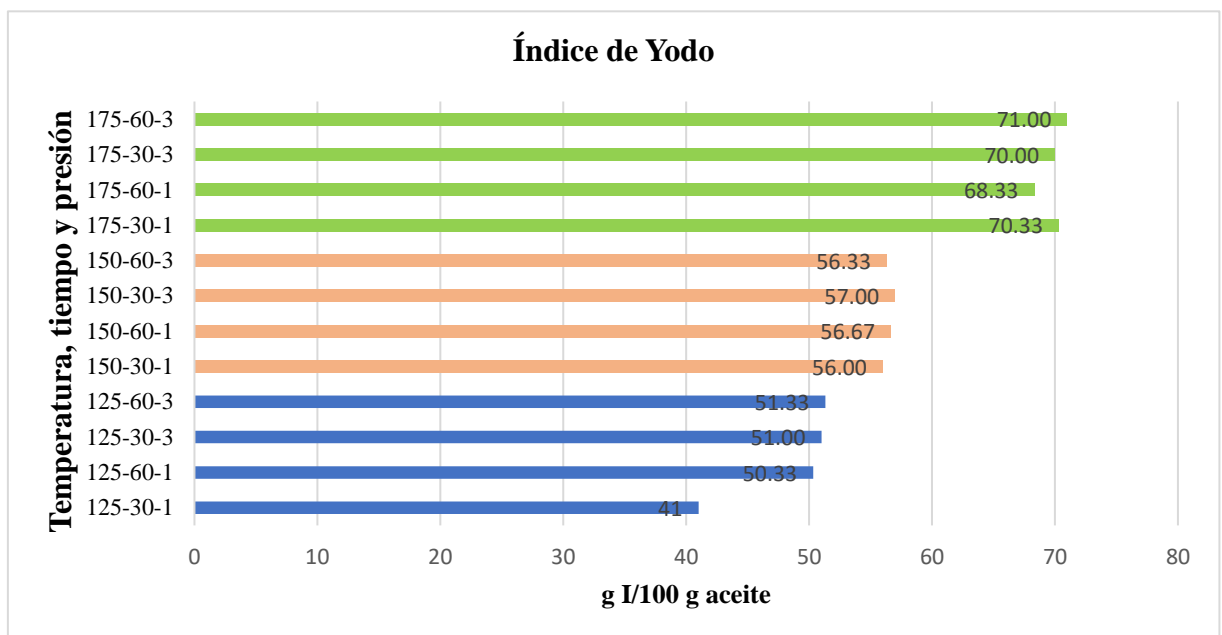


Figura 6. Interacción de los factores para el índice de yodo en el aceite hidrogenado.

La interacción de estas variables se representa en la imagen adjunta, donde se comprobó lo rápido que aumentan la temperatura y la presión durante el proceso de hidrogenación en un tiempo determinado, entonces el índice de yodo aumentó, siendo el mejor T₁ con una T° de 125°C, en un tiempo de 30min y una presión de 1 atm para este análisis.

En el Tabla 11 se reportan los resultados de la comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de saponificación en el aceite hidrogenado por tratamiento (interacción de los factores: Temperatura, presión y tiempo).

Tabla 11. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de saponificación en el aceite hidrogenado.

	Tratamiento	Cantidad	mg KOH/g		
T ₉	(175 °C, 30min, 1atm)	3	193,333	± 3,785	^a
T ₁₂	(175 °C, 60min, 3atm)	3	192,333	± 2,886	^b
T ₁₁	(175 °C, 60min, 1atm)	3	190,667	± 0,577	^c
T ₁₀	(175 °C, 30min, 3atm)	3	189,667	± 0,577	^d
T ₅	(150 °C, 30min, 1atm)	3	189,333	± 0,577	^d
T ₆	(150 °C, 30min, 3atm)	3	189,0	± 1,0	^e
T ₇	(150 °C, 60min, 1atm)	3	189,0	± 1,0	^e
T ₄	(125 °C, 60min, 3atm)	3	188,667	± 0,577	^f
T ₃	(125 °C, 60min, 1atm)	3	187,667	± 0,577	^f
T ₁	(125 °C, 30min, 1atm)	3	187,667	± 0,577	^f
T ₂	(125 °C, 30min, 3atm)	3	187,333	± 0,577	^f
T ₈	(150 °C, 60min, 3atm)	3	186,667	± 5,773	^g

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3.

Se observa en la Tabla 11 que existe diferencias estadísticamente significativas ($P_v < 0,05$) en el índice de saponificación del aceite hidrogenado, siendo los mejores resultados para los tratamientos: T₁, T₂, T₃, con una media de $187,667 \pm 0,577$ mg KOH/g, esto indicaría que cumple con lo establecido por el Codex Stan 210:1999. Asimismo, Sotero-Solis et al. (2001) determinaron el índice de saponificación en el aceite de castaña a diferentes temperaturas, presión y tiempo de hidrogenación, a 175 °C, 3 atm y 60 min obtuvieron un valor de 189,1 mg KOH/g; mientras que para 150 °C, 1 atm y 30 min un valor de 187,5 mg KOH/g; y para el aceite hidrogenado a 125 °C, 1 atm y 30 min, un valor de 192,8 mg KOH/g. Por lo tanto, se puede afirmar por los autores que los mejores resultados en el aceite de palma híbrido OxG estuvieron en 125 °C, 1-3atm y en un tiempo de 30-60 min.

En la Figura 7 se puede apreciar el comportamiento del índice de saponificación en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado considerando la temperatura, tiempo y presión.

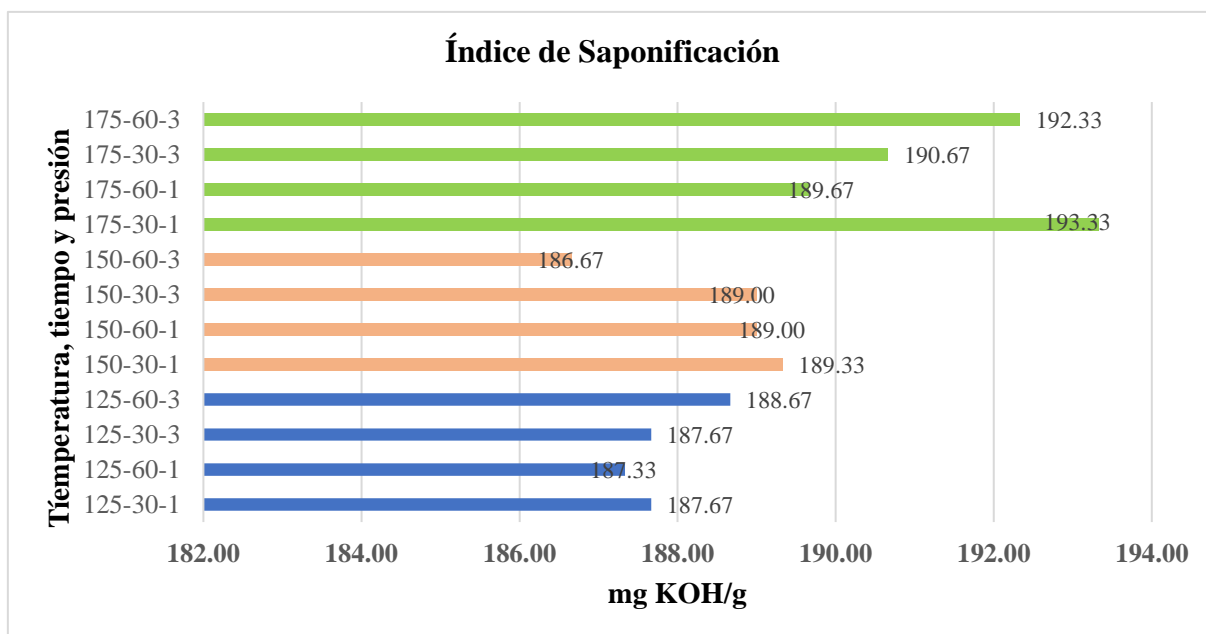


Figura 7. Interacción de los factores para el índice de saponificación en el aceite hidrogenado.

Se aprecia la interacción de factores en el análisis del índice de saponificación siendo los mejores tratamientos: T₁, T₂, T₃ con mejores características con una T° de 125 °C, en tiempos de 30-60 min y presión de 1-3atm.

En el Tabla 12 se reporta los resultados de la comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de refracción en el aceite hidrogenado por tratamiento (interacción de los factores: Temperatura, presión y tiempo).

Se observa que existe diferencias estadísticamente significativas ($P_v < 0,05$) para el análisis del índice de refracción en el aceite hidrogenado, indicando el mejor tratamiento del análisis fue el T₁ con un valor de $1,46 \pm 0,002$, esto indicaría que estos valores satisfacen los requisitos de las normas del Codex Stan 210-1999. Además, es un buen tratamiento para la elaboración de otros subproductos a partir del aceite hidrogenado.

Tanto la cantidad de insaturación como la proporción de ácidos insaturados aumentan el índice de refracción de los aceites y las grasas (Ministério da Pesca e Aquicultura, MPA, 2010). Por otro lado, Paucar-Menacho et al. (2015) realizaron estudios en el aceite de sachá inchi hidrogenado tuvo un IR de $1,475 \pm 0,001$, la NTP 151.400 (2009) establece un IR entre 1,475 y 1,481 a 20 °C, lo que concuerda con las investigaciones sobre la composición en ácidos grasos.

Tabla 12. Comparación múltiple de medias de Tukey para el índice de refracción en el aceite hidrogenado.

	Tratamiento	Cantidad	Valor		
T ₁₂	(175 °C, 60min, 3atm)	3	1,643	± 0,005	a
T ₁₁	(175 °C, 60min, 1atm)	3	1,623	± 0,005	b
T ₁₀	(175 °C, 30min, 3atm)	3	1,583	± 0,015	c
T ₈	(150 °C, 60min, 3atm)	3	1,58	± 0,01	c
T ₄	(125 °C, 60min, 3atm)	3	1,573	± 0,005	d
T ₇	(150 °C, 60min, 1atm)	3	1,543	± 0,005	e
T ₃	(125 °C, 60min, 1atm)	3	1,523	± 0,005	f
T ₂	(125 °C, 30min, 3atm)	3	1,49	± 0,01	g
T ₆	(150 °C, 30min, 3atm)	3	1,484	± 0,004	h
T ₅	(150 °C, 30min, 1atm)	3	1,474	± 0,001	i
T ₉	(175 °C, 30min, 1atm)	3	1,47	± 0,004	i
T ₁	(125 °C, 30min, 1atm)	3	1,46	± 0,002	j

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3.

En la Figura 8 se puede apreciar el comportamiento del índice de refracción en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado considerando la temperatura, tiempo y presión.

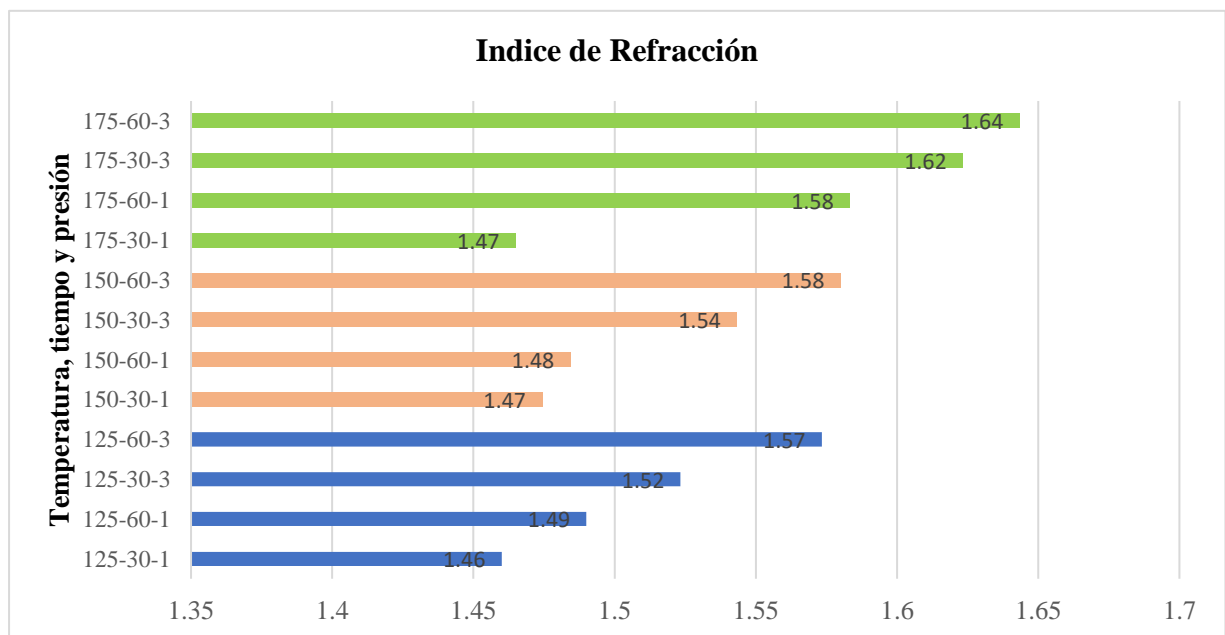


Figura 8. Interacción de los factores para el índice de refracción en el aceite hidrogenado.

Se observa que conforme aumentan los valores de la temperatura y presión el índice de refracción aumenta, siendo el mejor T₁ (125 °C, 30 min y 1atm), este análisis es útil para supervisar la progresión de reacciones como la hidrogenación y la isomerización, así como para controlar la calidad y la pureza de los aceites tanto a nivel de laboratorio como industrial, también se refiere a la cantidad media de insaturación de los aceites (Karabulut et al. 2003).

En el Tabla 13 se reportan los resultados de la comparación múltiple de medias de Tukey para el punto de fusión en el aceite hidrogenado por tratamiento (interacción de los factores: Temperatura, presión y tiempo).

Tabla 13. Comparación múltiple de medias de Tukey para el punto de fusión en el aceite hidrogenado.

	Tratamiento	Cantidad	°C		
T ₁₀	(175 °C, 30min, 3atm)	3	61,6667	± 1,5275	^a
T ₉	(175 °C, 30min, 1atm)	3	60,6667	± 1,1547	^b
T ₁₁	(175 °C, 60min, 1atm)	3	59,3333	± 0,5773	^c
T ₁₂	(175 °C, 60min, 3atm)	3	58,6667	± 1,1547	^d
T ₅	(150 °C, 30min, 1atm)	3	45,0	± 0	^e
T ₆	(150 °C, 30min, 3atm)	3	42,3333	± 0,5773	^f
T ₈	(150 °C, 60min, 3atm)	3	41,6667	± 0,5773	^g
T ₇	(150 °C, 60min, 1atm)	3	40,6667	± 0,5773	^h
T ₁	(125 °C, 30min, 1atm)	3	29,0	± 0	ⁱ
T ₂	(125 °C, 30min, 3atm)	3	28,6667	± 1,1547	^j
T ₄	(125 °C, 60min, 3atm)	3	27,6667	± 1,5275	^k
T ₃	(125 °C, 60min, 1atm)	3	26,6667	± 0,5773	^l

¹ Los datos corresponden a la media ± SD, para n = 3.

Se observa que existe diferencia significativa ($P_v < 0,05$) entre los diferentes tratamientos en el análisis del punto de fusión. Según el CODEX Alimentarius (87/17) sobre el punto de fusión los tratamientos: T₆, T₇ y T₈ cumplen con los parámetros requeridos en un rango de 31-44°C, cabe señalar que fueron los mejores tratamientos para realizar otros subproductos de alto valor agregado. Asimismo, Sotero-Solis et al. (2001) determinaron el punto de fusión en el aceite de castaña a diferentes temperaturas, presión y tiempo de hidrogenación, teniendo en cuenta 175°C, 3 atm y 60 min obtuvieron un valor de 59,9°C; mientras que para 150°C, 1

atm y 30 min obteniendo un valor de 37,8°C; y para el aceite hidrogenado a 125°C, 1 atm y 30 min obteniendo un valor de 36,3 °C. Se puede afirmar con los autores que los mejores resultados en el aceite de palma hibrida OxG estuvieron en 150°C, 1-3 atm y 30-60 min.

En la Figura 9 se puede apreciar el comportamiento del punto de fusión en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado considerando la temperatura, tiempo y presión.

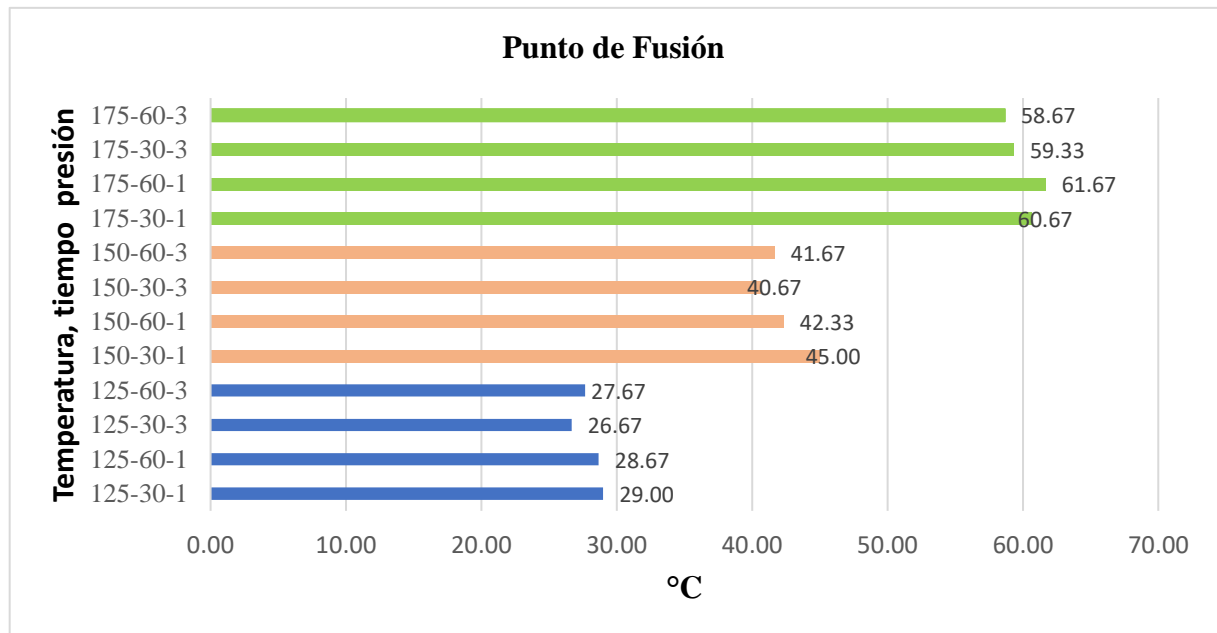


Figura 9. Interacción de los factores para el Punto de fusión.

Se aprecia en la figura que conforme se incrementa la temperatura y la presión en un tiempo determinado desciende el punto de fusión en el aceite del híbrido OxG hidrogenado, siendo de los mejores resultados el T₆, T₇ y T₈ esto se debe a los factores de evaluación.

En el Tabla 14 se presenta los valores normales del perfil de ácidos grasos en el aceite hidrogenado de palma aceitera.

Tabla 14. Comparación del perfil de ácidos grasos en el aceite de palma hidrogenado.

Ácidos Grasos	Rango
Acido Palmítico (C16:0)	44 - 47%
Acido Esteárico (C18:0)	3,5 - 6%
Ácido Oleico (C18:1)	36 - 44%
Acido Linoleico (C18:2)	9 - 12%

FUENTE: Gaxoleum, ficha técnica del aceite de palma (2016).

En la tabla 15 se reporta los resultados para el análisis de los ácidos grasos en el aceite hidrogenado a diferentes temperaturas.

Tabla 15. Composición de ácidos grasos en el aceite híbrido OxG hidrogenado.

Tratamiento		Ácido palmítico (C 16: 0)	Ácido esteárico (C 18: 0)	Ácido Oleico (C 18:1)	Ácido Linoleico (C 18:2)
T ₁	(T125°C, 30min, 1atm)	29,82 ± 0,16	13,1 ± 0,14	43,8 ± 0,14	2,4 ± 0,56
T ₅	(T150°C, 30min, 1atm)	24,8 ± 0,28	22,7 ± 0,42	36,5 ± 0,70	0 ± 0
T ₉	(T175°C, 30min, 1atm)	43,9 ± 0,14	14,3 ± 0,35	24,9 ± 1,27	0 ± 0
T ₂	(T125°C, 30min, 3atm)	48 ± 1,00	12,3 ± 0,40	31,7 ± 0,60	8 ± 0,10
T ₄	(T125°C, 60min, 3atm)	38 ± 0,90	14 ± 0,30	35 ± 0,20	13 ± 0,10
T ₃	(T125°C, 60min, 1atm)	49 ± 0,80	15 ± 0,40	29,7 ± 0,10	6,3 ± 0,10
T ₆	(T150°C, 30min, 3atm)	38 ± 0,50	11,8 ± 0,80	35 ± 0,20	14,2 ± 0,30
T ₈	(T150°C, 60min, 3atm)	37,9 ± 0,40	9,6 ± 0,40	45 ± 0,40	7,5 ± 0,25
T ₇	(T150°C, 60min, 1atm)	32 ± 0,60	9,2 ± 0,25	47 ± 0,30	11,8 ± 0,20
T ₁₀	(T175°C, 30min, 3atm)	47,8 ± 1,00	7,2 ± 0,30	44,5 ± 0,30	0,5 ± 0,08
T ₁₁	(T175°C, 60min, 1atm)	48,2 ± 0,40	13 ± 0,20	35 ± 0,60	3,3 ± 0,20
T ₁₂	(T175°C, 60min, 3atm)	49 ± 0,50	14 ± 0,40	33 ± 0,20	4 ± 0,15

¹ Los datos corresponden a la media ± SD

Se observa en la Tabla 15 los valores de los ácidos grasos presentes en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado siendo los mejores tratamientos: T₁ (125 °C, 30 min, 1 atm) que presentó un valor de 43,8 ± 0,14% y T₅ (150 °C, 30 min, 1 atm) con un valor de 36,5 ± 0,70% para el ácido oleico, cabe señalar que cumple con las NTC 431 y el Codex Stan-125 (1981) y los demás valores no están dentro de la norma establecida. Asimismo, Sotero-Solis et al. (2001) reporta que sobre el perfil de ácidos grasos del aceite de castaña hidrogenado obtuvieron como resultado para los tratamientos: 125 y 150°C en un tiempo de 30 minutos y una presión de 1 atm, un valor de 7,9 y 12,5 para el ácido linolénico y los demás valores no cumplen con los parámetros establecidos. Además, la industria alimentaria ha recurrido a los aceites vegetales parcialmente hidrogenados (PHVO) en su lucha por eliminar las grasas animales de los alimentos, principalmente con el fin de prolongar su vida útil, varios estudios han relacionado el consumo de PHVO con el desarrollo de enfermedades coronarias debido al aumento del colesterol de baja y alta densidad (LDL/HDL) (Livingston et al. 2012).

V. CONCLUSIONES

- Las características del aceite de palma híbrido OxG antes de la hidrogenación en densidad, humedad, índice de acidez, índice de yodo, índice de saponificación e índice de refracción, se ajustan a las normas técnicas establecidas; el punto de fusión y los ácidos grasos se vieron afectados por la temperatura, obteniéndose valores alterados que no cumple con los parámetros de las normas técnicas establecidas.
- Los ácidos grasos en el aceite de palma híbrido OxG hidrogenado se vieron afectados por los parámetros como: temperatura, tiempo y presión; siendo los mejores tratamientos a una temperatura de 125 y 150 °C en un tiempo de 30 minutos y a una presión de 1 atm. obteniéndose el ácido oleico de acuerdo a los parámetros establecidos; mientras que los demás tratamientos mostraron resultados fuera de los límites establecidos.
- Las características fisicoquímicas y tecnológicas del aceite de palma híbrido OxG hidrogenado tales como densidad, índice de acidez, índice de yodo, índice de saponificación, índice de refracción; en los diferentes parámetros de temperatura, tiempo y presión, se obtuvieron buenos resultados a una temperatura de 125 °C, en un tiempo de 30 y 60 min., a una presión de 1 y 3 atm; mientras que para el punto de fusión se obtuvo un mejor resultado a 150 °C en un tiempo de 30 y 60 min, a una presión de 1 y 3 atm cumpliéndose con los requisitos establecidos por las normas técnicas.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Utilizar el aceite hidrogenado a 125 - 150°C con un tiempo de 30 - 60 min y una presión de 1atm para la elaboración de otros subproductos en la industria alimentaria.
- Realizar la Inter esterificación del aceite hidrogenado y con el mejor resultado elaborar margarina.
- Realizar otros análisis más sofisticados con la finalidad de evaluar profundamente si el aceite es sano para el consumo humano.
- Realizar otras investigaciones con el aceite hidrogenado del híbrido OxG y darle un valor agregado.
- Realizar los análisis microbiológicos del aceite hidrogenado.
- Esto nos indicaría que estos valores serían adecuados para la elaboración de nuevos productos a partir del aceite hidrogenado o para la elaboración de margarina.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, H., Quesada, R., López, M. (2019). Análisis fisicoquímico del aceite crudo de palma proveniente del híbrido interespecífica fortuna en una plantación ubicada en Cabuyaro-Meta. Universidad de los Llanos. Colombia. *Rev Sist Prod Agroecol.* 10,1.
- Adrian, J., Potus, J., Poiffait, A., Dauvillier, P. (2000). *Análisis nutricional de los Alimentos*, Zaragoza, España, Acribia. ISBN 978-84-200-0919-3
- Aguilera-Díaz, M. (2002). Palma africana en la costa caribe: Un semillero de empresas solidarias. *Documental Trabajo Económico Regional.* 30(1), 53. https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3172/dtser_30.pdf
- Aini, I. N., Miskandar, MS. (2007). Utilization of palm oil and palm products in shortenings and margarines. *European Journal Lipid Science Technology*, 109(4), 422-432. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ejlt.200600232>
- Aniame. (2005). Interesterificación enzimática de aceites y grasas. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1052/1052>
- Allen, R.R. (1982). Hydrogenation. In: Bailey's industrial oil and fat products. *Wiley Interscience.* 4(2), 1-95. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-9495-6_19
- Ariffin, A. (1994). Selected Readings on Palm Oil and Its Uses. *La palma de aceite en malasia: prioridades.* <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/viewFile/649/649>
- Babae, Z., Nikoopour, H., Safafar Hamed, H. (2007). Comparison of Commercial Nickel Catalysts Effects on Hydrogenation of Soybean Oil. *World Applied Sciences Journal*, 2 (6), 621-626. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000600002>
- Badui, D. S. (2006). Química de los alimentos. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3608>
- Barison, Y. (2005). Palm oil, in. *Wiley Interscience*, <https://www.feedipedia.org/node/15399>
- Barros, PAV., Glória, MBA., Lopes, FCF., Gama, MAS., Souza, SM., Mourthe, MH F., Leão, MI. (2013). Nutritional quality and oxidative stability of butter obtained from cows fed sugar-cane supplemented with sunflower oil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.* <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000500036>

- Benatmane, F., Kouba, M., Youyou, A., Mourot, J. (2011). Effect of a linseed diet on lipogenesis, fatty acid composition and stearoyl-CoA-desaturase in rabbits. *Sciencedirect*. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001145>
- Bouriazos, A., Vasiliou, C., Tsihla, A., Papadogianakis, G. (2015). Conversiones catalíticas en medios acuosos verdes. Parte 8: Hidrogenación parcial y total de ésteres metílicos renovables de aceites vegetales. *Catalysis Today*, 247, 20-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2014.08.021>
- Bustamante, A. (2001). Seminario palma aceitera e industria oleoquímica. *Koha*. 4-6. <http://sibucv.ucv.ve/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20284>
- Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (CENIPALMA) (mayo, 2005). Boletín el Cultivo de la Palma de Aceite y su Beneficio. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/download/10513/10503>
- Codex Alimentarius. Codex Stan. 210 (1999). Norma del Codex para Aceites Vegetales Especificados. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/210-1999.PDF
- Codex Alimentarius. Codex Stan 19 (1981). Norma del Códex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/19-1999.PDF
- Consuelo, P. B. (2012). *Cinética de la Inter esterificación Enzimática de Aceites Vegetales*. [Tesis grado de doctor en Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur, Argentina]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/470/TESIS-Pacheco%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corley, R., Tinker, P. (2003). The oil palm. *Scientific Research*. 562. <https://doi.org/10.1002/9780470750971>
- Del Río, J., Cardeño, F., Ríos, L., Peña, J. (2015). Hidrogenación de Aceite Crudo de *Jatropha* para Aplicaciones Industriales. *SciELO*. 26(6), 21-52 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000600002>
- Díaz, J., Ávila, L. (2002). Sondeo del mercado mundial de aceites ceje (*oneocarpus bataua*). *Biocomercio sostenible*. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31484>

- Dijkstra, A. J. (2016). Aceite de palma. *Enciclopedia de alimentos y salud*, 199-204. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00514-6>
- Etsia (2003). Grasas y aceites. <http://www.etsia.upm.es/fedna/grasasyaceites.palma.htm>
- Fao. (2006). Palma de aceite. Boletines técnicos. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10497>
- Fao. (2008). Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation, *Food and Nutrition Paper*, 91(1), 180. <https://www.fao.org/3/i1953e/i1953e00.pdf>
- Fauzi, Shm., Rashid, N. A., Omar, Z. (2013). Efectos de la interesterificación química sobre las propiedades fisicoquímicas, microestructurales y térmicas de la estearina de palma, el aceite de almendra de palma y las mezclas de aceite de soja. *Food Chemistry*, 137 (1-4): 8-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.086>
- Fedepalma. (2017). Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma Bogotá D.C.
- Fernández, M.B., Sánchez, M., Tonetto, D.E., Damiani, T. (2009). Hydrogenation of sunflower oil over different palladium supported catalysts: Activity and selectivity, *Chemical Engineering Journal*, 155, 941-949. <https://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.02.014>
- Ferrari, R., Colussi, F., Ayub, R. (2004). Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá-aproveitamento das sementes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26 (1), 101-102. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000100027>
- Filho, Mmr., Ramos, Mil., Hiane, Pa., Souza, Emt. (2008). Lipid profile of four species of fish from the pantanal region of Mato Grosso do Sul. *Food Science and Technology*, 28, 361-365. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000200014>
- Food And Drug Administration. (2003). Food labeling: Trans fatty acids in nutrition labeling, nutrient content claims, and health claims. *Federal Register*, 68, 41434-41506. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12856667/>
- Fereidoon, S. (2005). Polymorphism in Fats and Oils, *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Inc Publication*, 6, 87-89. https://books.google.com.pe/books/about/Bailey_s_Industrial_Oil_and_Fat_Products.html?id=v1G3ngEACAAJ&redir_esc=y
- Galeano, G., Bernal, R., Figueroa Cardozo, Y. (2015). Plan de conservación, manejo y uso sostenible de las palmas de Colombia. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 134. <https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosiste>

nicos/pdf/Programas-para-la-gestion-de-fauna-y-flora/Plan_de_conservaci%C3%B3n_manejo_y_uso_sostenible_de_la_palma_de_cera_del_Quind%C3%ADo.pdf

- García De Sotero, D., Sandoval Del Águila, J., Saldaña, R., Cárdenas De Reátegui, G., Soplín, J., Sotero, V., Pavan, R., Mancini, J. (2008). Fraccionamiento e interesterificación del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) cultivado en la amazonia peruana, 59 (2), 104 - 109.
- Gardner, H. W. (1985). Oxidation of lipids in biological tissue and its significance. In *Chemical Changes in Food During Processing*. Springer, Dordrecht, 177-203. https://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1016-9_9
- Gaxoleum, ficha técnica del aceite de palma. 2016. Disponible en: http://www.gaxoleum.com/wp-content/uploads/2016/06/AceiteRBDPalma_ficha.pdf
- Gómez D., Lebrum L., Paymal N., Soldi A. (1996). *Manual práctico, Serie de manuales de palmas útiles amazónicas*, Quito – Ecuador. https://books.google.com.pe/books/about/Palmas_%C3%BAtiles_en_la_provincia_de_Pastaz.html?id=f1tjAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Gonçalves, C. B., Rodríguez, C. E. C., Marcon, E.C., Meirelles, A. J. A. (2016). Desacidificación del aceite de palma por extracción con solvente. *Tecnología de separación y purificación*, 160, 106-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.016>
- González, A., Girón, J., Ruiz, Rincón, Y. F. (2015). Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Fedepalma*. <https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Minianuario%20Estad%C3%ADstico%202015.pdf>
- Graciani, C. (2006). Los Aceites y Grasas Composición y Propiedades. *MundiPrensa*. <https://www.iberlibro.com/9788487440366/ACEITES-GRASAS-COMPOSICION-PROPIEDADES-GRACIANI-8487440363/plp>
- Gunstone, F.D., Harwood, J., Dijkstra, A. (2007). Modification processes and food uses, *The Lipid Handbook*, CRC Press, 264-284. <https://dx.doi.org/10.1201/9781420009675>
- Hoffmann, G. (1989). *The chemistry and technology of edible oils and fats and their high fat products*. London. Academic Press, 201-277. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123520555/the-chemistry-and-technology-of-edible-oils-and-fats-and-their-high-fat-products>

- Infantes, M. (2014). *Evaluación del tratamiento enzimático para la extracción mecánica del aceite vegetal de las semillas de maracuyá (Passiflora edulis var. Flavicarpa Degener)*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de La Molina]. Repositorio La Molina <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2423/Q52-I553-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Karabulut, I., Kayahan, M., Yaprak, S. (2003). Determination of changes in some physical and chemical properties of soybean oil during hydrogenation. *Food Chemistry*, 81, 453-456. <https://doi.org/10.1016/S0308-81460200397-7>
- Iso 660 (1996). Norma del codex para aceites vegetales. https://www.academia.edu/28606904/NORMA_DEL_CODEX_PARA_ACEITES_VEGETALES_ESPECIFICADOS
- Kovács, S., Kasza, T., Therneszb, A., Horváthb, I., Hancsóka, J. (2011). Fuel production by hydrotreating of triglycerides on NiMo/Al₂O₃/F catalyst, *Chemical Engineering Journal*, 176-177, 237-243. <https://dx.doi.org/10.1016/J.CEJ.2011.05.110>
- Livingston, KM., Lovegrove, JA., Givens, DI. (2012). The impact of substituting SFA in dairy products with MUFA or PUFA on CVD risk: Evidence from human intervention studies. *Nutrition Research Reviews*, 25, 193-206. <https://dx.doi.org/10.1017/S095442241200011X>
- López, M. (2005). Niveles dietéticos de ácidos `trans. <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/niveles-dieteticos-de-acidos-trans.html>
- Malacrida, C., Jorge, N. (2012). Yellow Passion Fruit Seed Oil (Passiflora edulis f. flavicarpa): Physical and Chemical Characteristics. *Brazilian archives of Biology and Technology*. 55(1), 127-134. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000100016>
- Martín, I., Molina, M. (2010). "Ácidos grasos polinsaturados omega 3 e omega-6 importancia e ocurrencia em alimentos". *Revista de nutricoa, campinas*.
- Mensink, Rp., Katan, Mb. (1990). Effect of dietary trans fatty acids on high density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *New England Journal of Medicine*, 322, 439-445. <https://dx.doi.org/10.1056/NEJM199008163230703>
- Mondragón, A., Pinilla, C. (2015). Aceite de palma alto oleico: propiedades fisicoquímicas y beneficios para la salud humana. *Palmas*, 23 (4), 56-77. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11645>

- Ministério da Pesca e Aquicultura. (Febrero, 2010). Boletín Estadística 2008 e 2009. https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/estatistica/est_2010_nac_boletim.pdf
- Nawar, W. (1996). Lípidos. *Food Chemistry*, 225-321.
- Nohair, B., Especel, C., Lafaye, G., Marcécot, P., Hoang, L., Barbiera, J. (2005). Palladium supported catalysts for the selective hydrogenation of sunflower oil, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 229,117-126.
- Norizzah, Ar., Nur Azimah, K., Zaliha, O. (2018). Influencia de la interesterificación enzimática y química en las propiedades de cristalización del aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado (RBD) y mezclas de aceite de almendra de palma RBD. *Food Research International*, 106, 982-991p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.001>
- Ntc (Norma técnica colombiana 431). (2009). Aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq). <https://docplayer.es/85737561-Norma-tecnica-colombiana-431.html>
- Ntp (151.400 Norma Técnica Peruana para Aceite de Sacha Inchi del género *Plukenetia*). (2009). Requisitos. (Norma Peruana). <https://www.deperu.com/normas-tecnicas/NTP-151-400.html>
- Oliveira, P. D., Rodríguez, A. M. C., Bezerra, C. V., Silva, L.H. M. (2017). Interesterificación química de mezclas con estearina de palma y aceite de patawa. *Food Chemistry*, 215, 369-376. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.165>
- Orc, O., Buisson, P., Pierre, A. (2006). Enzymatic. *Journal of Molecular Catalysis*, 42, 106-113. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-molecular-catalysis-b-enzymatic>
- Ortiz, R., Fernández, O. (2000). *El Cultivo de Palma Aceitera*. Universidad Estatal a Distancia San José, Costa Rica.
- Pantzaris, Tp. (2000). Pocketbook of palm oil uses. <https://pdfcoffee.com/pko-cno-properties-pdf-free.html>
- Paucar-Menacho*, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* l.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6 (4), 279-290. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.05>

- Rover, M. R., Hall, P. H., Johnston, P., Smith, R. G., Brown, R. C. (2015). Estabilización de bioaceites usando hidrogenación a baja temperatura y baja presión. *Fuel*, 153, 224–230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.02.054>
- Schäfer De Martini, A., Claro Da Silva, R., Guimarães, K., Bertollesi, M., Ferreira, D., Gioielli, L. (2009). Efectos de la interesterificación química sobre las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de estearina de palma y oleína de palma. *Food Research International*, 42 (9), 1287-1294. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.022>
- Seydel, P. V., Hunt, J. R. (1972). *Textile Warp Sizing*. Universidad de Cornell.
- Shahidi, F. (2005). *Bailey's Industrial Oil and Fat products*. (6. a ed.). Wiley Interscience.
- Shuit, S.H., Tan, K.T., Lee, K.T., Kamaruddin, A.H. (2009). Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study. *Energy*, 34, 1225-1235. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.05.008>
- Sivakanthan, S., Jayasooriya, A. P., Madhujith, T. (2018). Optimización de la producción de lípidos estructurados por interesterificación enzimática a partir de aceites de coco (*Cocos nucifera*) y sésamo (*Sesamum indicum*) utilizando la Metodología de superficie de respuesta. *LWT*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.085>
- Sotero-Solis, V., Gioielli*, L., Polakiewicz, B. (2001). Hidrogenación e Inter esterificación del aceite de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). *Grasas y aceites*, 52 (3-4), 192-197. <https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/download/356/359/359>
- Standard Methods For The Analysis Of Oils, Fats And Derivatives. (1985-1990). <https://shop.elsevier.com/books/standard-methods-for-the-analysis-of-oils-fats-and-derivatives/paquot/978-0-08-022379-7>
- Sumathi, S., Chai, S., Mohamed, A. (2008). Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2404 -2421. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.006>
- Tang, T.S., Hooh, F.C. (1994). "Characteristics and Properties of Malaysian Palm-Kernel-Based Speciality Fats." *AOCS Press*. 84-97.
- Tonial, Ib., Bravo, C., Souza, Ne., Matsushita, M., Furuya, Wm., Visentainer, Jv. (2011). Qualidade nutricional dos lipídios de tilápias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com ração suplementada com óleo de soja. *Alimentos e Nutrição*, 22 (1), 103-112. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v3n3p105>

- Valencia, O.A. (2018). Métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de moringa (*Moringa oleífera*). [Tesis de maestría en ciencias agrícolas, Universidad Rafael Landívar, Guatemala]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/17/Valencia-Maylin.pdf>
- Willis, N.W., Lencki, W.R., Marangoni, G.A. (1998). Strategies in the production of nutritionally functional fats and oils. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 639-674. <https://dx.doi.org/10.1080/10408699891274336>
- Yusoff, S. (2006). Renewable energy from palm oil - innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production*, 14, 87-93. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.07.005>

ANEXOS

ANEXO-I: Resumen estadístico para la densidad en el aceite hidrogenado.

Nivel	Recuento	Media	EE	LI	LS
MEDIA GENERAL	36	0,908056	0,00107583	0,905835	0,910276
Temperatura					
125	12	0,914167	0,00186339	0,910321	0,918013
150	12	0,9	0,00186339	0,896154	0,903846
175	12	0,91	0,00186339	0,906154	0,913846
Tiempo					
30	18	0,907778	0,00152145	0,904638	0,910918
60	18	0,908333	0,00152145	0,905193	0,911473
Presión					
1	18	0,903333	0,00152145	0,900193	0,906473
3	18	0,912778	0,00152145	0,909638	0,915918
Temperatura por Tiempo					
125 30	6	0,915	0,00263523	0,909561	0,920439
125 60	6	0,913333	0,00263523	0,907894	0,918772
150 30	6	0,9	0,00263523	0,894561	0,905439
150 60	6	0,9	0,00263523	0,894561	0,905439
175 30	6	0,908333	0,00263523	0,902894	0,913772
175 60	6	0,911667	0,00263523	0,906228	0,917106
Temperatura por Presión					
125 1	6	0,91	0,00263523	0,904561	0,915439
125 3	6	0,918333	0,00263523	0,912894	0,923772
150 1	6	0,89	0,00263523	0,884561	0,895439
150 3	6	0,91	0,00263523	0,904561	0,915439
175 1	6	0,91	0,00263523	0,904561	0,915439
175 3	6	0,91	0,00263523	0,904561	0,915439
Tiempo por Presión					
30 1	9	0,903333	0,00215166	0,898893	0,907774
30 3	9	0,912222	0,00215166	0,907781	0,916663
60 1	9	0,903333	0,00215166	0,898893	0,907774
60 3	9	0,913333	0,00215166	0,908893	0,917774

ANEXO-II: ANVA para el análisis de la densidad en el aceite hidrogenado.

Fuente	S.C.	G.I.	C.M.	Fc	Pv
Temperatura	0,0012	2	0,0006	15,27	0,0001
Presión	0,0008	1	0,0008	19,27	0,0002
Tiempo	0,000002	1	0,000002	0,07	0,7985
INTERACCIONES					
Temperatura*Presión	0,0006	2	0,0003	7,27	0,0034
Temperatura*Tiempo	0,00003	2	0,00001	0,47	0,6327

Presión*Tiempo	0,000002	1	0,000002	0,07	0,7985
Temperatura*Presión*Tiempo	0,000003	2	0,000001	0,47	0,6327
Residuos	0,001	24	0,000004		
Total	0,0037	35			

ANEXO-III: Resumen estadístico para el índice de acidez en el aceite hidrogenado.

Nivel	Recuento	Media	EE	LI	LS
MEDIA GENERAL	36	0,475	0,00921285	0,455986	0,494014
Temperatura					
125	12	0,591667	0,0159571	0,558733	0,624601
150	12	0,541667	0,0159571	0,508733	0,574601
175	12	0,291667	0,0159571	0,258733	0,324601
Tiempo					
30	18	0,461111	0,0130289	0,434221	0,488002
60	18	0,488889	0,0130289	0,461998	0,515779
Presión					
1	18	0,45	0,0130289	0,42311	0,47689
3	18	0,5	0,0130289	0,47311	0,52689
Temperatura por Tiempo					
125 30	6	0,6	0,0225668	0,553424	0,646576
125 60	6	0,583333	0,0225668	0,536758	0,629909
150 30	6	0,5	0,0225668	0,453424	0,546576
150 60	6	0,583333	0,0225668	0,536758	0,629909
175 30	6	0,283333	0,0225668	0,236758	0,329909
175 60	6	0,3	0,0225668	0,253424	0,346576
Temperatura por Presión					
125 1	6	0,566667	0,0225668	0,520091	0,613242
125 3	6	0,616667	0,0225668	0,70091	0,663242
150 1	6	0,5	0,0225668	0,453424	0,546576
150 3	6	0,583333	0,0225668	0,536758	0,629909
175 1	6	0,283333	0,0225668	0,236758	0,329909
175 3	6	0,3	0,0225668	0,253424	0,346576
Tiempo por Presión					
30 1	9	0,433333	0,0184257	0,395304	0,471362
30 3	9	0,488889	0,0184257	0,45086	0,526918
60 1	9	0,466667	0,0184257	0,428638	0,504696
60 3	9	0,511111	0,0184257	0,473082	0,54914

ANEXO-IV: ANVA para el análisis del índice de acidez en el aceite hidrogenado.

Fuente	S.C.	G.I.	C.M.	Fc	Pv
Temperatura	0,62	2	0,31	101,45	0,0000
Presión	0,0225	1	0,0225	7,36	0,0121
Tiempo	0,0069	1	0,0069	2,27	0,1447
INTERACCIONES					
Temperatura*Presión	0,0066	2	0,0033	1,09	0,3520
Temperatura*Tiempo	0,0155	2	0,0077	2,55	0,0994
Presión*Tiempo	0,0002	1	0,0002	0,09	0,7656
Temperatura*Presión*Tiempo	0,0022	2	0,0011	0,36	0,6989
Residuos	0,0733	24	0,0030		
Total	0,7475	35			

ANEXO-V: Resumen estadístico para el índice de yodo en el aceite hidrogenado.

Nivel	Recuento	Media	EE	LI	LS
MEDIA GENERAL	36	58,2778	0,369559	57,515	59,0405
Temperatura					
125	12	48,4167	0,640095	47,0956	49,7378
150	12	56,5	0,640095	55,1789	57,8211
175	12	69,9167	0,640095	68,5956	71,2378
Tiempo					
30	18	57,5556	0,522636	56,4769	58,6342
60	18	59,0	0,522636	57,9213	60,0787
Presión					
1	18	57,1111	0,522636	56,0324	58,1898
3	18	59,4444	0,522636	58,3658	60,5231
Temperatura por Tiempo					
125 30	6	46,0	0,905232	44,1317	47,8683
125 60	6	50,8333	0,905232	48,965	52,7016
150 30	6	56,5	0,905232	54,6317	58,3683
150 60	6	56,5	0,905232	54,6317	58,3683
175 30	6	70,1667	0,905232	68,2984	72,035
175 60	6	69,6667	0,905232	67,7984	71,535
Temperatura por Presión					
125 1	6	45,6667	0,905232	43,7984	47,535
125 3	6	51,1667	0,905232	49,2984	53,035
150 1	6	56,3333	0,905232	54,465	58,2016
150 3	6	56,6667	0,905232	54,7984	58,535
175 1	6	69,3333	0,905232	67,465	71,2016
175 3	6	70,5	0,905232	68,6317	72,3683
Tiempo por Presión					

30	1	9	55,7778	0,739119	54,2523	57,3032
30	3	9	59,3333	0,739119	57,8079	60,8588
60	1	9	58,4444	0,739119	56,919	59,9699
60	3	9	59,5556	0,739119	58,0301	61,081

ANEXO-VI: ANVA para el análisis del índice de yodo en el aceite hidrogenado.

Fuente	S.C.	G.I.	C.M.	Fc	Pv
Temperatura	2830,39	2	1415,19	287,84	0,0000
Presión	49,00	1	49,0	9,97	0,0043
Tiempo	18,7778	1	18,7778	3,82	0,0624
INTERACCIONES					
Temperatura*Presión	46,1667	2	26,0278	5,29	0,0125
Temperatura*Tiempo	52,0556	2	26,0278	5,29	0,0125
Presión*Tiempo	13,4444	1	13,4444	2,73	0,1112
Temperatura*Presión*Tiempo	55,3889	2	27,6944	5,63	0,0099
Residuos	118,0	24	4,91667		
Total	3183,22	35			

ANEXO-VII: Resumen estadístico para el índice de saponificación en el aceite hidrogenado.

Nivel	Recuento	Media	EE	LI	LS
MEDIA GENERAL	36	189,278	0,373712	188,506	190,049
Temperatura					
125	12	187,833	0,647288	186,497	189,169
150	12	188,5	0,647288	187,164	189,836
175	12	191,5	0,647288	190,164	192,836
Tiempo					
30	18	189,611	0,528508	188,52	190,702
60	18	188,944	0,528508	187,854	190,035
Presión					
1	18	189,389	0,528508	188,298	190,48
3	18	189,167	0,528508	188,076	190,257
Temperatura por Tiempo					
125 30	6	187,667	0,915403	185,777	189,556
125 60	6	188,0	0,915403	186,111	189,889
150 30	6	189,167	0,915403	187,277	191,056
150 60	6	187,833	0,915403	185,944	189,723
175 30	6	192,0	0,915403	190,111	193,889
175 60	6	191,0	0,915403	189,111	192,889
Temperatura por Presión					

125	1	6	187,5	0,915403	185,611	189,389
125	3	6	188,167	0,915403	186,277	190,056
150	1	6	189,167	0,915403	187,277	191,056
150	3	6	187,833	0,915403	185,944	189,723
175	1	6	191,5	0,915403	189,611	193,389
175	3	6	191,5	0,915403	189,611	193,389
Tiempo por Presión						
30	1	9	190,111	0,747424	188,569	191,654
30	3	9	189,111	0,747424	187,569	190,654
60	1	9	188,667	0,747424	187,124	190,209
60	3	9	189,222	0,747424	187,68	190,765

ANEXO-VIII: ANVA para el análisis del índice de saponificación en el aceite hidrogenado.

Fuente	S.C.	G.I.	C.M.	Fc	Pv
Temperatura	91,5556	2	45,7778	9,10	0,0011
Presión	0,4444	1	0,4444	0,09	0,7688
Tiempo	4,0	1	4,0	0,80	0,3813
INTERACCIONES					
Temperatura*Presión	6,2222	2	3,1111	0,62	0,5470
Temperatura*Tiempo	4,6666	2	2,3333	0,46	0,6342
Presión*Tiempo	5,4444	1	5,4444	1,08	0,3084
Temperatura*Presión*Tiempo	20,2222	2	10,1111	2,01	0,1558
Residuos	120,667	24	5,0277		
Total	253,222	35			

ANEXO-IX: Resumen estadístico para el índice de refracción en el aceite hidrogenado.

Nivel	Recuento	Media	EE	LI	LS
MEDIA GENERAL	36	1,53697	0,00122632	1,53444	1,5395
Temperatura					
125	12	1,51167	0,00212405	1,50728	1,51605
150	12	1,5205	0,00212405	1,51612	1,52488
175	12	1,57875	0,00212405	1,57437	1,58313
Tiempo					
30	18	1,51489	0,00173428	1,51131	1,51847
60	18	1,55906	0,00173428	1,55548	1,56263
Presión					
1	18	1,49283	0,00173428	1,48925	1,49641
3	18	1,58111	0,00173428	1,57753	1,58469
Temperatura por Tiempo					

125	30	6	1,49167	0,00300386	1,48547	1,49787
125	60	6	1,53167	0,00300386	1,52547	1,53787
150	30	6	1,50883	0,00300386	1,50263	1,51503
150	60	6	1,53217	0,00300386	1,52597	1,53837
175	30	6	1,54417	0,00300386	1,53797	1,55037
175	60	6	1,61333	0,00300386	1,60713	1,61953
Temperatura por Presión						
125	1	6	1,475	0,00300386	1,4688	1,4812
125	3	6	1,54833	0,00300386	1,54213	1,55453
150	1	6	1,47933	0,00300386	1,47313	1,48553
150	3	6	1,56167	0,00300386	1,55547	1,56787
175	1	6	1,52417	0,00300386	1,51797	1,53037
175	3	6	1,63333	0,00300386	1,62713	1,63953
Tiempo por Presión						
30	1	9	1,46644	0,00245264	1,46138	1,47151
30	3	9	1,56333	0,00245264	1,55827	1,5684
60	1	9	1,51922	0,00245264	1,51416	1,52428
60	3	9	1,59889	0,00245264	1,59383	1,60395

ANEXO-X: ANVA para el análisis del índice de refracción en el aceite hidrogenado.

Fuente	S.C.	G.I.	C.M.	Fc	Pv
Temperatura	0,0318	2	0,0159	294,47	0,0000
Presión	0,0701	1	0,0701	1295,50	0,0000
Tiempo	0,0175	1	0,0175	324,28	0,0000
INTERACCIONES					
Temperatura*Presión	0,0020	2	0,0010	19,26	0,0000
Temperatura*Tiempo	0,0032	2	0,0016	29,82	0,0000
Presión*Tiempo	0,0006	1	0,0006	12,33	0,0018
Temperatura*Presión*Tiempo	0,0074	2	0,0037	68,51	0,0000
Residuos	0,0012	24	0,00005		
Total	0,1342	35			

ANEXO-XI: Resumen estadístico para el punto de fusión en el aceite hidrogenado.

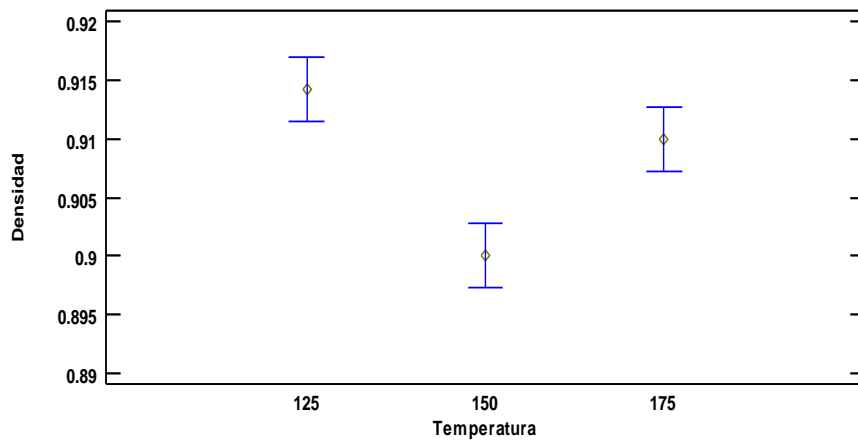
Nivel	Recuento	Media	EE	LI	LS
MEDIA GENERAL	36	43,5	0,15466	43,1808	43,8192
Temperatura					
125	12	28,0	0,267879	27,4471	28,5529
150	12	42,4167	0,267879	41,8638	42,9695
175	12	60,0833	0,267879	59,5305	60,6362

Tiempo						
30		18	43,5556	0,218722	43,1041	44,007
60		18	43,4444	0,218722	42,993	43,8959
Presión						
1		18	44,5556	0,218722	44,1041	45,007
3		18	42,4444	0,218722	41,993	42,8959
Temperatura por Tiempo						
125	30	6	27,8333	0,378838	27,0514	28,6152
125	60	6	28,1667	0,378838	27,3848	28,9486
150	30	6	42,8333	0,378838	42,0514	43,6152
150	60	6	42,0	0,378838	41,2181	42,7819
175	30	6	60,0	0,378838	59,2181	60,7819
175	60	6	60,1667	0,378838	59,3848	60,9486
Temperatura por Presión						
125	1	6	28,8333	0,378838	28,0514	29,6152
125	3	6	27,1667	0,378838	26,3848	27,9486
150	1	6	43,6667	0,378838	42,8848	44,4486
150	3	6	41,1667	0,378838	40,3848	41,9486
175	1	6	61,1667	0,378838	60,3848	61,9486
175	3	6	59,0	0,378838	58,2181	59,7819
Tiempo por Presión						
30	1	9	44,8889	0,30932	44,2505	45,5273
30	3	9	42,2222	0,30932	41,5838	42,8606
60	1	9	44,2222	0,30932	43,5838	44,8606
60	3	9	42,6667	0,30932	42,0283	43,3051

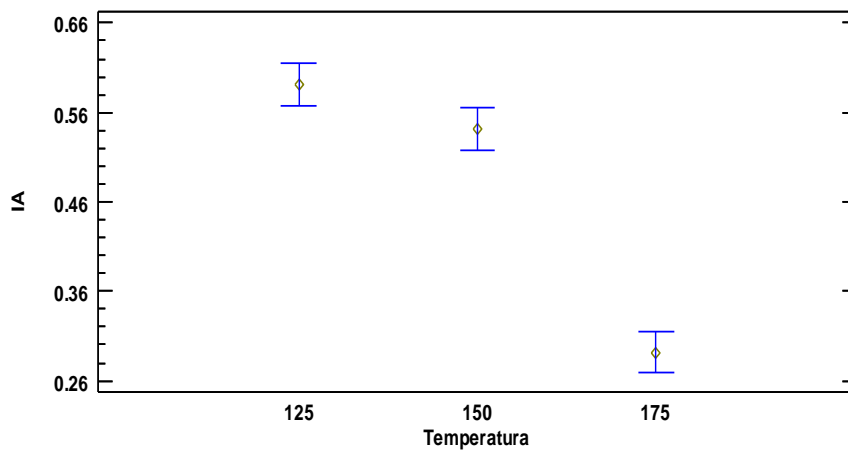
ANEXO-XII: ANVA para el análisis el punto de fusión en el aceite hidrogenado.

Fuente	S.C.	G.I.	C.M.	Fc	Pv
Temperatura	6197,17	2	3098,58	3598,35	0,0000
Presión	40,1111	1	40,1111	46,58	0,0000
Tiempo	0,1111	1	0,1111	0,13	0,7226
INTERACCIONES					
Temperatura*Presión	1,0555	2	0,5277	0,61	0,5500
Temperatura*Tiempo	2,3888	2	1,1944	1,39	0,2691
Presión*Tiempo	2,7777	1	2,7777	3,23	0,0851
Temperatura*Presión*Tiempo	10,7222	2	5,3611	6,23	0,0066
Residuos	20,6667	24	0,8611		
Total	6275,0	35			

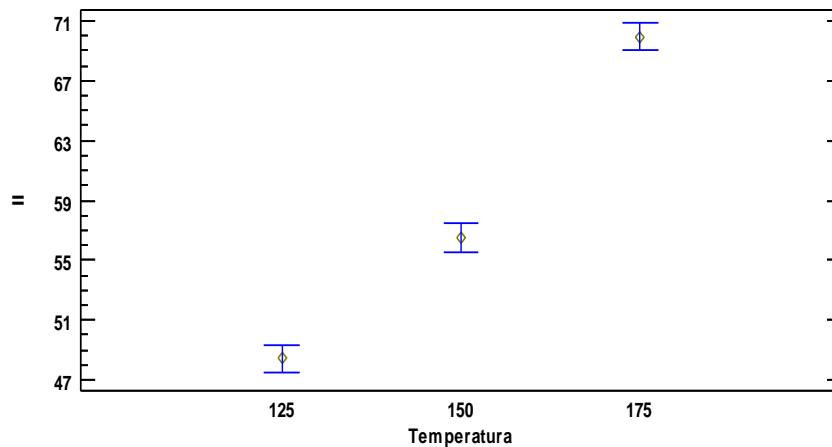
ANEXO-XIII: Variación de la densidad en el aceite hidrogenado en relación a la temperatura.



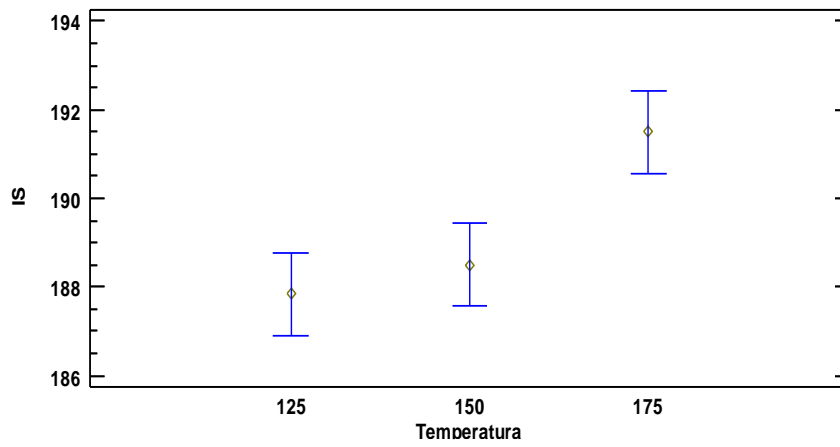
ANEXO-XIV: Variación del índice de acidez en el aceite hidrogenado en relación a la temperatura.



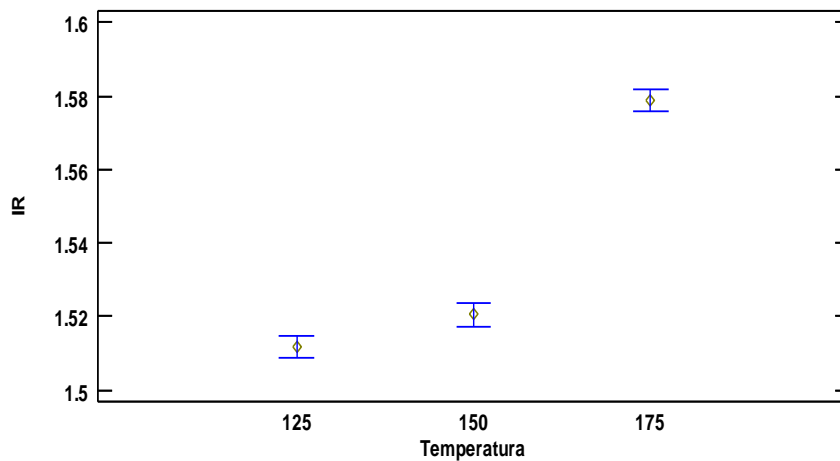
ANEXO-XV: Variación del índice de yodo en el aceite hidrogenado en relación a la temperatura.



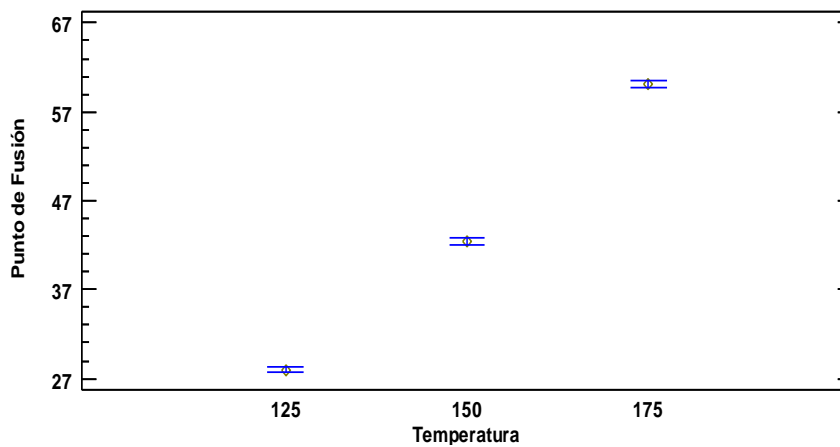
ANEXO-XVI: Variación del índice de saponificación en el aceite hidrogenado en relación a la temperatura.



ANEXO-XVII: Variación del índice de refracción en el aceite hidrogenado en relación a la temperatura.



ANEXO-XVIII: Variación del punto de fusión en el aceite hidrogenado en relación a la temperatura.



REGISTROS FOTOGRÁFICOS**Foto 1.** Frutos OxG**Foto 2.** Clasificación de los frutos de palma OxG.



Foto 3. Medición de los frutos de palma OxG.



Foto 4. Pelado de los frutos de palma OxG.

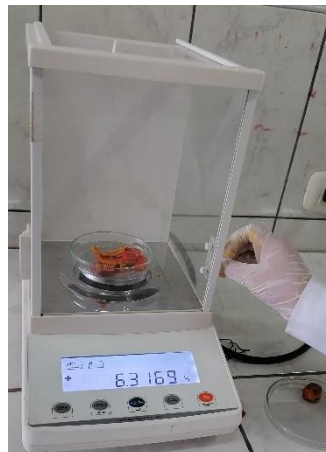


Foto 5. Pesado de las muestras.



Foto 6. Extracción del aceite de palma híbrido OxG.



Foto 7. Análisis fisicoquímicos del aceite de palma híbrido OxG.



Foto 8. Análisis fisicoquímicos del aceite de palma híbrido OxG.



Foto 9. Hidrogenación del aceite de palma híbrido OxG.



Foto 10. Aceites hidrogenados de palma híbrido OxG.